

**SISTEMA DE DOSIFICACIÓN DE BIOCOMBUSTIBLE COMO FUENTE DE  
ENERGÍA PARA UNA PLANTA DE DESTILACIÓN DE ACEITES ESENCIALES**

**DEYBER ALEXANDER RAMÍREZ QUINTERO  
LIBARDO ALFONSO CADENA RODRÍGUEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2011**

**SISTEMA DE DOSIFICACIÓN DE BIOCOMBUSTIBLE COMO FUENTE DE  
ENERGÍA PARA UNA PLANTA DE DESTILACIÓN DE ACEITES ESENCIALES**

**DEYBER ALEXANDER RAMÍREZ QUINTERO  
LIBARDO ALFONSO CADENA RODRÍGUEZ**

**Trabajo de Grado para optar al título de  
INGENIERO MECÁNICO**

**Director  
OMAR A. GÉLVEZ AROCHA  
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2011**

## **DEDICATORIA**

A Dios Todopoderoso por su infinito amor.

A mi hermano Sebastián por sus constantes enseñanzas de superar las dificultades de la vida y ser la luz en mi camino.

A mi hermano Oscar Leonardo cadena por su comprensión y cariño por ser como un padre y por enseñarme a luchar por lo que quiero.

A mis padres Libardo cadena y Ana Inés Rodríguez por quererme incondicionalmente y brindarme todo el apoyo y paciencia.

A la memoria de mi abuelo Juan de Jesús Rodríguez y mi tío Luis Elver Cadena Nieves porque sé que desde arriba se sentirán orgullosos de mí.

**LIBARDO ALFONSO CADENA**

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Ingeniero Omar Armando Gélvez Arocha, director del proyecto de grado, por su colaboración, asesoría y por brindarnos su incondicional amistad.

A Luis Enrique Bernal, gran amigo y compañero, por su ayuda incondicional.

A la planta profesoral de Ingeniería mecánica por brindar sus consejos, sugerencias, indicaciones, conocimientos y orientaciones a disposición del estudiante que lo necesite.

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN	20
1. MARCO CONCEPTUAL	22
1.1 BIOMASA	22
1.1.1 Clasificación de los diferentes tipos de biomasa	24
1.1.2 Ventajas del uso de la biomasa	26
1.1.3 Inconvenientes del uso de la biomasa	28
1.2 BIOCOMBUSTIBLES	28
1.2.1 Retos de los biocombustibles	32
1.2.2 Obtención de biocombustibles	33
1.2.3 Características físicas y químicas que definen un combustible	38
1.2.4 Clasificación de los biocombustibles	41
1.2.5 Políticas de desarrollo de la producción de biocombustibles en Colombia	43
2. PRUEBAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL RESIDUO ORGÁNICO	47
2.1 OBTENCIÓN DE LA MATERIA PRIMA	48
2.2 EQUIPOS PROPUESTOS PARA EL APROVECHAMIENTO DEL RESIDUO ORGÁNICO	48
2.2.1 Adecuación de la materia prima	50
2.2.2 Etapa de secado	51
2.2.3 Etapa de trituración	52
2.2.4 Proceso de obtención de las briquetas	53
2.2.4.1 Etapa de acondicionamiento	53
2.2.4.2 Mezclado	54
2.2.4.3 Etapa de compactación	55
2.2.4.4 Prueba de compactación	56
2.2.5 Medición del poder calorífico	58
2.2.6 Incineración de las briquetas.	63

2.3 CONCLUSIONES	66
3. DISEÑO DEL SISTEMA DE DOSIFICACIÓN	70
3.1 PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES	70
3.2 SISTEMA TRANSPORTADOR DE TORNILLO	72
3.2.1 Partes de un tornillo transportador	74
3.2.1.1 Eje	75
3.2.1.2 Hélice	75
3.2.1.3 Clasificación de los tornillos	76
3.2.1.4 Sentido de giro de los tornillos transportadores	77
3.2.1.5 Artesa o canal	78
3.2.1.6 Tapas o cubiertas	80
3.2.2 Soportes	83
3.2.3 Boquillas de carga y descarga	84
3.3 SELECCIÓN DEL TORNILLO	86
3.3.1 Características del material	86
3.3.2 Capacidad de diseño	89
3.3.3 Selección de diámetro	89
3.3.4 Cálculo de la potencia	91
3.3.5 Selección de los componentes	96
3.3.6 Artesa y flanches	97
3.3.6.1 Flanches de entrada y salida	98
3.3.7 Tamaños de tubería, dimensiones y pesos	99
3.4 MOTOR-REDUCTOR	99
3.5 VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD DEL TORNILLO TRANSPORTADOR	101
3.5.1 Características del motor	102
3.5.2 Variadores de velocidad para motores de corriente alterna	102
3.5.2.1 Principios de funcionamiento	103
3.5.3 Variación de la velocidad por medio de un PWM programado en la tarjeta Arduino para motores de corriente continua	106

3.5.4 Segunda alternativa regulación de la velocidad del motor con un realy de estado sólido con el PWM incluido (Para motores de corriente continua)	113
3.5.5 Tercera alternativa: diseño y construcción de un sistema de control de velocidad de un motor DC	115
4. TRITURADOR	119
4.1 MÁQUINAS UTILIZADAS EN LA REDUCCIÓN DE TAMAÑO DE MATERIAL	120
4.1.1 Aparatos que actúan por compresión	121
4.1.2 Aparatos que actúan por impacto o por percusión	123
4.1.3 Aparatos que actúan por atrición	124
5. OTRA FORMA DE CONEXIÓN	128
5.1 BATERÍAS ELÉCTRICAS	128
5.1.1 Principio de funcionamiento	129
5.1.2 Clasificación de las baterías por lo que a su naturaleza interna se refiere	129
5.2 CELDAS FOTOVOLTAICAS	132
5.2.1 ¿Qué es un sistema fotovoltaico?	133
5.2.2 Módulos fotovoltaicos	134
5.2.3 Marco de vidrio y aluminio	135
5.2.4 Tipos de módulos fotovoltaicos	136
5.2.5 Potencia	136
5.2.6 Selección de la celda y de la batería	137
5.3 TIPO DE BATERÍA	140
5. CONCLUSIONES	142
BIBLIOGRAFÍA	143
ANEXOS	146

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Proceso natural de la producción de biomasa	23
Figura 2. Generación de la biomasa	24
Figura 3. Posibles transformaciones del biocombustible	34
Figura 4. Gasificación	37
Figura 5. Principales características físicas, químicas y físico-químicas en los biocombustibles sólidos	40
Figura 6. Variables físicas de los biocombustibles sólidos	41
Figura 7. Cartucho del alambique en el hidro-destilador	47
Figura 8. Residuo orgánico	48
Figura 9. Diagrama a bloques de la máquina briqueteadora	49
Figura 10. Diagrama a bloques del equipo dosificador de biocombustibles	49
Figura 11. Instalaciones del vivero Cenivam	52
Figura 12. Máquina trituradora Trapp	52
Figura 13. Residuo orgánico triturado	53
Figura 14. Mezcla de 600 g de residuo orgánico <i>Cymbopogon</i> : 100 g de almidón de yuca y 50 g de cascarilla de café	54
Figura 15. Dosificación de 250 g para cada briqueta	55
Figura 16. Briqueta sin aglutinante	56
Figura 17. Prensa Amsler	56
Figura 18. Recipiente cilíndrico construido para la forma última de la briqueta	57
Figura 19. Proceso de compactación de las briquetas	57
Figura 20. A la izquierda, briquetas a bajas presiones; a la derecha, briquetas a altas presiones	58
Figura 21. Total de briquetas a distintas presiones	58
Figura 22. De izquierda a derecha: Balanza, horno, trituradora fina, bomba calorimétrica	59

Figura 23. De izquierda a derecha: Briqueta triturada finamente y material depositado en el crisol	60
Figura 24. Proceso de preparación de la muestra para la medición del poder calorífico	60
Figura 25. Crisol después de la prueba	61
Figura 26. Caldera casera	64
Figura 27. Proceso de incineración	64
Figura 28. Suministro de aire	65
Figura 29. Tornillo compactador	67
Figura 30. Esquema global de la producción de aceites esenciales	71
Figura 31. Componentes del tornillo transportador	75
Figura 32. Eje del tornillo	75
Figura 33. Hélice	76
Figura 34. Clasificación de los tornillos transportadores de acuerdo al paso	76
Figura 35. Clasificación de los tornillos transportadores de acuerdo a la forma	77
Figura 36. Sentido de giro de los tornillos	78
Figura 37. Artesa con fondo perforado	78
Figura 38. Artesa rectangular	79
Figura 39. Artesa de fondo cónico	79
Figura 40. Artesa tubular	79
Figura 41. Artesa con parte lateral y alta	80
Figura 42. Artesa enchaquetada	80
Figura 43. Artesa de barras de manejo	80
Figura 44. Cubiertas de desborde	81
Figura 45. Cubiertas de casquillos	81
Figura 46. Cubiertas de rejillas	81
Figura 47. Cubiertas con bisagras	82
Figura 48. Cubierta a dos aguas	82
Figura 49. Cubiertas tipo domo	82
Figura 50. Cubiertas cerradas al polvo	83

Figura 51. Soportes	83
Figura 52. Acoples	83
Figura 53. Boquillas circulares	84
Figura 54. Boquillas de placas de deflexión	84
Figura 55. Boquillas angulares	85
Figura 56. Boquillas de descarga más larga de lo estándar	85
Figura 57. Boquilla de descarga circular	85
Figura 58. Boquillas de cremallera y piñón	86
Figura 59. Factor de sobrecarga $F_0$	95
Figura 60. Diagrama global del tornillo dosificador	96
Figura 61. Artesa en U y flanches	97
Figura 62. Flanches de entrada y descarga	98
Figura 63. Diferentes montajes del motor-reductor	100
Figura 64. Tipos de reductor	100
Figura 65. Tipos de transmisión	101
Figura 66. Motor-reductor seleccionado para el prototipo	102
Figura 67. Diagrama de un sistema VFD	103
Figura 68. Conexión de un variador de frecuencia al motor	105
Figura 69. Circuito eléctrico del variador de frecuencia	105
Figura 70. Modulación de ancho de pulso (PWM)	107
Figura 71. Esquema del controlador de velocidad	108
Figura 72. Esquema de funcionamiento de un relay en estado sólido	108
Figura 73. Relay en estado sólido OPF60D18	110
Figura 74. Respuesta del PWM ante el Relay	111
Figura 75. Gráfica de configuración del Relay	111
Figura 76. Circuito interno electrónico del Relay	112
Figura 77. Relay en estado sólido OPS60D18	113
Figura 78. Planos del relay OPD60D18	114
Figura 79. Configuración del relay OPD60D18	114
Figura 80. Circuito eléctrico del controlador de velocidad diseñado	115

Figura 81. Mosfet 6040	116
Figura 82. Trituradora de mandíbulas	121
Figura 83. Funcionamiento del molino de barras	125
Figura 84. Motor de escobillas de camión liviano, rpm 3600, potencia ¼ HP	128
Figura 85. Baterías comunes	131
Figura 86. Evolución del precio de un pequeño sistema fotovoltaico (75 Wp)	133
Figura 87. Esquema simple de un sistema fotovoltaico	134
Figura 88. Esquema del sistema fotovoltaico recomendado	137
Figura 89. Celda KYICERA KC65T	139
Figura 90. Características eléctricas de la celda KYOCERA KC65T	139
Figura 91. Dimensiones de la celda KYOCERA KC65T	139
Figura 92. Tipo de batería seleccionada	141

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Características físicas, químicas y físico-químicas de los biocombustibles y sus unidades de medida, a partir del trabajo “Normalización de biocombustibles sólidos”	38
Tabla 2. Clasificación de los biocombustibles en función de su origen	41
Tabla 3. Clasificación de los biocombustibles según su aspecto físico	42
Tabla 4. Comparación biocombustibles sólidos	43
Tabla 5. Poder calorífico de las briquetas con diferentes aditivos	62
Tabla 6. Tiempos de incineración	65
Tabla 7. Características del material	87
Tabla 8. Tablas de códigos de clasificación del material	88
Tabla 9. Factor de capacidad de paso del transportador $CF_1$	89
Tabla 10. Tabla de capacidad de los tornillos transportadores horizontales	90
Tabla 11. Factor de diámetro del transportador, $F_d$	92
Tabla 12. Factor de colgantes o rodamientos $F_b$	93
Tabla 13. Factor de paleta, $F_p$	93
Tabla 14. Factor de vuelo, $F_f$	93
Tabla 15. Factor de eficiencia, $e$	94
Tabla 16. Dimensiones del tornillo transportador	97
Tabla 17. Dimensiones del corte de la Artesa y de los flanches	98
Tabla 18. Dimensiones de los flanches de entrada y salida	98
Tabla 19. Tamaños de tuberías, dimensiones y pesos	99
Tabla 20. Características del Mosfet IRF6040	117
Tabla 21. Tabla comparativa de los diferentes tipos de acumulador	131
Tabla 22. Intensidad promedio de horas de sol por día en Socorro	138
Tabla 23. Especificaciones técnicas	140

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
ANEXO A. PLANOS TORNILLO	147
ANEXO B. MAQUINA TRITURADORA	151

## RESUMEN

**TÍTULO:** SISTEMA DE DOSIFICACIÓN DE BIOCOMBUSTIBLE COMO FUENTE DE ENERGÍA PARA UNA PLANTA DE DESTILACIÓN DE ACEITES ESENCIALES. \*

**AUTORES:** CADENA RODRIGUEZ Libardo Alfonso  
RAMÍREZ QUINTERO Deyber Alexander\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Biocombustibles, biomasa, aprovechamiento energético, desechos orgánicos.

### DESCRIPCIÓN

El aprovechamiento de los residuos orgánicos es un área en desarrollo, que en los últimos años ha tomado mayor acogida debido a factores como: La contaminación producida por los combustibles fósiles, necesidades energéticas, creación de nuevos materiales, tratamientos residuales, etc. En el caso particular del presente trabajo como modalidad de proyecto de grado, se tiene como objetivo la producción energética de la biomasa residual generada en el proceso de extracción de aceites que realiza el Centro Nacional de Investigaciones para la Agro industrialización de Especies Vegetales Aromáticas y Medicinales Tropicales – Cenivam, carecen de posibilidades de usar diferentes formas de combustibles derivados del petróleo o energía eléctrica, por ello se dan a la tarea de buscar formas o medios alternativos de obtención de energía para llevar a cabo el proceso propuesto; además el transporte de los combustibles convencionales se hace dificultoso y costoso; la energía eléctrica se descarta debido a la imposibilidad de obtenerla en las zonas en las que se realizan dichos procesos. Es así que se identifica claramente que el grupo de investigación Cenivam necesita disponer de combustibles de una manera práctica, económica y de fácil transporte, para los procesos de destilación de aceites.que posibilite posicionar la utilización de la biomasa como fuente energética usada fácilmente en cualquier entorno social. De esta forma el presente trabajo pretende aportar en el proceso de construcción de estudios que en nuestro país sitúen el uso de biocombustibles a partir de la biomasa como una alternativa necesaria, posible y lógica.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Ing. Omar Gélvez

## ABSTRACT

**TITLE:** BIO DOSAGE SYSTEM AS A SOURCE OF ENERGY PLANT FOR DISTILLATION OF ESSENTIAL OILS\*

**AUTHORS:** CADENA RODRIGUEZ Libardo Alfonso  
RAMÍREZ QUINTERO Deyber Alexander\*\*

**KEY WORDS:** Biofuels, biomass, energy use, organic waste.

### DESCRIPTION

The use of organic waste is a developing area, which in the last years has taken greater relevance because of factors as: The pollution produced by fossil fuels, energy needs, creating of new materials, residual treatment, etc. In the particular case of the present work as modality of project of degree, has like objective is the energy production of the residual biomass generated in the oils extraction process performed by the Centro Nacional de Investigaciones para la Agro industrialización de Especies Vegetales Aromáticas y Medicinales Tropicales (National Center of Investigations for the Agro industrialization of Vegetable Aromatic and Medicinal tropical Species) - Cenivam, lack of possibilities of using different forms of fuel oil or electricity, so given the task of finding ways or alternative means of obtaining energy to carry out the proposed process, besides the transport of conventional fuels is difficult and costly electrical energy is discarded due to the impossibility to obtain in the zones in which these processes are performed. It is so clearly identified that the research group needs to have fuel Cenivam in a practical, economical and easy to transport, to the distillation of oils that it makes possible to position the utilization of the biomass as an energy source used easily in any social environment. Of this form, the present paper tries to contribute in the process of construction of studies that in our country situate the use of biofuels from the biomass as a necessary, possible and logical alternative.

---

\* Thesis de Grade

\*\* Universidad Industrial de Santander. Physical-Mechanical Engineer Faculty, Mechanical Engineer School, Eng. Omar Gélvez.

## INTRODUCCIÓN

El Centro Nacional de Investigación para la Agro industrialización de Especies Vegetales Aromáticas y Medicinales Tropicales - CENIVAM, tiene como misión la investigación integral de especies aromáticas y medicinales colombianas para impulsar el desarrollo competitivo y sostenible de la agroindustria de esencias, extractos y derivados naturales en Colombia, transfiriendo los nuevos conocimientos a las comunidades campesinas, las asociaciones de productores y a los sectores farmacéutico e industrial del país. Para el cumplimiento de estos objetivos ha desarrollado procesos de obtención de esencias a partir de la destilación y extracción de aceites de diferentes plantas, proceso que se realiza en lugares rurales; experiencia que ha dado resultado en la producción, pero que evidencia las dificultades y las limitaciones que se tienen para llevar a cabo la tarea.

Al encontrarse alejados de las zonas urbanas carecen de posibilidades de usar diferentes formas de combustibles derivados del petróleo o energía eléctrica, por ello se dan a la tarea de buscar formas o medios alternativos de obtención de energía para llevar a cabo el proceso propuesto; además el transporte de los combustibles convencionales se hace difícil y costoso; la energía eléctrica se descarta debido a la imposibilidad de obtenerla en las zonas en las que se realizan dichos procesos. Es así que se identifica claramente que el grupo de investigación Cenivam necesita disponer de combustibles de una manera práctica, económica y de fácil transporte, para los procesos de destilación de aceites.

Teniendo en cuenta lo anterior, se ha propuesto el diseño de un dispositivo que proporcione combustible a partir de desechos orgánicos, es decir, biocombustibles, para ser usados en una caldera o quemador, con el fin de producir energía térmica, útil para realizar procesos de destilación y extracción.

La naturaleza del proceso de producción de aceites esenciales permite la utilización de combustibles alternativos que ayuden no sólo a contrarrestar el innegable efecto ambiental que han producido los combustibles fósiles, sino también la posibilidad de disponer de combustibles que sean sostenibles. La biomasa es una alternativa viable, ya que se aprovechan los residuos orgánicos provenientes de plantas, cosechas, árboles, arbustos, etc., y son convertidos en combustible útil, propuesta que promete ser una alternativa económica, tecnológica y financieramente viable.

En el capítulo 1 se presentan los conceptos fundamentales que permiten generar un conocimiento real, actual y posible sobre los Biocombustibles y la biomasa, así como sus posibilidades de aprovechamiento y uso.

En el capítulo 2 se describen las pruebas que se realizaron al material para poder encontrar el procedimiento más práctico de dosificación y aprovechamiento energético.

El capítulo 3 trata sobre los pasos que se llevan a cabo para la selección del tornillo transportador y el motor reductor.

En el capítulo 4 se hacen algunas recomendaciones, puesto que el proyecto estará planteado para una alternativa con carácter rural, se pretende que pueda llevarse a ciertos lugares donde no tengan suministro de energía eléctrica.

Finalmente en el capítulo 5, se plantea una alternativa para la adquisición de la energía eléctrica que requiere el motor, el cual genera el movimiento al tornillo transportador.

## **1. MARCO CONCEPTUAL**

El aprovechamiento de los residuos orgánicos es un área en desarrollo, que en los últimos años ha tomado mayor acogida debido a factores como: la contaminación producida por los combustibles fósiles, necesidades energéticas, creación de nuevos materiales, tratamientos residuales, etc. En el caso particular del actual proyecto de grado, se tiene como objetivo el aprovechamiento energético de la biomasa residual generada en el proceso de extracción de aceites que realiza el grupo de investigación Cenivam que posibilite posicionar al aprovechamiento de la biomasa como una fuente energética usada común y fácilmente en cualquier entorno social. Previamente se debe esbozar el estado del arte y conceptualizar con mayor plenitud esta propuesta, de esta forma poderse establecer como un intento real de aportar en ese proceso de estudios que busquen mejorar el aprovechamiento energético de la biomasa y posicionarlo como una alternativa viable. A continuación se expondrán conceptos, planteamientos teóricos y experimentales, de forma tal que proporcionen los conocimientos necesarios para abordar el tema.

### **1.1 BIOMASA**

La biomasa es toda sustancia orgánica renovable de origen tanto animal como vegetal. La energía de la biomasa proviene de la energía que almacenan los seres vivos. En primer lugar, los vegetales al realizar la fotosíntesis, utilizan la energía del sol para formar sustancias orgánicas, ver figura 1. Después los animales incorporan y transforman esa energía al alimentarse de las plantas. Los productos de dicha transformación, que se consideran residuos, pueden ser utilizados como recurso energético. Se nombra a la biomasa como una fuente de energía renovable cuando es utilizada con un fin energético, ya sea la generación de electricidad, la producción de calor o bien la obtención de combustible (bio-

carburantes), en este caso la biomasa utilizada no es un simple residuo, ejemplo: La producción de alcohol a partir de la caña de azúcar o de maíz.

Los factores que condicionan el consumo de biomasa son:

- **Factores geográficos:** Debido a las condiciones climáticas de la región, las cuales indicarán las necesidades de calor que requiera cada zona, y las cuales podrán ser cubiertas con biomasa.
- **Factores energéticos:** Por la rentabilidad o no de la biomasa como recurso energético. Esto dependerá de los precios y del mercado energético en cada momento.
- **Disponibilidad del recurso:** Este es el factor que hay que estudiar en primer lugar para determinar el acceso y la temporalidad del recurso.

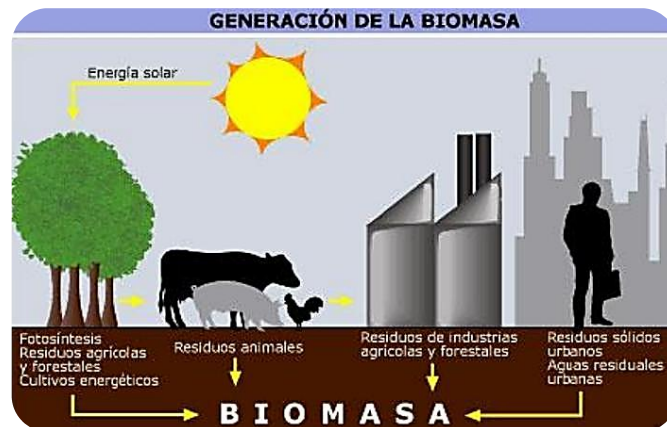
Figura 1. Proceso natural de la producción de biomasa.



Fuente: Energía renovable, energía posible.

**1.1.1 Clasificación de los diferentes tipos de biomasa.** Existen diferentes tipos de biomasa que pueden ser utilizados como recurso energético. Aunque se pueden hacer multitud de clasificaciones, se ha escogido la clasificación más aceptada, la cual divide la biomasa en cuatro tipos diferentes: biomasa natural, residual seca y húmeda; y los cultivos energéticos.

Figura 2. Generación de la biomasa.



Fuente: [www.ambientum.com](http://www.ambientum.com) enciclopedia virtual.

- **Biomasa natural.** Es la que se produce en la naturaleza sin ninguna intervención humana. El problema que presenta este tipo de biomasa es la gestión necesaria de la adquisición y transporte del recurso al lugar de utilización. Esto puede provocar que la explotación de esta biomasa sea económicamente inviable.
- **Biomasa residual (seca y húmeda).** Son los residuos que se generan en las actividades de agricultura (leñosa y herbácea) y ganadería, en las forestales y en la industria maderera (ver figura 2), entre otras y que todavía pueden ser utilizados y considerados subproductos. Como ejemplo podemos considerar el serrín, la cáscara de almendra, el orujillo, las podas de frutales, etc.

Se denomina biomasa residual húmeda a los vertidos llamados biodegradables, es decir, las aguas residuales urbanas e industriales y los residuos ganaderos (principalmente purines) de la fabricación de aceites, lodos de depuradora, purines, etc.

La biomasa residual seca es la generada después de los procesos de extracción de aceites esenciales hecha por el grupo de investigación Cenivam, de esta forma, es la materia prima usada en el presente proyecto de grado.

- **Cultivos energéticos.** Estos cultivos se generan con la única finalidad de producir biomasa transformable en combustible. Estos cultivos los podemos dividir en:
  - a. Cultivos ya existentes como los cereales, oleaginosas, remolacha, etc.
  - b. Ligno-celulósicos forestales (chopo, sauces, etc.).
  - c. Ligno-celulósicos herbáceos como el cardo *Cynara cardunculus*.
  - d. Otros cultivos como la patata.

El cultivo de estas plantas para el aprovechamiento energético es bastante discutido. En primer lugar porque la rentabilidad de estos cultivos no es muy grande. Y en segundo lugar, por la competencia que ejercerían sobre los cultivos necesarios para la disponibilidad alimentaria, como lo expresan reconocidos científicos, *la eficiencia de la fotosíntesis es baja y el resultado es que las áreas de cultivo necesarias para las plantaciones que producirán el biocombustible son muy*

*grandes*<sup>1</sup>. Si se piensa en una cantidad de biocombustible comparable a las necesidades actuales para el transporte, *la tarea es simplemente inconcebible: no habría espacio libre para la producción de alimentos*<sup>2</sup>; como ya se ha dicho, la gran superficie que se necesita es sólo uno de los problemas con los cultivos energéticos, la agricultura cuenta con una buena tecnología para la producción de alimentos, pero para la biomasa a partir de cultivos energéticos es muy caro en términos de los recursos que necesita: se necesita tierra, agua, fertilizantes, pesticidas, trabajo mecánico, todos los suministros que normalmente provienen de los combustibles fósiles. Teniendo todo esto en cuenta, la TRE (retorno de la energía de la energía invertida) de los biocombustibles obtenidos de estos cultivos es en general baja, a menos que la energía invertida sea suministrada por la mano de obra a un costo humano bajo, como es el caso de la caña de azúcar en Brasil. Una posible solución a este problema, sería la utilización de cultivos acuáticos como el Jacinto de agua (*Nimphaea* sp.), que posee una de las productividades de biomasa más elevadas (un centenar de toneladas de materia seca por hectárea y por año). Otra posibilidad podría ser la utilización de ciertas algas microscópicas (micrófitos), que tendrían la ventaja de permitir un cultivo continuo.

**1.1.2 Ventajas del uso de la biomasa.** La utilización de la biomasa con fines energéticos tiene las siguientes ventajas medioambientales:

- Disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub>
- Aunque para el aprovechamiento energético de esta fuente renovable tengamos que proceder a una combustión, y el resultado de la misma sea agua y CO<sub>2</sub>, la cantidad de este gas causante del efecto invernadero, se puede

---

<sup>1</sup> Ciampietro, Mario; Kozo, Mayumi. El espejismo de los biocombustibles: La falacia de la gran escala de Agro-Producción de Biocombustibles. Inglaterra. 2009.

<sup>2</sup> Bis

considerar que es la misma cantidad que fue captada por las plantas durante su crecimiento. Es decir, que no supone un incremento de este gas a la atmósfera.

- No emite contaminantes sulfurados o nitrogenados, ni apenas partículas sólidas
- Si se utilizan residuos de otras actividades como biomasa, esto se traduce en un reciclaje y disminución de residuos. Canaliza, por tanto, los excedentes agrícolas alimentarios, permitiendo el aprovechamiento de las tierras de retirada
- Los cultivos energéticos sustituirán a cultivos excedentarios en el mercado de alimentos. Eso puede ofrecer una nueva oportunidad al sector agrícola
- Permite la introducción de cultivos de gran valor rotacional frente a monocultivos cerealistas
- Puede provocar un aumento económico en el medio rural
- Disminuye la dependencia externa del abastecimiento de combustibles

En la actualidad la tecnología aplicada a la biomasa está sufriendo un gran desarrollo. La investigación se está centrando en los siguientes puntos:

- En el aumento del rendimiento energético de este recurso
- En minimizar los efectos negativos ambientales de los residuos aprovechados y de las propias aplicaciones
- En aumentar la competitividad en el mercado de los productos

- En posibilitar nuevas aplicaciones de gran interés como los biocombustibles

### **1.1.3 Inconvenientes del uso de la biomasa**

- Tiene un mayor coste de producción frente a la energía que proviene de los combustibles fósiles
- Menor rendimiento energético de los combustibles derivados de la biomasa en comparación con los combustibles fósiles
- Producción estacional
- La materia prima es de baja densidad energética lo que quiere decir que ocupa mucho volumen y por lo tanto puede tener problemas de transporte y almacenamiento
- Necesidad de acondicionamiento o transformación para su utilización
- Con el uso de cultivos energéticos para la generación de biocombustibles se generan problemas en la producción de alimentos de la región

## **1.2 BIOCOMBUSTIBLES**

Se entiende por biocombustibles a aquellos combustibles que se obtienen de la biomasa, es decir, de organismos recientemente vivos (como plantas) o sus desechos metabólicos (como estiércol), además que no estén fosilizados. Si no se añade esto último, el petróleo, los carbones minerales (hulla, lignitos, turba y antracitas) y el gas natural serían considerados biocombustibles, ya que su origen también es biológico; pero han sido fosilizados hace cientos de miles de años.

Una de las grandes ventajas de los biocombustibles frente a los denominados combustibles fósiles es que son renovables y se consideran como una energía renovable destinada a suplir las carencias futuras de combustibles fósiles.

Vale la pena recordar que los biocombustibles han sido utilizados desde siempre por el hombre, el primer combustible que utilizó fue la paja y la leña. Por este motivo, las investigaciones recientes tratan de aplicar tecnología más eficaz y rentable, empleando nuevos materiales, en la obtención y transformación de la biomasa en biocombustible apto para generar calor y/o energía eléctrica.

De esta forma podemos realizar un recorrido en el que se ha ido desarrollando el uso de los biocombustibles:

- **Primera generación.** Algunos de los insumos son de procedencia agrícola y están conformados por las partes alimenticias de las plantas, las cuales tienen un alto contenido de almidón, azúcares y aceites. Ejemplos de estas materias son el jugo de la caña de azúcar, granos de maíz, jugo de la remolacha o betabel, aceite de semilla de girasol, aceite de soya, aceite de palma, aceite de ricino, aceite de semilla de algodón, aceite de coco, aceite de maní o cacahuate, entre otros. También se emplean como insumos a las grasas animales, grasas y aceites de desecho provenientes de la cocción y elaboración de alimentos, y desperdicios sólidos orgánicos.

Los biocombustibles son producidos empleando tecnología convencional como la fermentación (para azúcares y carbohidratos), transesterificación (para los aceites y grasas), y la digestión anaerobia (para los desperdicios orgánicos). De estos procesos se obtiene etanol, metanol y n-butanol (a partir de azúcares), biodiesel (a partir de los aceites), y biogás (mezcla de metano y anhídrido carbónico, también conocidos como gas natural y dióxido de carbono respectivamente, obtenida a partir de los desperdicios orgánicos).

Las ventajas de estos biocombustibles son su facilidad de procesamiento, sus bajas emisiones de gases de efecto invernadero (excepto en el caso del maíz, donde el balance de estas emisiones es casi nulo) y un balance positivo en dichas emisiones, pero tiene como desventaja el desvío de recursos alimenticios hacia la producción de energéticos.

- **Segunda generación.** Los insumos son residuos agrícolas y forestales compuestos principalmente por celulosa. Ejemplos de ellos son el bagazo de la caña de azúcar, el rastrojo de maíz (tallos, hojas y olote), paja de trigo, aserrín, hojas y ramas secas de árboles, etcétera.

Los procesos de producción tienen un nivel de complejidad más alto que los de primera generación, y como ejemplos destacan la sacarificación-fermentación y el proceso Fischer-Tropsch. Este último proceso también recibe los nombres de proceso GTL y proceso BTL, cuyas siglas en inglés provienen de "Gas-To-Liquids" y "Biomass-To-Liquids" respectivamente, los cuales consisten en la gasificación del carbón y de la materia lignocelulósica de la biomasa, para después sintetizar algún combustible líquido como el etanol.

Mediante los procesos de segunda generación se fabrica etanol, metanol, gas de síntesis (mezcla de anhídrido carbonoso, mejor conocido como monóxido de carbono, e hidrógeno), biodiesel, 2.5-dimetilfurano (DMF), entre otros.

La ventaja principal en la producción de estos biocombustibles es la inexistencia de desviaciones de alimentos provenientes de la agricultura hacia el sector energético, pero su desventaja es la poca ganancia en disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero durante el procesamiento de los insumos, respecto a los biocombustibles de primera generación.

- **Tercera generación.** Los insumos son vegetales no alimenticios de crecimiento rápido y con una alta densidad energética almacenada en sus componentes químicos, por lo que se les denomina “cultivos energéticos”. Entre estos vegetales están los pastos perennes, árboles y plantas de crecimiento rápido, y las algas verdes y verde-azules.

Los procesos de obtención de biocombustibles se encuentran en fase de desarrollo, sin embargo, se ha logrado producir biodiesel y etanol a nivel de plantas piloto.

Las ventajas de estos biocombustibles son el secuestro de anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>) para la producción de los insumos y un balance positivo en la emisión de gases de efecto invernadero, pero su desventaja es la utilización de tierras de cultivo de alimentos para sembrar los insumos, con excepción de las algas verdes.

- **Cuarta generación.** Los biocombustibles son producidos a partir de bacterias genéticamente modificadas, las cuales emplean anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>) o alguna otra fuente de carbono para la obtención de los biocombustibles.

A diferencia de las generaciones anteriores, en las que también se pueden emplear bacterias y organismos genéticamente modificados como insumo o para realizar alguna parte de los procesos, en la cuarta generación, la bacteria es la que efectúa la totalidad del proceso de producción de los biocombustibles.

Actualmente esta generación de biocombustibles se encuentra en fase teórica, sólo se conoce la posible ruta de síntesis del etanol a partir de anhídrido carbónico, sin embargo, depende totalmente de la información genética de una bacteria artificial y puede tener limitaciones termodinámicas importantes.

Como es sabido, la humanidad ha hecho uso de la biomasa por varios miles de años. El uso directo de la misma sin procesamiento alguno podría constituir una Generación Cero de los biocombustibles, entre los cuales se pueden mencionar a la leña, la paja de trigo, el rastrojo de otras plantas de cultivo, el estiércol del ganado, y el carbón vegetal. No es sino hasta fines del siglo XIX que se comenzó a procesar la biomasa para producir combustibles derivados de la misma. A finales del siglo XX aparecieron los primeros mercados de estos recursos energéticos y se vislumbra un mayor crecimiento, desarrollo y expansión de los mismos tendiente a su globalización. Es por ello que el presente trabajo busca analizar de forma breve el estado actual de estos mercados, sus antecedentes y panorama futuro, así como determinar los nexos entre mercados vía comercio internacional.

**1.2.1 Retos de los biocombustibles.** Como se mencionó anteriormente la producción de los biocombustibles puede originarse de diferentes tipos de biomasa, cuando se realiza a través de los cultivos energéticos (que es quizás una alternativa en desarrollo en América latina), se esperan grandes inconvenientes y pocas ventajas significativas a nivel social-regional, grandes cantidades de tierra son necesarias para dicho cultivo y se reemplaza los que proporcionan la seguridad alimentaria de la región, de esta forma no sólo se encarecen los alimentos por su escases, también se deposita la confianza en que se resuelve los problemas de energía con el uso de una tecnología ineficiente, la única explicación que se podría resaltar es que con tanto énfasis en los biocombustibles provenientes del monocultivo, una vez que una mala idea se lleva a cabo, comienza a ganar impulso y entonces se convierte en casi imposible de detener.

Pero otra alternativa es posible y permite no desechar a los biocombustibles, cuando estos provienen de la biomasa residual, ya que se obtiene un potencial energético de una materia prima que normalmente es considerado un desecho y por lo tanto muy poco aprovechado, de esta manera no sólo se obtiene un

beneficio energético, también se genera una alternativa al control de basuras. Existe una limitante que dificulta su desarrollo, se debe proporcionar investigaciones en diferentes áreas que permitan no sólo caracterizar de forma físico y química del residuo orgánico, también un avance en el aumento de la eficiencia para las máquinas y equipos que se construyan para su aprovechamiento.

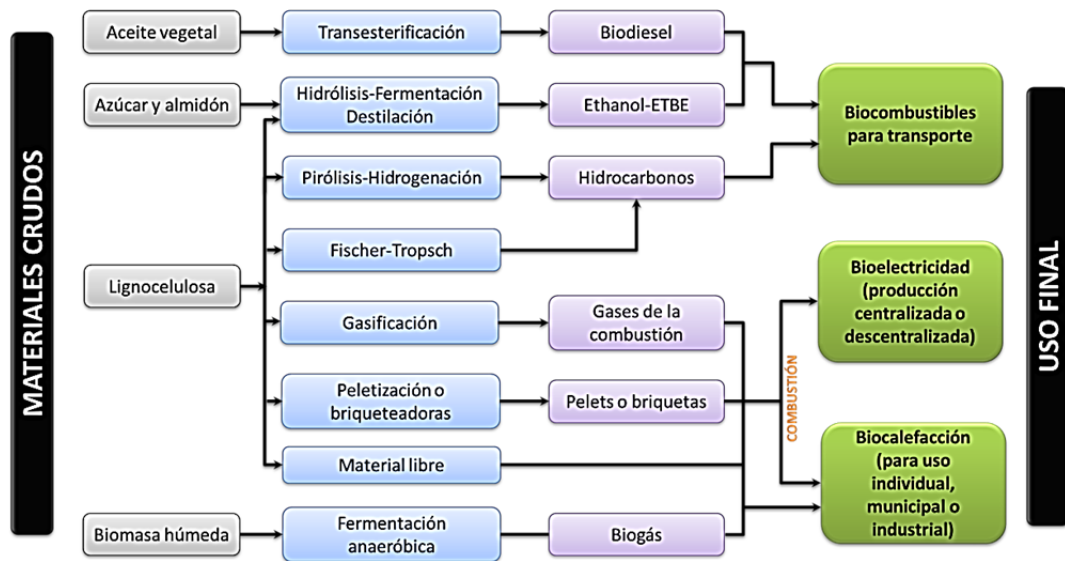
Una relación de la proporción energética se denomina "energía producida sobre energía invertida" y se mide en un valor que se espera aumente para los biocombustibles en comparación con los combustibles fósiles. Según el informe, "Buscando un milagro", de Richard Heinberg, el aceite actualmente tiene una relación de 19:1 (19 unidades de energía producida a partir de un gasto de 1 unidad), cuando este solía estar más cercano a 100:1. El carbón tiene una proporción de 50:1, el gas natural es de 10:1, el viento es de aproximadamente 18:1; energía solar fotovoltaica se encuentra en un rango de proporción 3,75:1 a 10:1 y la energía geotérmica en 2:1 a 13:1. El etanol puede tomar más energía para producir que el que puede ceder en 0,5:1. Alternativas de combustibles líquidos son especialmente bajos en su rendimiento energético, lo que hace del petróleo - que representa el 95 por ciento del combustible para el transporte global - quizás el más difícil de remplazar.

Está claro que los combustibles fósiles se necesitan en grandes cantidades para desarrollar y mantener la infraestructura necesaria para un régimen de energía renovable. De hecho, es el mejor uso posible de estos rápidos combustibles finitos que están disminuyendo. Entonces, las energías renovables pueden ayudar a aliviar la caída de la era de los combustibles fósiles, que alimentó de combustible a la civilización con gran intensidad de energía sobre el planeta.

**1.2.2 Obtención de biocombustibles.** Para obtener un biocombustible a partir de la biomasa agrícola, forestal, ganadera, urbana o mezcla de alguna de ellas, las

transformaciones pueden ser físicas, químicas o ambas a la vez. Las transformaciones químicas son muy diversas y dependen de la materia prima y del biocombustible final que se desea obtener. El diagrama en la figura 3 muestra las posibles transformaciones de la biomasa para obtener un tipo de biocombustible, desde los materiales crudos hasta su uso final.

Figura 3. Posibles transformaciones del biocombustible.



Fuente: Empresa Provincial de Energía de Córdoba (EPEC). Energía renovable: la biomasa. Argentina.

- Transesterificación.** La reacción de transesterificación (o alcoholísis) de un aceite vegetal es aquella en la cual, una molécula de triglicérido, componente mayoritario en un aceite, reacciona con un alcohol, generalmente ligero, bajo la acción de un catalizador, para producir una mezcla de ésteres de ácidos grasos y glicerina. Según la estequiometría de la reacción, por cada mol de triglicérido transesterificado se necesitan tres moles de metanol y se obtienen tres moles de ésteres metílicos y un mol de glicerina.
- Hidrólisis-Fermentación.** Los procesos de obtención de biocombustible a partir de biomasa lignocelulósica que utilizan catalizadores ácidos permiten, en

condiciones adecuadas de presión y temperatura, una solubilización de la hemicelulosa y la celulosa, quedando prácticamente inalterada la lignina. A temperaturas superiores a los 200 °C aparecen productos de descomposición de los azúcares, por lo que no pueden obtenerse rendimientos muy altos. Además, estas sustancias son inhibitoras del proceso fermentativo por lo que deben eliminarse del hidrolizado antes de realizar la fermentación. Los métodos industriales de hidrólisis ácida de la fracción celulósica se agrupan en dos tipos: los que emplean ácidos concentrados y bajas temperaturas y los que utilizan ácidos diluidos a temperaturas más altas. A pesar de los altos rendimientos de hidrólisis que se obtienen con los procesos que utilizan ácidos concentrados, no existe ninguna planta industrial operando con este sistema, por su falta de rentabilidad. Entre los procesos de hidrólisis de celulosa utilizando ácidos diluidos, el más utilizado es el método de percolación, en el que el ácido se hace pasar a través del material. Los problemas mencionados en los procesos ácidos se evitan si se utiliza en el proceso una hidrólisis enzimática. Para ello, es necesario realizar un pre-tratamiento de la biomasa lignocelulósica que altere la compleja estructura de este tipo de materiales, facilitando así la acción de los enzimas celulolíticos. La dificultad está en que la cristalinidad de las moléculas de celulosa, y la naturaleza de su asociación con la lignina, constituyen una verdadera barrera física a la penetración de los enzimas.

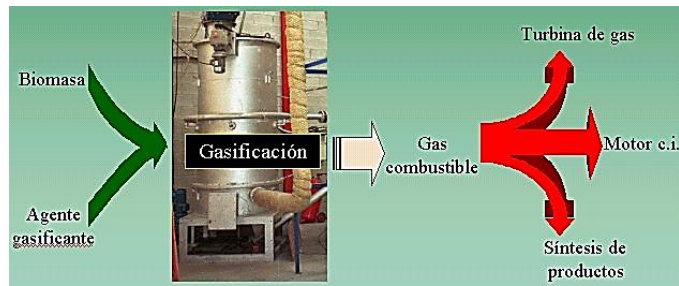
- **Pirólisis.** Se trata de una combustión incompleta a alta temperatura (500 °C) de la biomasa en condiciones anaerobias. Se utiliza desde hace mucho tiempo para producir carbón vegetal. Este método libera también un gas pobre, mezcla de monóxido (CO) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), de hidrógeno (H<sub>2</sub>) y de hidrocarburos ligeros. Este gas, de poco poder calórico, puede servir para accionar motores diesel, para producir electricidad, o para mover vehículos.
- **Hidrogenación.** La hidrogenación es un tipo de reacción química cuyo resultado final visible es la adición de hidrógeno (H<sub>2</sub>) a otro compuesto. Los

objetivos habituales de esta reacción son compuestos orgánicos insaturados, como alquenos, alquinos, cetonas, nitrilos y aminas. Un ejemplo típico de hidrogenación es la adición de hidrógeno en dobles enlaces, convirtiendo alquenos en alcanos. La mayoría de las hidrogenaciones se producen mediante la adición directa de hidrógeno diatómico bajo presión y en presencia de un catalizador.

- **Fischer-Tropsch.** El proceso Fischer-Tropsch es un proceso químico para la producción de hidrocarburos líquidos (gasolina, keroseno, gasoil y lubricantes) a partir de gas de síntesis ( $\text{CO}$  y  $\text{H}_2$ ). Fue inventado por los alemanes Franz Fischer y Hans Tropsch en los años 1920. El gasoil obtenido mediante el proceso Fischer-Tropsch (abreviado FT) tiene las ventajas de contener un bajo grado de azufre y tener un alto índice de cetano, gracias a su bajo contenido en aromáticos. Por ello, es un combustible con fácil salida al mercado. Sin embargo, tanto el gasoil como la gasolina y los otros productos FT pueden obtenerse de forma más sencilla y barata mediante el refinado de petróleo. Las plantas FT son caras de construir y presentan toda una serie de problemas medioambientales. Su uso se justifica sólo si el petróleo es particularmente caro o escaso y se dispone de una fuente alternativa de hidrocarburos barata o cercana, por ejemplo: carbón, gas natural, desechos vegetales o residuos pesados de refinerías.

- **Gasificación.** La gasificación puede definirse como un proceso de combustión incompleta del que, como producto principal se obtiene un gas combustible, ver figura 4. El oxidante utilizado juega un papel importante en la composición del gas generado: en el caso del aire se genera el llamado gas pobre por su bajo poder calorífico ( $4\text{-}7 \text{ MJ/m}^3$ ), como consecuencia del alto contenido en nitrógeno, mientras que en el caso del oxígeno o vapor de agua dan lugar al llamado gas de síntesis que tiene un poder calórico mayor ( $10\text{-}18 \text{ MJ/m}^3$ ).

Figura 4. Gasificación.



Fuente: <http://www.cps.unizar.es/~proter/Gasificaci%F3n.htm>.

- **Peletización o briquetadoras.** Dentro de las transformaciones físicas para la producción de briquetas y biocombustibles podemos señalar los siguientes procesos:

1. **Fragmentación.** Su objetivo es aumentar la superficie específica, con ello se facilita la ignición y combustión del biocombustible y homogeneizar el tamaño del combustible, facilitando su manipulación.

2. **Secado.** Su propósito es elevar su poder calorífico y facilitar el proceso, como en el caso de los pelets y briquetas de madera, ya que si la materia prima está muy húmeda el proceso es muy caro y se obtiene un producto final de mala calidad.

3. **Compactación o densificación.** Para así aumentar su densidad y disminuir gastos de almacenaje y transporte. Debido a la baja densidad de algunos biocombustibles es preciso compactarlos con lo que a igualdad de peso ocupan menos volumen. Así se obtienen los pelets y briquetas.

- **Material libre.** El material puede ser conducido directamente al hogar de la caldera, donde se dosifica regularmente para su quemado, este proceso es el que se tomó en el presente proyecto de grado.

- **Fermentación anaeróbica.** La fermentación anaeróbica es un proceso natural que ocurre de forma espontánea en la naturaleza y forma parte del ciclo biológico. De esta forma podemos encontrar el denominado "gas de los pantanos" que brota en aguas estancadas, el gas natural metano de los yacimientos petrolíferos, así como el gas producido en el tracto digestivo de los rumiantes como los bovinos. En todos estos procesos intervienen las denominadas bacterias metanogénicas.

**1.2.3 Características físicas y químicas que definen un combustible.** El fin último del presente proyecto de grado es generar una alternativa de combustible, es así que es de importancia tener presente las características físicas y químicas que definen un combustible, las unidades en que se miden se recogen la tabla 1.

Algunas de ellas como la superficie específica sólo es interesante su consideración en biocombustibles sólidos. Otras, como el porcentaje de corteza, son sólo características de un biocombustible (la leña). Otras (viscosidad, por ejemplo) sólo se pueden determinar en combustibles líquidos.

Tabla 1. Características físicas, químicas y físico-químicas de los biocombustibles y sus unidades de medida, a partir del trabajo "Normalización de biocombustibles sólidos".

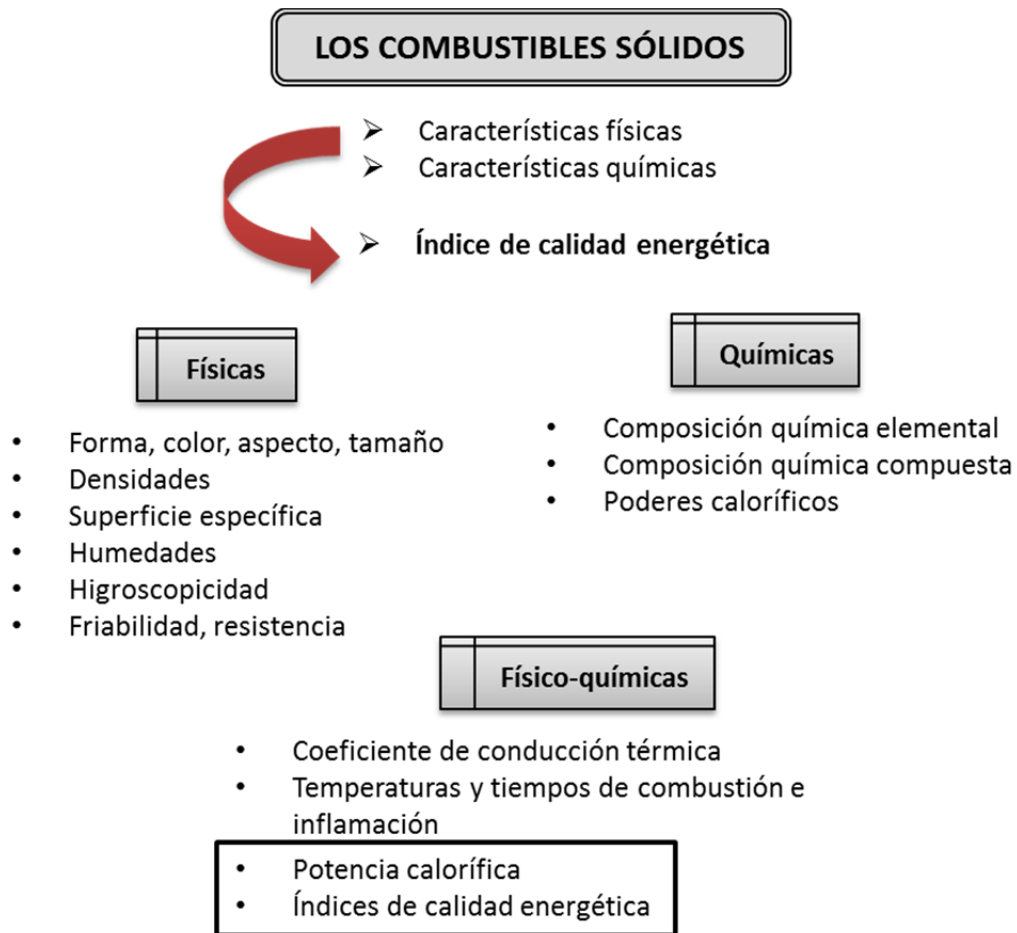
<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y FÍSICO-QUÍMICAS DE LOS            BIOCOMBUSTIBLES Y SUS UNIDADES DE MEDIDA, A PARTIR DEL TRABAJO            "NORMALIZACIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES SÓLIDOS".</b>		
Físicos	1. Forma	----
	2. Aspecto (color, brillo)	----
	3. Densidades	Kg/dm <sup>3</sup>
	4. Peso del estéreo	Kg/estéreo
	5. Humedades	%
	6. Superficie específica	cm <sup>2</sup> /dm <sup>2</sup>
	7. Porcentaje de corteza	%

<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y FÍSICO-QUÍMICAS DE LOS            BIOCOMBUSTIBLES Y SUS UNIDADES DE MEDIDA, A PARTIR DEL TRABAJO            “NORMALIZACIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES SÓLIDOS”.</b>		
	8. Friabilidad 9. Resistencia a la compresión 10. Viscosidad 11. Índice de Kuop 12. Temperatura de ebullición 13. Otros índices físicos exclusivos de combustibles líquidos y gaseosos	Índices Kg/cm <sup>2</sup> poise Índice de Kuop ° C Índices
Químicas	1. Composición química elemental 2. Composición química por compuestos 3. Composición química de cenizas 4. Composición química de gases de escape 5. Poderes caloríficos 6. Índice de yodo 7. Índices de octano y cetano 8. Otros índices químicos exclusivos de combustibles líquidos y gaseosos	% % % % kJ/kg, kcal/kg Índice de yodo Índices Índices
Físico-químicos	1. Coeficientes de conductividad térmica 2. Combustibilidad: Temperatura y tiempo de combustión 3. Inflamabilidad: Temperatura y tiempo de inflamación 4. Potencia calorífica 5. Densidad energética del estéreo	W/m.s ° C, s ° C, s W/s kJ/dm <sup>2</sup> , kJ/est

Fuente: Campos Michelena, Manuel; Hernández Álvarez, Félix. Los biocombustibles. Segunda edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 2008.

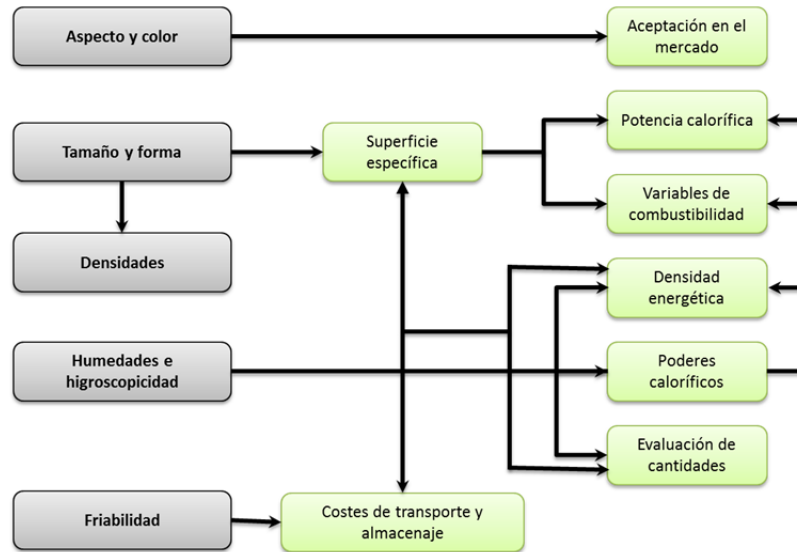
En la figura 4 se presentan las principales características físicas, químicas y físico-químicas que deben considerarse para caracterizar biocombustibles sólidos. La figura 5 muestra las relaciones entre las principales variables físicas y químicas de los biocombustibles sólidos.

Figura 5. Principales características físicas, químicas y físico-químicas en los biocombustibles sólidos.



Fuente: Campos Michelena, Manuel; Hernández Álvarez, Félix. Los biocombustibles. Segunda edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 2008.

Figura 6. Variables físicas de los biocombustibles sólidos.



3

Fuente: Campos Michelena, Manuel; Hernández Álvarez, Félix. Los biocombustibles. Segunda edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 2008.

**1.2.4 Clasificación de los biocombustibles.** Los biocombustibles se pueden clasificar atendiendo a varios criterios. La clasificación en función del origen de los mismos podemos verla en la tabla 2 y la clasificación según su apariencia física podemos verla en la tabla 3.

Tabla 2. Clasificación de los biocombustibles en función de su origen.

ORIGEN DEL BIOCOMBUSTIBLE		ESPECIE O PROCEDENCIA
<b>Cultivos energéticos</b>	Agrícolas	Cardo, sorgo, miscanto, girasol, soja, maíz, trigo, cebada, remolacha, especies C4 agrícolas, etc.
	Forestales	Chopos, sauces, eucaliptos, robinias, acacias, especies C4 forestales, etc.
<b>Restos de cultivos agrícolas</b>	Cultivos herbáceos	Paja, restos de cereales y otras especies herbáceas.
	Cultivos leñosos	Olivo, vid, frutales de hueso, frutales de pepita y

<sup>3</sup> Friabilidad: Propiedad de ser fácilmente desmenuzable.

ORIGEN DEL BIOCOMBUSTIBLE		ESPECIE O PROCEDENCIA
		otras especies leñosas.
<b>Restos de tratamientos selvícolas</b>	Podas, claras, clareos, restos de cortas finales	Especies forestales de los montes
<b>Restos de industrias forestales</b>	Industrias de primera transformación de la madera	Especies de maderas españolas o importadas utilizadas por estas industrias.
	Industrias de segunda transformación de la madera	Especies de maderas españolas o importadas utilizadas por estas industrias.
<b>Restos de industrias agro-alimentarias</b>		Especies vegetales usadas en la industria de la alimentación
<b>Restos de explotaciones ganaderas</b>		Animales de granja, domésticos.
<b>Restos de actividades humanas</b>		Todo tipo de biomásas sólidas urbanas.

Fuente: Campos Michelena, Manuel; Hernández Álvarez, Félix. Los biocombustibles. Segunda edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 2008.

Tabla 3. Clasificación de los biocombustibles según su aspecto físico.

ASPECTO FÍSICO	BIOCOMBUSTIBLE
<b>Sólidos</b>	Leñas y astillas Paja de cereales y biomasa de cardo, miscanthus, etc.
<b>Líquidos</b>	Líquido piroleñoso Líquido de hidrólisis Biotenol y bioalcoholes Aditivos oxigenados Aceite vegetal Metiléster
<b>Gases</b>	Biogás de origen muy diverso

Fuente: Campos Michelena, Manuel; Hernández Álvarez, Félix. Los biocombustibles. Segunda edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 2008.

Los biocombustibles agrícolas pueden proceder de cultivos energéticos, restos de cultivos agrícolas o residuos de industrias agrarias. Los forestales pueden proceder de cultivos energéticos forestales (chopo, sauce, etc.), restos de operaciones selvícolas (podas, claras, clareos, cortas finales), o residuos de industrias forestales de primera o segunda transformación. Los ganaderos suelen ser residuos de granjas, industrias cárnicas o de otro tipo de industrias ganaderas. Los residuos sólidos urbanos, procedentes de actividades humanas, también originan biocombustibles. También aparecen biocombustibles mezclando los anteriores.

En la tabla 4 presentamos las principales características comparativas de los principales biocombustibles sólidos. El último biocombustible es biomasa sólida cultivada y engloba la biomasa procedente de cultivos de cardo, miscanthus y otros cultivos energéticos cuya biomasa sólida se suele emplear para generar calor y/o electricidad.

Tabla 4. Comparación biocombustibles sólidos.

<b>Biocombustible sólido</b>	<b>PCS0 (kcal/kg)</b>	<b>HUMEDAD (%)</b>	<b>DENSIDAD</b>	<b>USO</b>	<b>TRANSFERENCIA</b>
Leñas	4200-4500	30 – 60	Baja	Doméstico	Física
Astillas	4200-4500	20 – 60	Baja	Industrial	Física
Pelets	4200-4500	< 12	Alta	Doméstica e industrial	Física
Briquetas	4200-4500	< 12	Alta	Doméstico	Física
Carbón vegetal	7200-7700	4 – 10	Baja	Doméstica e industrial	Física y química
Biomasa sólida	4200-4500	20 – 60	Variable	Industrial	Física

Fuente: Campos Michelena, Manuel; Hernández Álvarez, Félix. Los biocombustibles. Segunda edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 2008.

**1.2.5 Políticas de desarrollo de la producción de biocombustibles en Colombia.** Diversos países promueven el desarrollo de la producción de

biocombustibles mediante subsidios u otras políticas, o han incorporado en su legislación metas de sustitución de combustibles fósiles por biocombustibles.

La estrategia nacional de biocombustibles, que busca expandir los cultivos con destino a la producción de biocombustibles y diversificar la canasta energética, dentro de un marco de producciones eficientes y sostenibles económica, social y ambientalmente, es de interés nacional por las oportunidades de desarrollo que ofrece.

El plan nacional de desarrollo 2006-2010 establece que el gobierno nacional adelantará las medidas necesarias para mejorar la calidad de diesel que consume el país y promoverá la competencia en el mercado de biocombustibles.

Así mismo, identifica a los biocombustibles como uno de los productos de más alto valor, con los cuales se busca diversificar la producción agropecuaria y conquistar nuevos mercados. En esa medida, el desarrollo de los biocombustibles se encuentra priorizado en las estrategias de los sectores agrícola, ambiental y de energía por lo cual se identifica como un sector potencial dentro de las políticas de desarrollo del país.

El gobierno nacional, ha venido impulsando la estrategia de biocombustibles a través de conjunto de instrumentos de leyes políticas:

- **Ley 693/2001**, por la cual se dictan normas sobre el uso de alcoholes carburantes, se crean estímulos para su producción, comercialización y consumo.
- **Ley 939/2004**, por la cual se estimula la producción y comercialización de biocombustibles de origen vegetal o animal para uso de motores diesel.

- **Decreto 383 de 2007**, modificado parcialmente por el decreto 4051 de 2007 que establece el estímulo para la implementación de zonas francas para proyectos agroindustriales en materia de biocombustibles.
- **Decreto 2629 de 2007**, por medio del cual se dictan disposiciones para promover el uso de biocombustibles en el país, así como medidas aplicables a los vehículos y demás artefactos a motor que utilicen combustible para su funcionamiento.
- **Ley 1111 de 2006**, que establece una deducción de impuestos de renta del 40% de las inversiones en activos fijos reales productivos en proyectos agroindustriales, incluyendo leasing financiero.
- **Decreto 2954 de 2007**, por el cual se crea e implementa el programa "agro ingreso seguro".
- **Decreto 2954 de 2007**, por el cual se reglamenta el artículo 10 de la ley 113/07 (fondo de inversiones de capital de riego)
- **Decreto 2328 de 2008**, por el cual se crea la comisión intersectorial para manejo de biocombustibles.
- **Decreto 1135 de 2009**, por el cual se modifica el Decreto 2629 de 2007, en relación con el uso de alcoholes carburantes en el país y con medidas aplicables a los vehículos automotores que utilicen gasolina para su funcionamiento.

El documento CONPES 3510 del 31 de marzo de 2008 establece los lineamientos de política para promover la producción sostenible de biocombustibles en Colombia. Este documento resume las recomendaciones en 10 estrategias:

1. Creación de la comisión intersectorial para el manejo de biocombustibles.
2. Definición de un programa orientado a reducir los costos de producción de los biocombustibles en las etapas de producción y transformación, con criterios de sostenibilidad ambiental y social.
3. Evaluación y definición de un plan de desarrollo de infraestructura de transporte.
4. Continuar incentivando la producción eficiente de biocombustibles.
5. Definición de un plan nacional de investigación y desarrollo de biocombustibles.
6. Armonización de la política nacional de biocombustibles con la política nacional de seguridad alimentaria y nutricional.
7. Definición de un nuevo esquema de regulación de precios de biocombustibles.
8. Continuación de la política de mezclas de biocombustibles y combustibles fósiles.
9. Desarrollo de acciones específicas para abrir nuevos mercados y diferenciar en producto colombiano en los mercados internacionales.
10. Desarrollo de acciones para garantizar un desempeño ambientalmente sostenible a través de la incorporación de variables ambientales en la toma de decisiones de la cadena productiva.

## 2. PRUEBAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL RESIDUO ORGÁNICO

Dentro de las diferentes investigaciones que realiza el grupo de investigación CENIVAM, requieren realizar procesos de extracción de aceites esenciales a un gran grupo de plantas dentro de las cuales se encuentra la familia *poaceae graminaceae* del género *cymbopogon* de las especies: *flexuosus*, *citratiss*, *martini* y *nardus*. Estas plantas son cortadas aproximadamente tres a cuatro meses después de su siembra, posteriormente son depositadas en el cartucho del alambique en el hidro-destilador (ver figura 7), el cual realiza el proceso de extracción de aceite durante aproximadamente 2 horas, generándose de esta forma biomasa residual sólida de restos de cultivos agrícolas, a partir de cultivos herbáceos. Que puede ser utilizada como biocombustible para la generación de vapor

Figura 7. Cartucho del alambique en el hidro-destilador.



Fuente: Autores.

Con el fin de caracterizar térmicamente la fuente de biomasa para su posterior aprovechamiento, en el presente capítulo se expondrán las diferentes pruebas que proporcionaron los argumentos necesarios para generar la alternativa final tomada en el presente proyecto de grado.

## 2.1 OBTENCIÓN DE LA MATERIA PRIMA.

Una vez terminado el proceso de destilación, actualmente el residuo orgánico de las plantas es desechado o en algunas situaciones usado para compostaje, es aquí donde el presente proyecto de grado toma su materia de trabajo (ver figura 8). Para aprovechar energéticamente este residuo orgánico, deberá pasar por una adecuación previa que será descrita en el presente capítulo, y de esta manera obtener de éste residuo orgánico para la combustión.

Figura 8. Residuo orgánico.



Fuente: Autores.

## 2.2 EQUIPOS PROPUESTOS PARA EL APROVECHAMIENTO DEL RESIDUO ORGÁNICO.

Con el fin de usar el residuo orgánico como materia prima para la producción de biocombustibles y con la previa evaluación de las alternativas, se sitúan dos posibilidades de aprovechamiento:

- **Máquina briqueteadora.** La máquina briqueteadora realiza un proceso mecánico en el que compacta la biomasa, aumentando su densidad y generando el biocombustible en forma cilíndrica para su almacenamiento o ser llevado a una caldera para su quemado. Esta máquina consta de 4 etapas como lo indica la figura 9.

Figura 9. Diagrama a bloques de la máquina briquetadora.



Fuente: Autores.

- **Equipo dosificador de biocombustible.** La máquina toma la biomasa del sistema de alimentación donde es dosificado directamente a la caldera o quemador; puede resaltarse que la biomasa es depositada libremente, sin necesidad de una previa compactación. Este equipo consta de 3 etapas como lo indica la figura 10. generalmente la biomasa es triturada en su primera fase.

El sistema tiene dos ventajas que podrían ser significativas en la construcción y disposición del equipo: Normalmente puede ser acoplado a la caldera o quemador, de esta forma ocupa menos espacio y haría parte de un mismo sistema; trabaja directamente con la caldera o quemador, permitiendo generar la cantidad de biocombustible que ésta necesita y disponerlo en la cámara de combustión automáticamente sin necesidad de trabajo humano u otro equipo.

Figura 10. Diagrama a bloques del equipo dosificador de biocombustibles.



Fuente: Autores.

Aunque ambos sistemas son ampliamente usados en otros países, la implementación de estas propuestas en Colombia no son una alternativa común, por lo que no es posible encontrar estudios en el entorno local que permitan caracterizar y fundamentar más ampliamente dichas alternativas, así mismo es necesario realizar un análisis más detallado que involucra la preparación de la

biomasa residual contra el beneficio obtenido: poder calorífico; de esta forma se podrá obtener una conclusión definitiva que arroje la mejor opción para las condiciones actuales del grupo de investigación Cenivam.

**2.2.1 Adecuación de la materia prima.** La obtención de energía a través del aprovechamiento de los residuos orgánicos en condiciones propicias que permitan generar una mantenibilidad de dicha fuente de energía y de esta manera usarla para un proceso determinado es posible cuando se generan biocombustibles. Como se esbozó en el punto anterior, existen dos posibilidades diferentes para usar el biocombustible que aunque requiere la biomasa en las mismas condiciones, las etapas o pasos de procesamiento de la biomasa de cada máquina no es la misma; por lo que la adecuación del residuo orgánico es el mismo inicialmente, pero el proceso seguido por cada máquina es diferente, a continuación se plantea las etapas llevadas por cada alternativa que fueron llevadas a cabo por medio de pruebas por el presente proyecto de grado.

- El procedimiento usado por una briqueteadora es aplicar una determinada fuerza sobre un área establecida para conseguir una densidad apropiada que permita condiciones de duración de quemado suficiente para la transferencia de calor y de esta manera el uso de este biocombustible sea viable.

Por lo que el valor de la presión de compactación no puede ser tomado sin tener unos indicios apropiados, que a su vez permiten obtener con procedimientos de diseño las características geométricas de la máquina. Para hallar la presión adecuada a la que compactará la briqueteadora, es necesario realizar pruebas de compactación y de incineración que nos permitan encontrar las condiciones favorables en términos de duración del Biocombustible y de transferencia del poder calorífico. Así mismo, se tendrá en cuenta el efecto del uso de aditivos (que mejoren el poder calorífico y que den un efecto aglutinante) en la presión de

compactación, ya que éste puede aumentar el tiempo de incineración completa del biocombustible y en su defecto afectar las condiciones físicas del diseño.

Una vez se obtiene la materia prima es necesario que pase por las siguientes etapas y de esta manera llegar a usarse como biocombustible:

- Etapa de secado
- Etapa de trituración
- Etapa de acondicionamiento y mezclado
- Etapa de compactación

**2.2.2 Etapa de secado.** Para obtener productos compactados de calidad es preciso que el contenido en humedad no supere valores del orden del 15 % en base humedad y que esté por encima de valores del 8 %, puesto que por debajo de este nivel no se obtiene una adecuada aglomeración<sup>4</sup>. En esta fase, inicialmente el residuo orgánico debe ser expuesto a un proceso de secado, el cual se realiza en el vivero ubicado en las instalaciones del grupo de investigación CENIVAM dentro de la Universidad Industrial de Santander (ver figura 11), con el fin de disminuir la humedad del residuo orgánico el material es extendido en estantes dentro del vivero, donde se aprovecha la energía solar, este proceso dura aproximadamente dos días, pero puede variar dependiendo del clima en el cual se realizará el proceso.

---

<sup>4</sup> Torres Ortiz, Luis. Producción de biocombustibles sólidos de alta densidad en España. Universidad de Vigo. 2008.

Figura 11. Instalaciones del vivero Cenivam.



Fuente: Autores.

**2.2.3 Etapa de trituración.** Una vez terminado el proceso de secado, se lleva a cabo el proceso de trituración, éste se realizó en una máquina trituradora Trapp cuyas especificaciones son: triturador forrajero con un motor de 2.0 a 3.0 CV – 50/60 Hz y que la capacidad depende del tipo de material que va a ser triturado (figura 12). Este proceso se realiza utilizando una malla de ½ pulgada, obteniendo como resultado un material del mismo dimensionamiento (figura 13).

Figura 12. Máquina trituradora Trapp.



Fuente: Autores.

Figura 13. Residuo orgánico triturado.



Fuente: Autores.

**2.2.4 Proceso de obtención de las briquetas.** A continuación se mostrará el procedimiento tomado para la preparación de las briquetas y que permitió hacer un análisis de cada fase de este proceso.

**2.2.4.1 Etapa de acondicionamiento.** Una vez triturado el residuo orgánico, se debe agregar a este material aditivos que no sólo mejoren su poder calorífico, también que generen un efecto aglutinante que garantice la forma de briqueta cilíndrica. Se debe entender que la selección pertinente de estos aditivos requiere un estudio tanto químico, área que está fuera del estudio que se pretende hacer en este proyecto de grado, y físico; por lo que el grupo de investigación CENIVAM debe asignar a un ingeniero químico para que realice un estudio enfocado hacía la selección de dichos aditivos que sean pertinentes para el residuo orgánico y además puedan ser hallados fácilmente en nuestro contexto rural. No obstante, es necesario determinar el efecto físico de estos aditivos, por lo que se eligió almidón de yuca y cascarilla de café.

El almidón de yuca, se obtiene fácilmente en nuestra localidad, ya que hace parte de los tubérculos que se producen comúnmente en nuestra área rural, genera un efecto aglutinante por sus características físico-químicas. La cascarilla de café, también es un residuo orgánico fácil de conseguir en nuestro contexto local y económico, que mejora el poder calorífico. Es así, que tenemos dos aditivos que

permitirán estudiar el efecto en la presión de compactación, tanto para la aglutinación, como para el mejoramiento del poder calorífico.

**2.2.4.2 Mezclado.** Una vez determinados los distintos componentes que conformarán la briqueta, se procede a mezclarlos, se realizó pesando los diferentes componentes de acuerdo a proporciones recomendadas por proyectos hechos en el manejo de biocombustibles<sup>5</sup>, como se describirán más adelante, y preparando manualmente con pala. Como ya se ha planteado, inicialmente para la mezcla se debe tener en cuenta la proporción, para ello recurrimos a los estudios experimentales que se han hecho con estos materiales orgánicos, es así que la mezcla trabajada es de 600 g de residuo orgánico *Cymbopogon*, 100 g de almidón de yuca y 50 g de cascarilla de café. Como lo podemos ver en la figura 14, la mezcla se realizó con la proporción indicada y así dar paso a la compactación.

Figura 14. Mezcla de 600 g de residuo orgánico *Cymbopogon*: 100 g de almidón de yuca y 50 g de cascarilla de café.



Fuente: Autores.

Con el fin de obtener reducciones de volumen comparables de la mezcla en iguales condiciones para cada briqueta, compactación; se tomó el peso para cada

---

<sup>5</sup> Torres Ortiz, Luis. Producción de biocombustibles sólidos de alta densidad en España. Universidad de Vigo. 2008.

una de éstas, por lo que se sacaron 15 muestras de 250 g para realizar 15 briquetas, como lo indica la figura 15.

Figura 15. Dosificación de 250 g para cada briqueta.



Fuente: Autores.

**2.2.4.3 Etapa de compactación.** Con el fin de obtener una densidad de briqueta que proporcione un tiempo de incineración favorable para un proceso que requiera la aplicación de energía térmica con una cantidad de tiempo considerable, se realizó la compactación a diferentes presiones, de esta forma medir su poder calorífico y por último exponerlas a una incineración en condiciones similares a las de una caldera normal para determinar el tiempo en que podría transferir energía calórica.

Vale la pena resaltar que la compactación se intentó realizar sin aditivos, en aras de establecer posibilidades comparativas, pero los resultados indicaron la necesidad de introducir al menos un aglutinante que permitiera sostener la forma cilíndrica y así, una mantenibilidad a la hora del quemado en la caldera, ver figura 16.

Figura 16. Briqueta sin aglutinante.



Fuente: Autores.

**2.2.4.4 Prueba de compactación.** Con la dosificación definida de mezcla (*cymbogogon*, almidón de yuca y cascarilla de café), se realiza la compactación de las briquetas. Para esta etapa se tomaron 15 muestras, 12 de estas para compactaciones desde una presión de  $\frac{1}{2}$  tonelada hasta una presión de 6 toneladas, aumentando progresivamente  $\frac{1}{2}$  tonelada con respecto a la anterior; 3 muestras para 2, 4 y 6 toneladas sin aditivos, con el fin de realizar una evaluación comparativa con las que si se les agregaron aditivos.

Este proceso de compactación fue realizado en los laboratorios de ingeniería civil de la Universidad Industrial de Santander, ubicados en el edificio Álvaro Beltrán Pinzón; la máquina utilizada fue una prensa Alfred J. Amsler y cia. Con una capacidad máxima de 200 toneladas y un amperaje 1.5 a y un avance de 1.7 mm/seg (ver figura 17).

Figura 17. Prensa Amsler.



Fuente: Autores.

Debido a las presiones a las cuales iban a ser expuestas las briquetas, hubo la necesidad de construir un recipiente cilíndrico con diámetro interno de 8 cm y un espesor de 0.8 cm y con una altura de 20.5 cm de tubo de perforación, que resistiera la presión y permitiera dar la forma última de la briketa, ver figura 18.

Figura 18. Recipiente cilíndrico construido para la forma última de la briketa.



Fuente: Autores.

Al definir el equipo compactador, el recipiente y el material se procede a compactar, como lo indica figura 19. en la primera imagen de izquierda a derecha podemos ver el recipiente sobre la prensa; en la segunda depositamos dentro de éste la mezcla; en la tercera imagen situamos un cilindro compactador que se ajustará a las dimensiones del recipiente; en la cuarta imagen podemos visualizar el proceso de compactado.

Figura 19. Proceso de compactación de las briquetas.



Fuente: Autores.

Las briquetas obtenidas a bajas presiones, como se puede apreciar en la imagen a la izquierda de la figura 20, no mantienen su forma, se deshacen fácilmente con el contacto. Por el contrario, las briquetas obtenidas a altas presiones (imagen a la derecha de la figura 20) superan los anteriores inconvenientes.

Figura 20. A la izquierda, briquetas a bajas presiones; a la derecha, briquetas a altas presiones.



Fuente: Autores.

Finalmente en la figura 21 podemos visualizar las 15 briquetas obtenidas después del proceso de compactación.

Figura 21. Total de briquetas a distintas presiones.



Fuente: Autores.

**2.2.5 Medición del poder calorífico.** Con el fin de establecer el poder calorífico de la briqueta, se permitió el uso del laboratorio de Carbones de ingeniería Metalúrgica de la Universidad Industrial de Santander, ubicado en el edificio Planta

de aceros Álvaro Quiroga Correa, junto con la orientación del auxiliar Ambrosio Carrillo Carrillo.

Para esta prueba se requiere el uso de cuatro equipos: balanza Ainsworth de 15 vatios, con una medición de 0 a 140 gramos de cinco cifras significativas; un horno alemán Member de 800 vatios, con una temperatura que puede variar de 0 a 220 grados centígrados; un triturador fino<sup>6</sup> y una bomba calorimétrica italiana Bicasa de 0 - 220 voltios con una constante calorimétrica de  $5088,366 \frac{btu \cdot lib}{g \cdot ^\circ C}$ , como se puede apreciar en la figura 22.

Figura 22. De izquierda a derecha: Balanza, horno, trituradora fina, bomba calorimétrica.



Fuente: Autores.

Para la medición del poder calorífico la bomba calorimétrica necesita que una parte de la briqueta se encuentre triturada finamente, por esto se usó la trituradora fina y se deposita en un crisol con las siguientes dimensiones: diámetro interior de 1.49 cm, diámetro exterior de 1.87 cm, altura interior de 2.22 cm, altura exterior 2.56 cm y una aleta de 2mm, como lo indica la figura 23.

---

<sup>6</sup> Se encuentra en el laboratorio de Planta de aceros Álvaro Quiroga Correa y cuyas referencias no son posibles determinar debido a la pérdida de sus distintivos.

Figura 23. De izquierda a derecha: Briqueta triturada finamente y material depositado en el crisol.



Fuente: Autores.

Triturado finamente el material, se deposita en el crisol para ser pesado en la balanza de precisión, peso necesario para determinar el poder calorífico; después se lleva a la bomba calorimétrica como lo muestra la figura 24.

Figura 24. Proceso de preparación de la muestra para la medición del poder calorífico.



Fuente: Autores.

Una vez puesta la muestra en la bomba calorimétrica se mide la temperatura inicial, luego se aplica una corriente eléctrica al alambre de ignición para encender el material, se mide la temperatura máxima a la que se transfiere el calor desde el material hasta la superficie de un cilindro interno, pasados 20 minutos termina la prueba (ver figura 25) y con las temperaturas final e inicial tomadas se remplazan los datos en la siguiente fórmula:

$$PC = \frac{C_{bomba} * \Delta t - (Q_z)}{m_{comb}}$$

Donde,

$PC$ : Poder calorífico.

$\Delta t$ : Diferencia de temperaturas (temperatura final menos la inicial).

$Q_z$ : Longitud de alambre de ignición quemado.

$m_{comb}$ : Masa de la muestra.

Figura 25. Crisol después de la prueba.



Fuente: Autores.

En las siguientes tablas podemos ver el poder calorífico de diferentes muestras con dos aditivos distintos y el residuo orgánico puro (sin aditivos), aplicando el anterior procedimiento se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 5. Poder calorífico de las briquetas con diferentes aditivos.

<b>Aditivo de yuca y cascarilla de café</b>	
<b>PODER CALORÍFICO (BTU)</b>	6422,88685
Peso del Crisol (g)	5,74527
Peso del Crisol más muestra (g)	6,20476
Temperatura inicial (°C)	25,67
Temperatura final (°C)	26,25
Constante calorimétrica ( $\frac{btu \cdot lib}{g \cdot ^\circ C}$ )	5088,366
Divisiones totales de alambre	23
Divisiones sobrantes de alambre	9
Divisiones quemadas de alambre	14

<b>Aditivo de fresco y cascarilla de café</b>	
<b>PODER CALORÍFICO (BTU)</b>	6805,3473
Peso del Crisol (g)	6,26231
Peso del Crisol más muestra (g)	6,91281
Temperatura inicial (°C)	24,37
Temperatura final (°C)	25,24
Constante calorimétrica ( $\frac{btu \cdot lib}{g \cdot ^\circ C}$ )	5088,366
Divisiones totales de alambre	23
Divisiones sobrantes de alambre	10
Divisiones quemadas de alambre	13

<b>Material puro (sin aditivos)</b>	
<b>PODER CALORÍFICO (BTU)</b>	11239,3407
Peso del Crisol (g)	5,74527
Peso del Crisol más muestra (g)	6,21158
Temperatura inicial (°C)	24,57
Temperatura final (°C)	25,6
Constante calorimétrica ( $\frac{btu \cdot lib}{g \cdot ^\circ C}$ )	5088,366
Divisiones totales de alambre	23
Divisiones sobrantes de alambre	7
Divisiones quemadas de alambre	16

Fuente: Autores.

Vale la pena resaltar que las pruebas hechas para medir el poder calorífico a diferentes mezclas de material con o sin aditivos no arrojan información relevante para la construcción de la máquina, ya que el interés de realizar pruebas para la compactación y el tiempo de incineración es de carácter físico, encontrar las mejores condiciones de durabilidad de la briqueta para dar mayor tiempo a la transferencia de calor que sucede a una determinada presión de compactación, necesaria para el diseño de la máquina; pero es de importancia para los autores destacar que la selección de los aditivos, ya sea para aumentar el poder calorífico o aglutinar, debe hacerse con mayor investigación, profundizando en las características químicas de los diferentes compuestos y el residuo orgánico, donde con mayor detenimiento se seleccionen aditivos que posibiliten la viabilidad del uso de este biocombustible, cuestión que se refleja notoriamente al comparar el poder calorífico obtenido para la briqueta sin aglutinantes y el poder calorífico obtenido con alguno de éstos, donde se disminuye cerca de la mitad del potencial, es así que ante la pérdida significativa del poder calorífico es clara la necesidad de profundizar el estudio químico.

**2.2.6 Incineración de las briquetas.** Por último, con el fin de determinar la presión de compactación que posibilite un tiempo suficiente para que la

transferencia de calor sea considerable y de esta manera hacer un uso significativo con dicha energía, las briquetas se situaron en una caldera casera hecha para este proyecto, donde se simuló en condiciones similares a las que se tendría en un quemador el proceso de incineración de las briquetas, ver figura 26.

Figura 26. Caldera casera.



Fuente: Autores.

En esta caldera casera se colocaron en grupos las diferentes briquetas en iguales condiciones y se midieron los tiempos, como lo indica la figura 27.

Figura 27. Proceso de incineración.



Fuente: Autores.

El proceso de incineración requirió de un suministro constante de aire para garantizar el encendido de las briquetas durante toda la prueba, esta ventilación remueve las cenizas del material ya quemado evitando que el fuego se disipe; este proceso fue hecho con un secador de cabello como lo indica la figura 28.

Figura 28. Suministro de aire.



Fuente: Autores.

A continuación se muestran los diferentes tiempos obtenidos:

Tabla 6. Tiempos de incineración.

<b>Fuerza de compactación (toneladas)</b>	<b>Característica de la briqueta</b>	<b>Tiempo de incineración</b>
0,5	Aditivo de frutiño y cascarilla de café	No se pudo
1	Aditivo de frutiño y cascarilla de café	No se pudo
1,5	Aditivo de frutiño y cascarilla de café	No se pudo
2	Aditivo de frutiño y cascarilla de café	12 minutos
2,5	Aditivo de frutiño y cascarilla de café	15 minutos
3	Aditivo de frutiño y cascarilla de café	30 minutos
3,5	Aditivo de frutiño y cascarilla de café	34 minutos
4	Aditivo de frutiño y cascarilla de café	45 minutos
4,5	Aditivo de frutiño y cascarilla de café	46 minutos
5	Aditivo de frutiño y cascarilla de café	50 minutos
5,5	Aditivo de frutiño y cascarilla de café	58 minutos
6	Aditivo de frutiño y cascarilla de café	1 hora 20 minutos
6	Aditivo de yuca y cascarilla de café	1 hora 25 minutos
2	Material puro	10 minutos
4	Material puro	40 minutos
6	Material puro	45 minutos

Fuente: Autores.

Las briquetas a bajas presiones (0.5, 1 y 1,5 To) no se pudieron llevar a cabo ya que perdieron totalmente su forma, la presión de compactación es muy baja y no garantiza la perdurabilidad del perfil de la briqueta, desmoronándose fácilmente. A pesar de que el poder calorífico de las briquetas, sin importar su presión de compactación, es igual, es muy importante que el biocombustible permita dar un tiempo en el que la transferencia de calor sea suficiente para dar provecho a una aplicación, por ejemplo: el proceso de destilación con que se realiza normalmente la extracción de aceites de donde se obtuvo el residuo orgánico para generar estas briquetas, necesita alrededor de 2 horas; es claro que la tabla 2 indica que a bajas presiones, aunque se transmite el mismo poder calorífico, este se realiza por un tiempo pequeño, si aumentamos la presión podemos permitir que este tiempo aumente, pero vale la pena destacar que a altas presiones se hace más difícil el encendido del biocombustible.

Podemos concluir que situando aspectos de encendido y tiempos de incineración, las presiones entre 4 y 5 toneladas presentan las condiciones más favorables, junto con un encendido que se puede realizar de forma no tan difícil, es por esto que la fuerza de compactación tomada fue de 4,5 toneladas.

## **2.3 CONCLUSIONES**

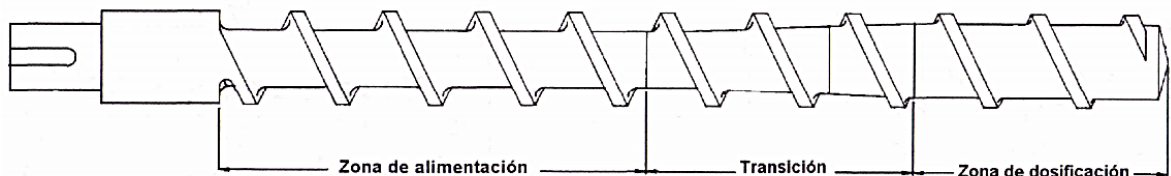
Las anteriores pruebas indican que para el aprovechamiento de la biomasa a través de briquetas, debe investigarse a fondo el residuo orgánico para que, de esta forma, se construya coherentemente el diseño de la máquina briqueteadora.

- La prueba de compactación expuso la necesidad de usar aglutinantes que permitieran al residuo orgánico mantener la forma cilíndrica de la briqueta y de esta manera manipularse adecuadamente, almacenarse para su posterior uso y mínimo desperdicio de material.

- La medición del poder calorífico evidenció que el uso de los aditivos tomados está disminuyendo significativamente el potencial energético de la briqueta, por lo que para seleccionarlos se debe estudiar con detenimiento el material junto con su aglutinación e incineración, lo crítico de la situación es que cada aditivo cambia de forma inesperada las características físicas (fricciones) del diseño del tornillo compactador.
- De acuerdo con la tabla 6 se observa que el tiempo de quemado puede aumentar con el uso de aditivos, por lo que el aditivo desempeña un papel importante.

Además de lo mencionado anteriormente, en la construcción de la máquina briquetadora la fabricación del tornillo compactador se torna costoso; ya que con la limitación de maquinaria industrial de maquinado en la ciudad de Bucaramanga, en particular el Control Numérico Computarizado (CNC) que es el módulo base para la construcción del tornillo compactador, pues, para las características de forma que se requiere, éste equipo es el único que permite generar su maquinado. Dicho proceso en la ciudad, debido a su escasa oferta está actualmente ofrecido a un alto costo, alrededor de 4 millones de pesos (\$ 4,000,000), sólo en el desarrollo del procesamiento del tornillo, sin tener en cuenta el material.

Figura 29. Tornillo compactador.



Fuente: Gómez Gómez, Jimmy Joane; Gutiérrez Bedoya, Jorge Edwin. Diseño de una extrusadora para plásticos. Tesis de grado. Universidad Tecnológica de Pereira. 2007..

El material para la construcción del tornillo compactador, con el tamaño (longitud 1,5 m) y características anticorrosivas que requiere puede costar 2'00.000 pesos. Por último, debido al tamaño y funcionalidad que requiere el colocar en movimiento dicho elemento crucial para la máquina briqueteadora se contempla una potencia de motor cerca a los 10 HP, teniendo un costo cercano a los 3 millones quinientos mil pesos (\$3'500,000).

Es así, que después de un análisis de las posibilidades de aprovechamiento del residuo orgánico en el que se pueda obtener biocombustible se llegó a la siguiente propuesta, en la que vale la pena destacar el siguiente planteamiento:

*La propuesta surge de un proyecto que actualmente se encuentra funcionando con características favorables.*

El uso de briquetas es una alternativa viable desde el punto de vista del manejo de transporte, alta producción; pero para el caso de baja producción, como es la situación del grupo de investigación Cenivam o de un campesino, la briqueta no es una elección económicamente viable.

Es así que la segunda propuesta planteada: El sistema de dosificación de biocombustible, se sitúa como la alternativa viable económica y energéticamente posible para la actual situación del grupo de investigación Cenivam o el pequeño productor.

Esta propuesta, no sólo consta de menos etapas, también fusiona en una máquina ambos equipos: dosificación de biocombustible y caldera disminuyendo de esta forma costos, espacio, practicidad y viabilidad, generando el mismo fin último y las mismas condiciones de obtención de energía calórica.

Es también importante resaltar que esta alternativa incluye los dos proyectos de grado que actualmente se están llevando a cabo para el grupo de investigación Cenivam, sin desvincular a ninguno de los dos trabajos que se han hecho en éstos y sin perder el conocimiento o el tiempo dedicado, ya que esto da mayor posibilidad de desarrollar el proyecto del dosificador de biocombustible. Es importante tener en cuenta que para el desarrollo de este equipo se necesita que ambos proyectos continúen desarrollando su ejercicio y culminen en la presente propuesta, por lo que ambos proyectos son complementarios, se requiere que ambos grupos encaminen sus proyectos a un equipo único que permitiría el aprovechamiento de la energía contenida en la biomasa.

Al fusionar la dosificación del biocombustible y la caldera, se permite aumentar el control en la adición de la biomasa, el sistema de dosificación suministra directamente el biocombustible a la caldera, diseñándose para que se proporcione el requerido por ésta, con ello se introduce sólo la cantidad que la caldera necesita y de esta manera se genera un mayor aprovechamiento de la energía contenida en el residuo orgánico.

Podemos deducir entonces que disminuyendo espacio, dificultad de construcción y potencia requerida, también disminuirá costos, llegando a la no impresionante estimación de menos de un cuarto del costo de la propuesta de la máquina briquetadora, además, el trabajo de dos equipos puede dar mayores resultados favorables en menos tiempo; por tanto se considera que es una propuesta válida que posibilitará un gran avance en el aprovechamiento de residuos orgánicos y además para el diseño de máquinas para este uso.

### **3. DISEÑO DEL SISTEMA DE DOSIFICACIÓN**

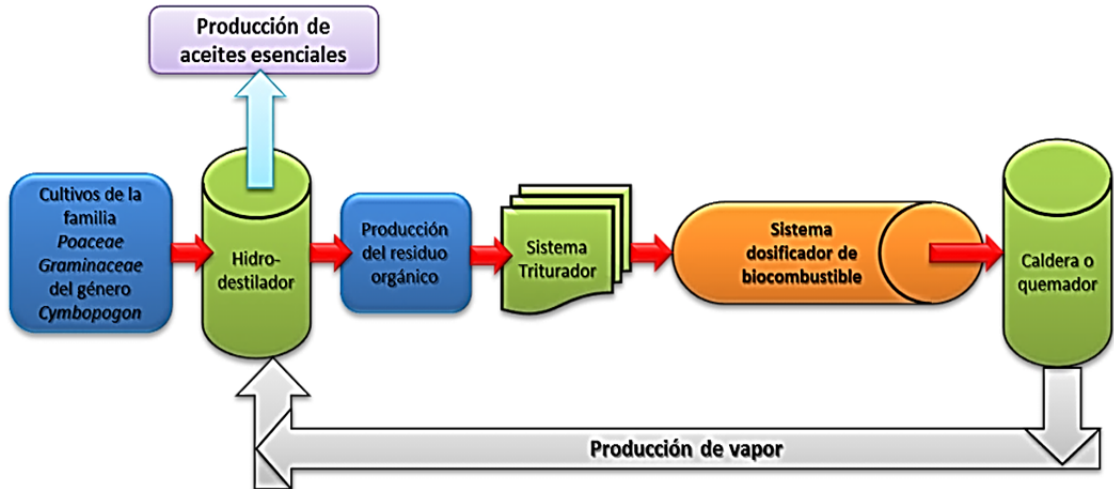
En el presente capítulo se describirá el procedimiento tomado para el diseño del sistema transportador que proporcionará la dosificación de biocombustible. Inicialmente se proporcionarán aspectos conceptuales de construcción de cada elemento que conforma el sistema y después se describirá el proceso tomado para la selección de cada uno. Con el fin de dar seguridad al diseño en cuanto a aplicabilidad, construcción y viabilidad se siguió el diseño propuesto por los constructores de sistemas de transporte *Martin Engineering*, que tienen una gran trayectoria en el diseño y construcción de cada uno de los elementos que lo conforman.

#### **3.1 PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES**

Inicialmente se proporcionará un bosquejo global del proceso de extracción de aceites esenciales, donde se ubicarán las diferentes etapas o sistemas (diferentes máquinas) en desarrollo a partir de proyectos de grado y donde se ubicará el diseñado en la presente propuesta. De esta forma se tendrá una visión más aproximada de su papel en la cadena de producción y por lo tanto la importancia en la selección de las diferentes fases de desarrollo y construcción.

A continuación se proporciona un esquema general de la producción de aceites esenciales:

Figura 30. Esquema global de la producción de aceites esenciales.



Fuente: Autores.

A partir del esquema de la figura 30 podemos describir las siguientes etapas:

- **Cultivos familia *Poaceae graminaceae* del genero *Cymbopogon*.** En esta etapa se cultivan las especies: *Flexuosus*, *Citratis*, *Martini* y *Nardos*; usadas por el grupo de investigación Cenivam para la extracción de aceites esenciales.
- **Hidro-destilación.** Luego de la recolección de las cosechas de alguna de las especies anteriormente mencionadas, se llevan al equipo de hidro-destilación donde se extraerán los aceites usados para los experimentos hechos por el Cenivam.
- **Producción del residuo orgánico.** Terminada la extracción de aceites se produce el residuo orgánico que será tomado como materia prima por el presente proyecto de grado.
- **Sistema triturador.** El residuo orgánico es triturado en esta etapa para su posterior aprovechamiento, el equipo triturador es también propuesto por el presente proyecto de grado, ver Capítulo IV.

- **Sistema dosificador de biocombustibles.** Objetivo principal del presente proyecto de grado, que proporcionará el biocombustible a la caldera o quemador.
- **Caldera o quemador.** En esta etapa la caldera o el quemador debe tomar el biocombustible y usarlo para producir vapor que será usado para la hidrodestilación.

Es así que el objetivo de la etapa del sistema dosificador de biocombustibles puede verse con mayor claridad y contextualizarse en la producción de aceites esenciales realizada por el grupo de investigación Cenivam, de esta forma a continuación se describirá cada uno de los componentes que conforman esta etapa.

### **3.2 SISTEMA TRANSPORTADOR DE TORNILLO**

Elemento mecánico constituido básicamente por un eje en el cual lleva una o varias hélices, empleado en la industria para el transporte de productos, transmisión de potencia y en sistemas de reductores de velocidad.

Los transportadores de tornillo sinfín son un sistema capaz de mover materiales a granel, prácticamente en cualquier dirección proporcionando variedad de opciones para su manejo de manera eficaz y confiable, las ventajas que este tipo de tornillo ofrecen son:

1. Son compactos.
2. Diseño modular de fácil instalación.
3. Soportes y apoyos simples.

4. Resisten altas temperaturas.
5. Son fáciles de hermetizar
6. Son extremadamente versátiles, pueden utilizarse como dosificadores, mezcladores o agitadores.
7. Pueden tener varias zonas de carga y descarga.
8. Uso muy amplio para la dosificación y transporte de materiales pulverizados o granulares.
9. Se requiere de su uso cuando el manejo de capacidades es moderado sin excederse de distancias no mayores de 61 metros (200 pies) en horizontal.
10. Poco espacio ocupado en el plano transversal a la dirección de transporte y fácil adaptación a la geometría de la necesidad.
11. Pueden ser utilizados en forma horizontal, inclinada y vertical totalmente.
12. Con su sencilla tapa de canal pueden hacerse herméticos al polvo.
13. Económico, comparados con otros transportadores como son los de cadena y aproximadamente la mitad de los otros transportadores.
14. Pueden manejar material en terrones, si no son muy grandes en relación con el diámetro de la hélice.
15. Son fabricados en acero al carbón y acero inoxidable.

16. Son transportadores y mezcladores al mismo tiempo.

17. Facilidad de distribución en un depósito.

Entre los materiales a transportar se recomienda su empleo para transportar materiales no muy densos y pegajosos.

Las desventajas que presentan son:

1. No permiten el transporte de materiales que posean grandes tamaños.

2. No son aptos para el transporte de materiales frágiles o delicados.

3. No transportan materiales no abrasivos.

4. Tiene requerimiento de potencia un poco elevados.

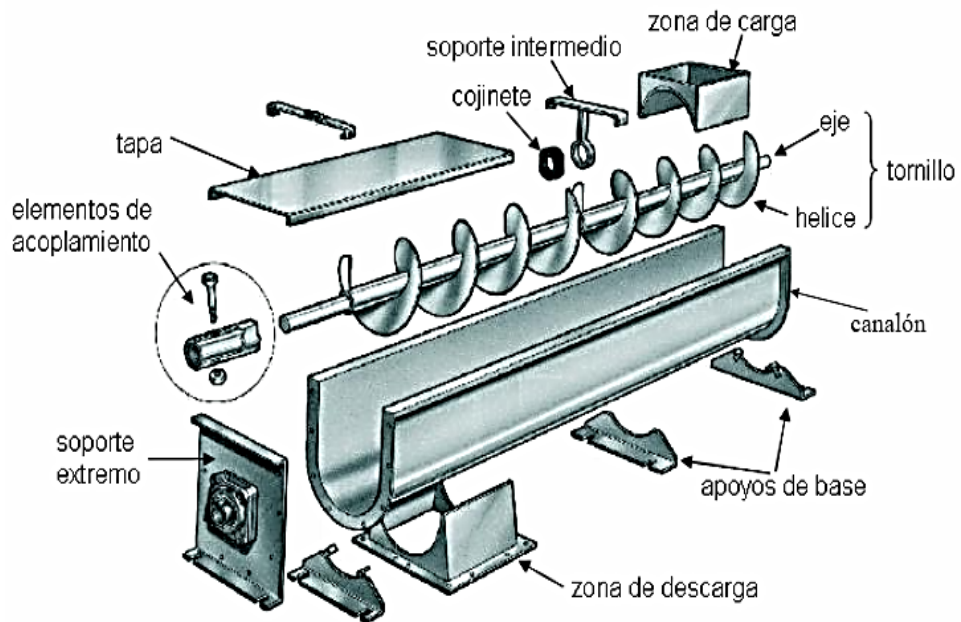
5. Contaminan el material.

6. Transportan distancias máximas de hasta 50 metros

7. Pueden transportar azúcar, cemento, café, cereales, granos, hojuelas, pulpa de papel, químicos, semillas y en general se recomienda su empleo para el transporte de material no muy densos, no muy pegajoso y sin aristas vivas.

**3.2.1 Partes de un tornillo transportador.** En la figura 31 se presentan los diferentes componentes que conforman generalmente el sistema de tornillo transportador, seguidamente se proporcionará una breve descripción de las posibilidades de construcción o selección de cada uno de estos elementos.

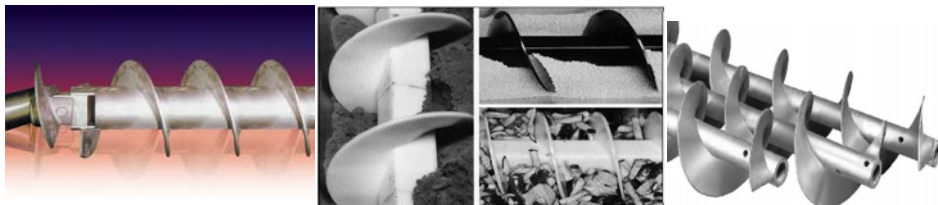
Figura 31. Componentes del tornillo transportador.



Fuente: Catálogos Martin Screw.

**3.2.1.1 Eje del tornillo.** Es generalmente tubular, recibe el movimiento de la transmisión y gira apoyado sobre rodamientos o chumaceras, situados a una distancia de 2 a 3 m. Existen apoyos terminales o extremos y apoyos intermedios, para longitudes considerables.

Figura 32. Eje del tornillo.



Fuente: Catálogos Martin Screw.

**3.2.1.2 Hélice.** Construida independientemente del eje en la mayoría de los diseños, y hecha a base de lámina cuyo espesor oscila entre 2 y 12 mm, se construyen en tramos independientes, que luego se unen soldando o atornillando

con ayuda de elementos de unión, existen fabricas especializadas que sacan hélices completas, sin necesidad de estar uniendo parte por parte sin embargo en nuestro medio la construcción de dichas hélices se realiza en forma rudimentaria a través de herramientas artesanales o hechizas.

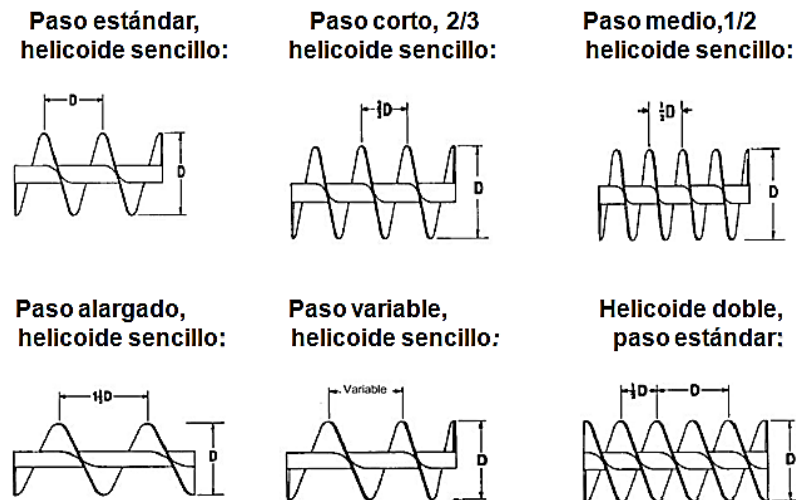
Figura 33. Hélice.

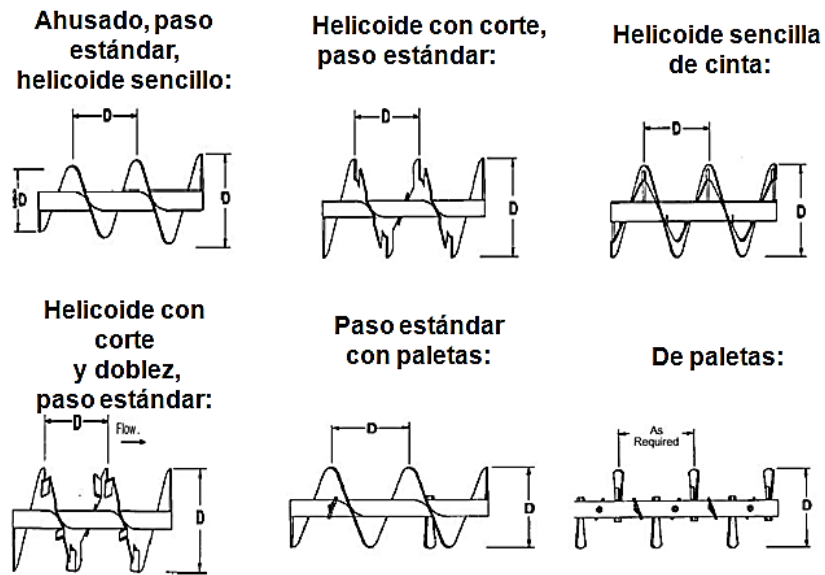


Fuente: Catálogos Martin Screw.

**3.2.1.3 Clasificación de los tornillos transportadores.** Los tornillos transportadores básicamente se clasifican de acuerdo al paso y a la forma como se desenvuelve o se enrolla la hélice en el transportador, se ajusta de acuerdo a la clase de material a manejar, en especial en lo referente a la forma y dimensiones del sinfín, en la figura 34 podemos ver la clasificación de los tornillos transportadores de acuerdo al paso y en la figura 35 veremos la clasificación de acuerdo a la forma.

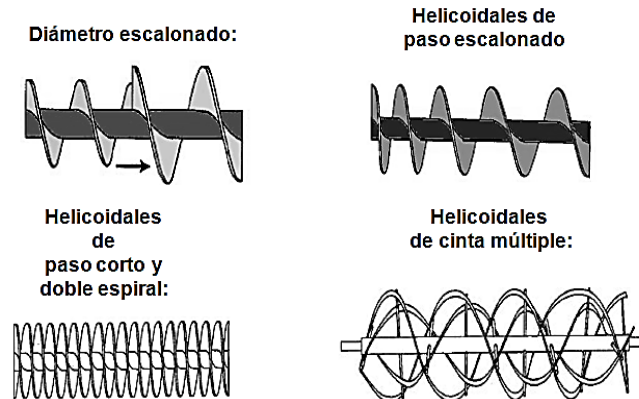
Figura 34. Clasificación de los tornillos transportadores de acuerdo al paso.





Fuente: Catálogos Martin Screw.

Figura 35. Clasificación de los tornillos transportadores de acuerdo a la forma.



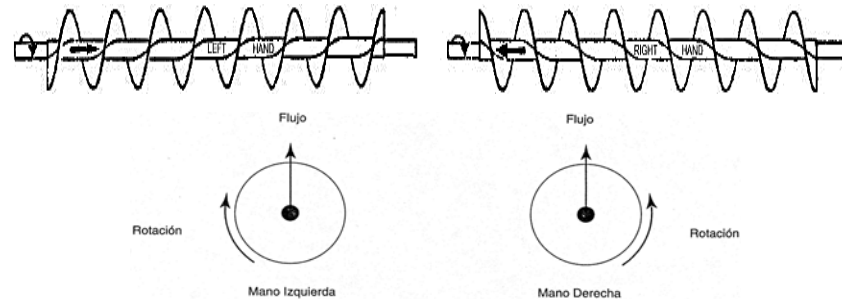
Fuente: Catálogos Martin Screw.

**3.2.1.4 Sentido de giro de los tornillos transportadores.** Un transportador helicoidal es mano derecha o izquierda dependiendo de la forma de la hélice el sentido de la hélice del helicoidal se determina fácilmente mirando el extremo del helicoide.

Cuando el flujo de material se encuentre en la dirección opuesta al extremo visible, una helicoidal a mano derecha se moverá en rotación contrario al reloj y una

helicoidal a mano izquierda se moverá en rotación igual que el reloj, tal como se muestra por las flechas.

Figura 36. Sentido de giro de los tornillos.

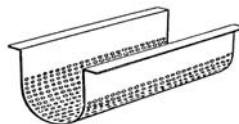


Fuente: Catálogos Martin Screw.

**3.2.1.5 Artesa o canal.** Sirve de guía para el transporte del material. Puede quedar cerrada completamente o semicerrada según lo impongan las necesidades. También fabricada en lámina cuyo calibre se especifica en tablas de catálogos según la naturaleza del material a transportar, a continuación veremos algunas de las disposiciones más usadas:

- **Artesa con fondo perforado.** Se utiliza como una operación de cribado o sección de colado cuando existen líquidos en el material transportador. El tamaño de las perforaciones varía dependiendo del material a transportar y de la aplicación.

Figura 37. Artesa con fondo perforado.

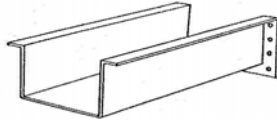


Fuente: Catálogos Martin Screw.

- **Artesa rectangular.** Hecha con un fondo plano, puede ser formada como un todo o por piezas. Para materiales abrasivos capaces de formar una capa de

material en el fondo, el material por lo tanto se mueve sobre sí mismo protegiendo la artesa al desgaste.

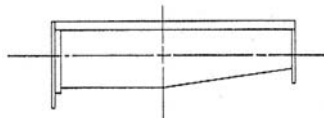
Figura 38. Artesa rectangular.



Fuente: Catálogos Martin Screw.

- **Artesa de fondo cónico.** Con algunos materiales la artesa cónica es necesaria para prevenir el acumulamiento en la artesa o la contaminación del material.

Figura 39. Artesa de fondo cónico.



Fuente: Catálogos Martin Screw.

- **Artesa tubular.** Construido con tubo sólido o bipartido con pestañas para atornillar o prensar las dos mitades. Es un armazón tubular completo y se utiliza para aplicaciones que deben ser resistentes al medio ambiente, para aplicaciones inclinadas o verticales donde la caída obliga a la artesa a operar una carga total.

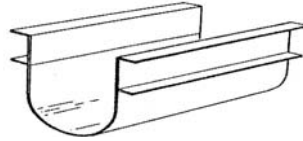
Figura 40. Artesa tubular.



Fuente: Catálogos Martin Screw.

- **Artesa con parte lateral y alta.** Los lados de la artesa se extienden más arriba de lo estándar de la línea del centro a la parte superior de la artesa.

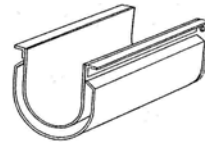
Figura 41. Artesa con parte lateral y alta.



Fuente: Catálogos Martin Screw.

- **Artesa enchaquetada.** Consiste de una chaqueta formada continuamente y soldada a la artesa. Este tipo de artesa se usa para el calentamiento secado o enfriamiento de material.

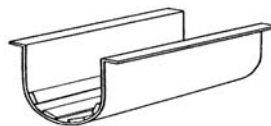
Figura 42. Artesa enchaquetada.



Fuente: Catálogos Martin Screw.

- **Artesa de barras de manejo.** Son barras planas de alrededor a media pulgada de ancho montadas en la longitud parcial o total de la artesa se usan normalmente dos o cuatro barras.

Figura 43. Artesa de barras de manejo.

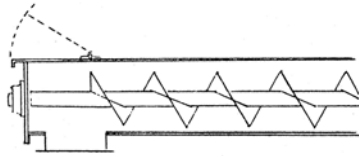


Fuente: Catálogos Martin Screw.

### 3.2.1.6 Tapas o cubiertas

- **Cubiertas de desborde.** Se usan como medio de seguridad para manejar el desborde en las descargas en casos donde el material se pueda atorar en estas.

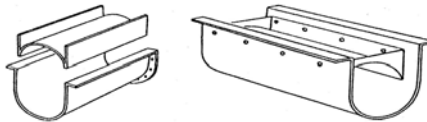
Figura 44. Cubiertas de desborde.



Fuente: Catálogos Martin Screw.

- **Cubiertas de casquillos.** Están diseñadas para embonar dentro de una artesa estándar, para crear un efecto tubular dentro de la artesa.

Figura 45. Cubiertas de casquillos.



Fuente: Catálogos Martin Screw.

- **Cubierta de rejillas.** Pueden ser abastecidas donde se requiere de una cubierta para seguridad y de una inspección visual constante.

Figura 46. Cubiertas de rejillas.



Fuente: Catálogos Martin Screw.

- **Cubiertas con bisagras.** Pueden ser fabricadas a partir de cubiertas planas convencionales. Están equipadas con una bisagra en uno de sus lados para fijarse a la artesa y están atornilladas o apresadas a la artesa en el otro de sus lados.

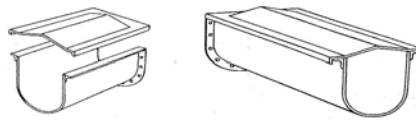
Figura 47. Cubiertas con bisagras.



Fuente: Catálogos Martin Screw.

- **Cubiertas a dos aguas.** Un tanto anguladas para formar un borde a través del centro de la cubierta. Se recomienda normalmente para instalaciones exteriores para prevenir la acumulación de humedad, también son unas de las más rígidas.

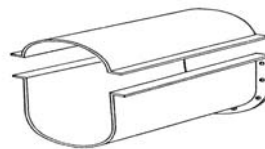
Figura 48. Cubierta a dos aguas.



Fuente: Catálogos Martin Screw.

- **Cubiertas tipo domo.** Son domos de medio círculo enrolladas al mismo diámetro de la artesa. Se utilizan cuando se requiere de una ventilación de gases o calor del material transportado.

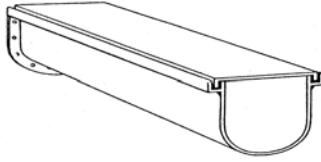
Figura 49. Cubiertas tipo domo.



Fuente: Catálogos Martin Screw.

- **Cubiertas cerradas al polvo.** Tienen pestañas en sus cuatro lados para igualar las secciones fabricadas a los lados en los extremos y canales transversales de artesa especiales resistentes al polvo.

Figura 50. Cubiertas cerradas al polvo.



Fuente: Catálogos Martin Screw.

**3.2.2 Soportes.** El propósito de estos es no permitir la flexión en las partes intermedias, donde sea necesario, al tornillo. Siendo diseñadas primordialmente para soportar cargas radiales con bajo porcentaje de carga axial. También tiene dos apoyos extremos.

Figura 51. Soportes.



Fuente: Catálogos Martin Screw.

- **ACOPLES.** Cuando el tornillo tiene una longitud extensa se utilizan acoples para unir los tramos de éste, esto se puede realizar de distintas maneras, por ejemplo mediante acoples tubulares entre dos secciones, *comple rapido por eslabon tubular partido* o por acople de hélice partida. Se utilizan cuando el tornillo tiene una extensa longitud para unir tramos de éste con sus soportes, para acoplar el tornillo con la transmisión de potencia que viene del motor o para acoplarlo con la chumacera.

Figura 52. Acoples.

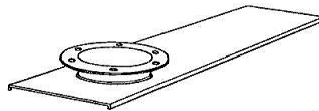


Fuente: Catálogos Martin Screw.

**3.2.3 Boquillas de carga y descarga.** En el caso de la carga, el canal que comunica la entrada del material, generalmente una tolva al tornillo transportador, se dosifica por medio de un alimentador para evitar daños en el transportador.

- **Boquillas circulares.** Se utilizan para uniones tubulares o cuando se conecta la descarga de un transportador a la entrada de otro en ángulo que no sea recto, este tipo de conexión se realiza fácilmente con descargas y entradas circulares.

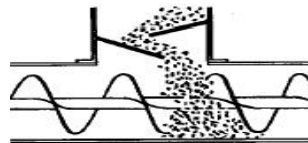
Figura 53. Boquillas circulares.



Fuente: Catálogos Martin Screw.

- **Boquillas de placas de deflexión.** Se usan cuando los materiales caen verticalmente en la entrada creando la posibilidad de un daño por impacto o por abrasividad al transportador helicoidal.

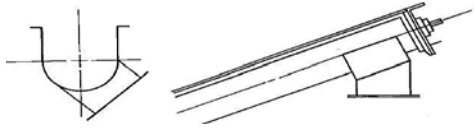
Figura 54. Boquillas de placas de deflexión.



Fuente: Catálogos Martin Screw.

- **Boquillas angulares.** Este tipo se utiliza normalmente en transportadores inclinados cuando es necesario que la descarga sea paralela al nivel del suelo o bien cuando el material deba ser descargado a uno de los lados.

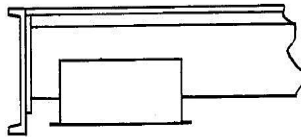
Figura 55. Boquillas angulares.



Fuente: Catálogos Martin Screw.

- **Boquillas de descarga más larga de lo estándar.** Son aproximadamente 1 ½ veces la longitud de la estándar. Utilizada con materiales difíciles de descarga y para velocidades lentas.

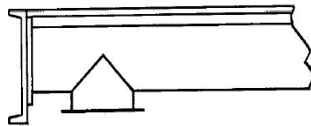
Figura 56. Boquillas de descarga más larga de lo estándar.



Fuente: Catálogos Martin Screw.

- **Boquilla de descarga circular.** Cuando se requiere fijar uniones tubulares o cuando un transportador se descarga a otro transportador en ángulo que no sea recto.

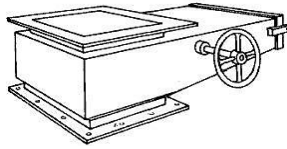
Figura 57. Boquilla de descarga circular.



Fuente: Catálogos Martin Screw.

- **Boquillas de cremallera y piñón.** Resistentes al polvo y al medio ambiente.

Figura 58. Boquillas de cremallera y piñón.



Fuente: Catálogos Martin Screw.

### 3.3 SELECCIÓN DEL TORNILLO

En el caso de la dosificación de biomasa para la alimentación de biocombustible para una caldera o quemador, debe ofrecer la posibilidad de variar la cantidad de alimentación de ésta, la situación de mayor exigencia es aquella que requiere transportar bagazo a una razón de 120 Kg/horas por medio de un tornillo transportador una distancia de 1,5 m, por lo que será la condición de diseño debido a que será la más crítica.

Para el diseño del tornillo dosificador se utilizará el procedimiento proporcionado por los catálogos *Martin Conveyors*, fabricantes que cuentan con experiencia en el diseño y construcción de los sistemas de alimentación a través de tornillos, de esta forma se garantiza un elemento con características de diseño, operación y construcción de calidad.

**3.3.1 Características del material.** De la siguiente tabla *Características del material*, proporcionada por la *Martin Sprocket* seleccionamos el material y sus características, por lo que se tomó el material como *Bagasse*, ver tabla 7.

Tabla 7. Características del material.

Material	Weight lbs. per cu. ft.	Intermediate Material Code	Bearing Selection	Component Series	Mat'l Factor Fm	Trough Loading
Adipic Acid	45	A 100-35	S	2	.5	30A
Alfalfa Meal	14-22	B6-45WY	H	2	.6	30A
Alfalfa Pellets	41-43	C½-25	H	2	.5	45
Alfalfa Seed	6 10-15	B6-15N	L-S-B	1	.4	45
Almonds, Broken	27-30	C½-35Q	H	2	.9	30A
Almonds, Whole Shelled	28-30	C½-35Q	H	2	.9	30A
Alum, Fine	45-50	B6-35U	L-S-B	1	.6	30A
Alum, Lumpy	50-60	B6-25	L-S	2	1.4	45
Alumina	55-65	B6-27MY	H	3	1.8	15
Alumina, Fine	35	A100-27MY	H	3	1.6	15
Alumina Sized Or Briquette	65	D3-37	H	3	2.0	15
Aluminate Gel (Aluminate Hydroxide)	45	B6-35	H	2	1.7	30A
Aluminum Chips, Dry	7-15	E-45V	H	2	1.2	30A
Aluminum Chips, Oily	7-15	E-45V	H	2	.8	30A
Aluminum Hydrate	13-20	C½-35	L-S-B	1	1.4	30A
Aluminum Ore (See Bauxite)	—	—	—	—	—	—
Aluminum Oxide	60-120	A100-17M	H	3	1.8	15
Aluminum Silicate (Andalusite)	49	C½-35S	L-S	3	.8	30A
Aluminum Sulfate	45-58	C½-25	L-S-B	1	1.0	45
Ammonium Chloride, Crystalline	45-52	A100-45FRS	L-S	3	.7	30A
Ammonium Nitrate	45-62	A40-35NTU	H	3	1.3	30A
Ammonium Sulfate	45-58	C½-35FOTU	L-S	1	1.0	30A
Antimony Powder	—	A100-35	H	2	1.6	30A
Apple Pomace, Dry	15	C½-45Y	H	2	1.0	30A
Arsenate Of Lead (See Lead Arsenate)	—	—	—	—	—	—
Arsenic Oxide (Arsenolite)	100-120	A100-35R	L-S-B	—	—	30A
Arsenic Pulverized	30	A100-25R	H	2	.8	45
Asbestos — Rock (Ore)	81	D3-37R	H	3	1.2	15
Asbestos — Shredded	20-40	E-46XY	H	2	1.0	30B
Ash, Black Ground	105	B6-35	L-S-B	1	2.0	30A
Ashes, Coal, Dry — ½"	35-45	C½-46TY	H	3	3.0	30B
Ashes, Coal, Dry — 3"	35-40	D3-46T	H	3	2.5	30B
Ashes, Coal, Wet — ½"	45-50	C½-46T	H	3	3.0	30B
Ashes, Coal, Wet — 3"	45-50	D3-46T	H	3	4.0	30B
Ashes, Fly (See Fly Ash)	—	—	—	—	—	—
Asphalt, Crushed — ½"	45	C½-45	H	2	2.0	30A
Bagasse	7-10	E-45RVXY	L-S-B	2	1.5	30A
Bakelite, Fine	30-45	B6-25	L-S-B	1	1.4	45

Fuente: Catálogos Martin Screw.

De la anterior tabla de obtienen los siguientes datos:

<b>Peso específico del material</b>	$10 \frac{lb}{ft^3}$
<b>Código del material</b>	E-45RVXY
<b>Selección del rodamiento interno</b>	L-S-B
<b>Serie de componentes</b>	2
<b>Factor del material</b>	1.5
<b>Carga de la artesa</b>	30°

Con los datos obtenidos, se prosigue a tomar de la tabla de *Códigos de clasificación del material* las características del tornillo, ver tabla 8.

Tabla 8. Tablas de códigos de clasificación del material.

Major Class	Material Characteristics Included	Code Designation
Density	Bulk Density, Loose	Actual Lbs/PC
Size	Very Fine No. 200 Sieve (.0029") And Under No. 100 Sieve (.0059") And Under No. 40 Sieve (.016") And Under	A <sub>200</sub> A <sub>100</sub> A <sub>40</sub>
	Fine No. 6 Sieve (.132") And Under	B <sub>6</sub>
	Granular ½" And Under (6 Sieve to ½") 3" And Under (½ to 3") 7" And Under (3" to 7")	C <sub>½</sub> D <sub>3</sub> D <sub>7</sub>
	Lumpy 16" And Under (0" to 16") Over 16" To Be Specified X=Actual Maximum Size	D <sub>16</sub> D <sub>X</sub>
	Irregular Stringy, Fibrous, Cylindrical, Slabs, Etc.	E
Flowability	Very Free Flowing	1
	Free Flowing	2
	Average Flowability	3
	Sluggish	4
Abrasiveness	Mildly Abrasive	5
	Moderately Abrasive	6
	Extremely Abrasive	7
Miscellaneous Properties Or Hazards	Builds Up and Hardens	F
	Generates Static Electricity	G
	Decomposes — Deteriorates in Storage	H
	Flammability	J
	Becomes Plastic or Tends to Soften	K
	Very Dusty	L
	Aerates and Becomes a Fluid	M
	Explosiveness	N
	Stickiness — Adhesion	O
	Contaminable, Affecting Use	P
	Degradable, Affecting Use	Q
	Gives Off Harmful or Toxic Gas or Fumes	R
	Highly Corrosive	S
	Mildly Corrosive	T
	Hygroscopic	U
	Interlocks, Mats or Agglomerates	V
Oils Present	W	
Packs Under Pressure	X	
Very Light and Fluffy — May Be Windswept	Y	
Elevated Temperature	Z	

Fuente: Catálogos Martin Screw.

De la anterior tabla se obtienen los siguientes datos:

<b>Tamaño del material</b>	Irregular cilíndrico y fibroso
<b>Fluidez</b>	Lento
<b>Abrasividad</b>	Abrasividad media
<b>Otras propiedades del material</b>	Emite gases nocivos, son aglomerados, se convierten en paquetes bajo acción de la presión, muy suave y espinosa, se afecta por el viento.

**3.3.2 Capacidad de diseño.** Para el cálculo de la capacidad de diseño se necesita definir cuál es el tipo de paso que debe tener el tornillo. Para este caso consideramos un paso corto el cual se selecciona a partir de *Factores de capacidad de paso del material*, ver tabla 9.

Tabla 9. Factor de capacidad de paso del transportador  $CF_1$ .

Special Conveyor Pitch Capacity Factor $CF_1$		
Pitch	Description	$CF_1$
Standard	Pitch = Diameter of Screw	1.00
Short	Pitch = $\frac{2}{3}$ Diameter of Screw	1.50
Half	Pitch = $\frac{1}{2}$ Diameter of Screw	2.00
Long	Pitch = $\frac{1}{4}$ Diameter of Screw	0.67

Fuente: Catálogos Martin Screw.

Por lo que  $CF_1=2.0$

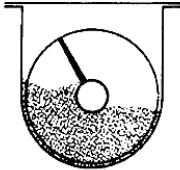
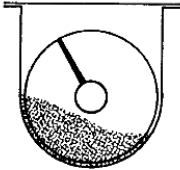
**3.3.3 Selección de diámetro.** Para la selección del diámetro necesitamos la capacidad en  $\frac{ft^3}{h}$ :

$$c \left[ \frac{ft^3}{h} \right] = \frac{120 \frac{kg}{h} * \frac{2.20462 lb}{1 kg}}{10 * \frac{lb}{ft^3}}$$

$$c = 26.452 \frac{ft^3}{h}$$

Con este valor de capacidad nos dirigimos a la *Tabla de capacidad de tornillos transportadores horizontales* y seleccionamos el diámetro más adecuado:

Tabla 10. Tabla de capacidad de los tornillos transportadores horizontales.

Trough Loading		Screw Dia. Inch	Capacity Cubic Feet Per Hour (Full Pitch)		Max. RPM
			At One RPM	At Max RPM	
45%		4	0.62	114	184
		6	2.23	368	165
		9	8.20	1270	155
		10	11.40	1710	150
		12	19.40	2820	145
		14	31.20	4370	140
		16	46.70	6060	130
		18	67.60	8120	120
		20	93.70	10300	110
		24	164.00	16400	100
		30	323.00	29070	90
30% A		4	0.41	53	130
		6	1.49	180	120
		9	5.45	545	100
		10	7.57	720	95
		12	12.90	1160	90
		14	20.80	1770	85
		16	31.20	2500	80
		18	45.00	3380	75
		20	62.80	4370	70
		24	109.00	7100	65
		30	216.00	12960	60

Fuente: Catálogos Martin Screw.

Para 1 rpm se tiene  $0.41 \frac{ft^3}{h}$ .

Para la máxima rpm se tienen  $53 \frac{ft^3}{h}$ .

Estas condiciones son para un tornillo de diámetro 4 pulgadas, teniendo en cuenta estas condiciones calculamos las rpm correspondientes al flujo que se va a trabajar:

$$N[rpm] = \frac{130 \text{ rpm} * 26.452 \frac{ft^3}{h}}{53 \frac{ft^3}{h}} = 64.88 \text{ rpm}$$

Por lo que se tomó:  $N = 65 \text{ rpm}$

**3.3.4 Cálculo de la potencia.** Para el cálculo de la potencia se requiere inicialmente calcular la potencia al arranque y la potencia de funcionamiento:

- Potencia de arranque:  $HP_f = \frac{L*N*F_d*F_b}{1.000.000}$
- Potencia de funcionamiento:  $HP_m = \frac{C*L*F_f*F_m*F_p}{1.000.000}$
- Potencia total:  $HP = \frac{(HP_m+HP_f)*F_o}{e}$

Donde,

L: longitud que se va a transportar el material = 5 ft.

N: rpm de trabajo = 65 RPM.

C: Carga dada  $\frac{ft^3}{h} = 26.452$ .

F<sub>d</sub>: Factor de diámetro del transportador.

F<sub>b</sub>: Factor de colgantes o rodamientos.

F<sub>m</sub>: Factor del material, obtenido de la tabla *Características del material*, F<sub>m</sub>=1.5.

$F_p$ : Factor de paleta.

$F_f$ : Factor de vuelo.

$e$ : Factor de eficiencia del conductor.

$F_0$ : Factor de sobrecarga.

A continuación se determinarán los diferentes factores siguiendo el procedimiento dispuesto en tablas recomendado por *Martin Screw* de acuerdo a las condiciones propuestas para el diseño, de esta forma se podrá encontrar la potencia del sistema:

Tabla 11. Factor de diámetro del transportador,  $F_d$ .

Conveyor Diameter Factor, $F_d$			
Screw Diameter Inches	Factor $F_d$	Screw Diameter Inches	Factor $F_d$
4	12.0	14	78.0
6	18.0	16	106.0
9	31.0	18	135.0
10	37.0	20	165.0
12	55.0	24	235.0
		30	300

Fuente: Catálogos Martin Screw.

$$F_d = 12$$

Tabla 12. Factor de colgantes o rodamientos  $F_b$ .

Hanger Bearing Factor $F_b$		
Bearing Type		Hanger Bearing Factor $F_b$
B	Ball	1.0
L	<i>Martin</i> Bronze	2.0
S	*Graphite Bronze *Melamine *Oil Impreg. Bronze *Oil Impreg. Wood *Nylatron *Nylon *Teflon *UHMW *Urethane	2.0
	<i>Martin</i> Hard Iron	3.4
H	*Hard Surfaced *Stellite * Ceramic	4.4

Fuente: Catálogos Martin Screw.

$$F_b = 2$$

Tabla 13. Factor de paleta,  $F_p$ .

Paddle Factor $F_p$					
Standard Paddles per Pitch, Paddles Set at 45° Reverse Pitch					
Number of Paddles per Pitch	0	1	2	3	4
Paddle Factor — $F_p$	1.0	1.29	1.58	1.87	2.16

Fuente: Catálogos Martin Screw.

$$F_p = 1.29$$

Tabla 14. Factor de vuelo,  $F_f$ .

Flight Type	$F_f$ Factor for Percent Conveyor Loading			
	15%	30%	45%	95%
Standard	1.0	1.0	1.0	1.0
Cut Flight	1.10	1.15	1.20	1.3
Cut & Folded Flight	N.R.*	1.50	1.70	2.20
Ribbon Flight	1.05	1.14	1.20	—
*Not Recommended				

Fuente: Catálogos Martin Screw.

$$F_f = 1$$

Tabla 15. Factor de eficiencia, e.

e Drive Efficiency Factor				
Screw Drive or Shaft Mount w/ V-Belt Drive	V-Belt to Helical Gear and Coupling	Gearmotor w/ Coupling	Gearmotor w/ Chain Drive	Worm Gear
.88	.87	.95	.87	Consult Manufacturer

Fuente: Catálogos Martin Screw.

$$e = 0,87$$

Obtenidos los valores con el uso de las anteriores tablas, se remplazan en las respectivas fórmulas para la potencia:

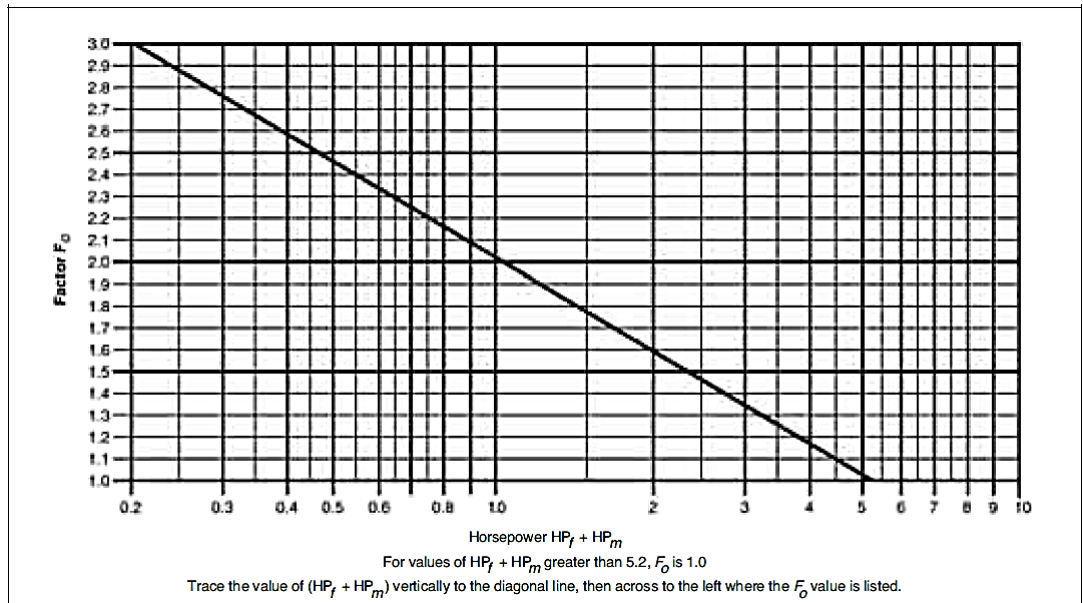
$$HP_f = \frac{L * N * F_d * F_b}{1.000.000} = \frac{5 * 65 * 12 * 2}{1.000.000} = 0.0078 HP$$

$$HP_m = \frac{C * L * F_f * F_m * F_p}{1.000.000} = \frac{26.452 * 5 * 1 * 1.5 * 1.29}{1.000.000} = 2.559231 E^{-4}$$

$$HP_f + HP_m = 0,008 HP$$

Cómo se puede observar el valor de  $HP_f + HP_m$  es muy pequeño, 0.008 HP, y el valor mínimo en la figura 59 es de 0,2 HP, por lo que por cuestiones de diseño se tomará el valor mínimo de 3 para  $F_0$ .

Figura 59. Factor de sobrecarga  $F_0$ .



Fuente: Catálogos Martin Screw.

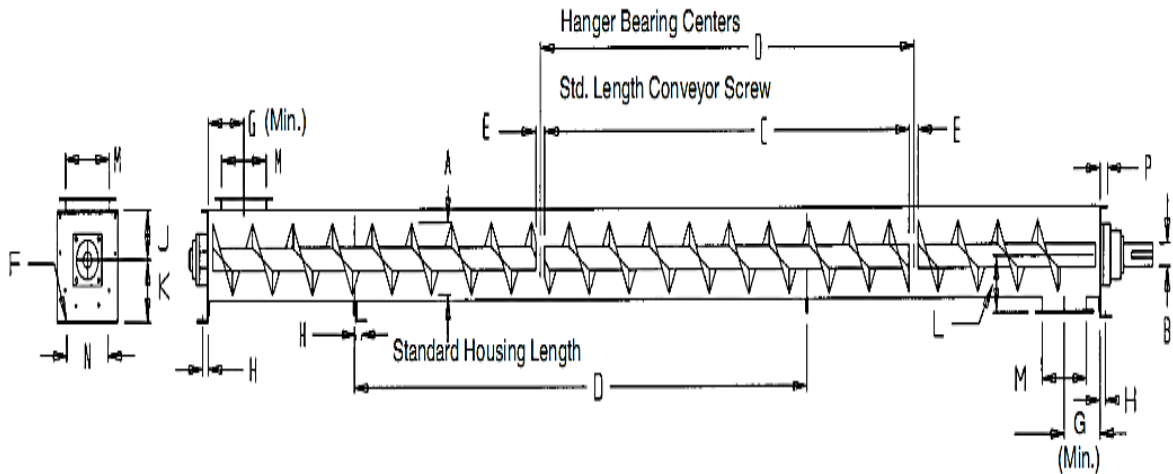
$$HP = \frac{(0.0078 + 1.9839 E^{-4})(3)}{0,87} = 0,027 HP$$

Debido al valor tan pequeño de la potencia necesaria para el funcionamiento del tornillo dosificador, no se puede tener un valor adecuado para el factor de corrección, y aunque se tomó el valor máximo para dicho factor, la potencia sigue siendo muy pequeña, así que la potencia de diseño estará dada por el valor mínimo del motor monofásico que se consiguió en el mercado,  $\frac{1}{4}$  HP.

Debido a que el equipo será llevado al área rural es necesario seleccionar una alimentación de corriente eléctrica a 110 v de corriente alterna, de esta forma se adapte a las posibilidades de energía eléctrica de más fácil obtención, además pueda acoplarse fácilmente a futuras modificaciones energéticas que el grupo de investigación Cenivam pueda intentar desarrollar, por estas razones se seleccionó un motor de  $\frac{1}{4}$  de hp a 110 v C.A.

**3.3.5 Selección de los componentes.** A continuación vemos un diagrama global del diseño del tornillo dosificador, ver figura 60, en éste encontramos las diferentes designaciones de las dimensiones necesarias para su construcción, por lo que con ayuda del diámetro se seleccionarán las dimensiones apropiadas para el diseño.

Figura 60. Diagrama global del tornillo dosificador.



Fuente: Catálogos Martin Screw.

La siguiente tabla nos proporciona las dimensiones recomendadas para el sistema transportador que permitieron diseñar la propuesta planteada en el presente proyecto, ver anexo A.

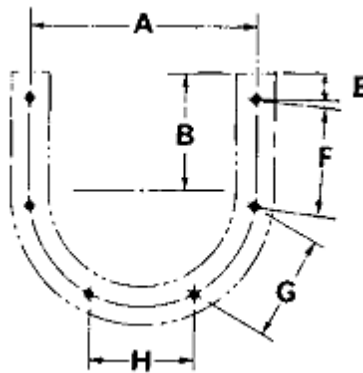
Tabla 16. Dimensiones del tornillo transportador.

A Screw Diameter	B Coupling Diameter	C Length	D Length	E	F	G (Min.)	H	J	K	L	M	N	P	R
4	1	9-10½	10	1½	¾	4½	¾	3¾	4%	3¾	5	5¾	17/16	1
6	1½	9-10	10	2	¾	6	7/16	4½	5%	5	7	8¾	1½	1
9	1½ 2	9-10	10	2	½	8	1% <sub>16</sub>	6%	7%	7%	10	9%	1%	1½
10	1½ 2	9-10	10	2	½	9	1% <sub>16</sub>	6%	8%	7%	11	9½	1%	1%
12	2 2/16 3	11-10 11-9 11-9	12	2 3 3	¾	10½	1%	7¾	9%	8%	13	12¼	2	1%
14	2/16 3	11-9	12	3	¾	11½	1%	9¼	10%	10%	15	13½	2	1%
16	3	11-9	12	3	¾	13½	1%	10%	12	11%	17	14¾	2½	2
18	3 3/16	11-9 11-8	12	3 4	¾	14½	1%	12%	13%	12%	19	16	2½	2
20	3 3/16	11-9 11-8	12	3 4	¾	15½	2	13½	15	13%	21	19¼	2½	2¼
24	3/16	11-8	12	4	¾	17½	2¼	16½	18%	15%	25	20	2½	2½

Fuente: Catálogos Martin Screw.

**3.3.6 Artesa y flanches.** Para los flanches que unirán la Artesa con las tapas laterales se tomó la recomendación propuesta por *Martin Screw*, donde recomienda incluso el tamaño de la tornillería usada.

Figura 61. Artesa en U y flanches.



Fuente: Catálogos Martin Screw.

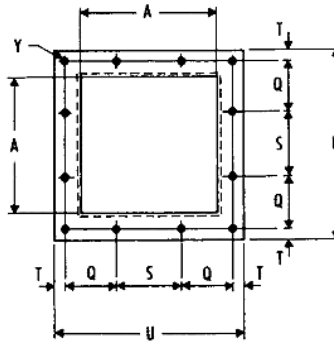
Tabla 17. Dimensiones del corte de la Artesa y de los flanchos.

Screw Diameter	Bolts		A	B	E	F	G	H	J	K	L
	Number	Diameter									
4	6	3/8	7	3 3/8	1 1/8	3 3/8	3 3/8	3 3/8	X	X	X
6	6	3/8	8 3/8	4 1/2	1 1/2	4 1/8	4 1/8	4 1/8	X	X	X
9	8	3/8	12 1/2	6 3/8	1 3/8	4 1/8	3 3/8	5 3/8	4 3/8	X	X
10	8	3/8	13 1/4	6 3/8	2 1/4	3 1/2	4 3/8	5 3/8	4 3/8	X	X
12	8	1/2	15 3/8	7 3/4	1 1/2	5 3/8	4 3/8	7 3/4	5 3/8	X	X
14	8	1/2	17 3/8	9 1/4	2 1/2	5 3/8	5 3/8	6	5 3/8	X	X
16	8	3/4	20	10 3/8	2 3/8	6 3/8	6 3/8	7 1/2	6 3/8	X	X
18	10	3/4	22	12 3/8	2 3/4	5 3/8	5 3/8	5 3/8	5 3/8	5 3/8	X
20	10	3/4	24 3/8	13 1/2	2 3/4	6 3/8	6 3/8	6 3/8	6 3/8	6 3/8	X
24	12	3/4	28 3/8	16 3/8	2 3/4	6 3/8	6 3/8	6 3/8	6 3/8	6 3/8	6 3/8

Fuente: Catálogos Martin Screw.

**3.3.6.1 Flanchos de entrada y salida.** Los flanchos de entrada y salida del sistema, ver figura 62, también serán dimensionados con las recomendaciones dadas por el catálogo a partir de la tabla 21.

Figura 62. Flanchos de entrada y descarga.



Fuente: Catálogos Martin Screw.

Tabla 18. Dimensiones de los flanchos de entrada y salida.

Screw Size	Flange Bolts		A	E	Q	R	S	T	U
	Tubular X	Discharge Y							
4	6-3/8	12-3/8	5	7	2 1/4	—	2 1/4	3/8	7 1/2
6	8-3/8	12-3/8	7	8 3/8	2 3/8	—	3	1 1/8	10
9	8-3/8	12-3/8	10	11 3/8	4	—	4	1/2	13
10	8-3/8	12-3/8	11	13 3/8	4 3/8	—	4 3/8	3/8	14 3/8
12	8-3/8	12-3/8	13	15	5 3/8	—	5 3/8	3/8	17 3/8
14	8-3/8	20-3/8	15	17	3 3/8	3 3/8	3 3/8	3/8	19 3/8
16	8-3/8	20-3/8	17	19 3/8	3 3/8	4	4	3/8	21 3/8
18	10-3/8	20-3/8	19	22	4 3/8	4 3/8	4 3/8	1 1/8	24 3/8
20	10-3/8	20-3/8	21	24 3/8	4 3/8	4 3/8	4 3/8	1 1/8	26 3/8
24	12-3/8	20-3/8	25	28 3/8	5 3/8	5 3/8	5 3/8	1 1/8	30 3/8

Fuente: Catálogos Martin Screw.

**3.3.7 Tamaños de tubería, dimensiones y pesos.** Por último en la siguiente tabla, podemos ver las recomendaciones en tipo de material y espesores de los catálogos *Martin*, que en nuestro contexto local podrá llevarse al uso de lámina HR (Hot Roll) que se puede encontrar fácilmente a un precio moderado y de esta forma hacer viable la construcción del proyecto.

Tabla 19. Tamaños de tuberías, dimensiones y pesos.

Nominal Pipe Size Inches	Outside Diameter Inches	I.P.S. Schedule	Wall Inches	Inside Diameter Inches	WL./Fl. Pounds	Nominal Pipe Size Inches	Outside Diameter Inches	I.P.S. Schedule	Wall Inches	Inside Diameter Inches	WL./Fl. Pounds
½	.405	10S	.049	.307	.1863	3	3.500	5S	.083	3.334	3.029
		40 40S Est.	.068	.269	.2447			10S	.120	3.260	4.332
		80 80S Ex. Hvy.	.095	.215	.3145			40 40S Est.	.216	3.068	7.576
¾	.540	10S	.065	.410	.3297	3½	4.000	80 80S Ex. Hvy.	.300	2.900	10.25
		40 40S Est.	.088	.364	.4248			160	.438	2.624	14.32
		80 80S Ex. Hvy.	.119	.302	.5351			XX Hvy.	.600	2.300	18.58
¾	.675	10S	.065	.545	.4235	4	4.500	5S	.083	3.834	3.472
		40 40S Std.	.091	.493	.5676			10S	.120	3.760	4.973
		80 80S Ex. Hvy.	.126	.423	.7388			40 40S Std.	.226	3.548	9.109
¾	.840	10S	.065	.710	.5383	5	5.563	80 80S Ex. Hvy.	.337	3.826	14.98
		40 40S Est.	.109	.622	.8510			120	.438	3.624	19.00
		80 80S Ex. Hvy.	.147	.546	1.088			160	.531	3.438	22.51
¾	1.050	10S	.065	.920	.6838	6	6.625	XX Hvy.	.674	3.152	27.54
		40 40S Std.	.113	.824	1.131			5S	.109	5.345	6.349
		80 80S Ex. Hvy.	.154	.742	1.474			10S	.134	5.295	7.770
1	1.315	10S	.065	1.185	.8678	6	6.625	40 40S Est.	.258	5.047	14.62
		40 40S Std.	.133	1.049	1.679			80 80S Ex. Hvy.	.375	4.813	20.78
		80 80S Ex. Hvy.	.179	.957	2.172			120	.500	4.563	27.04
1	1.315	10S	.065	1.185	.8678	6	6.625	160	.625	4.313	32.96
		40 40S Std.	.133	1.049	1.679			XX Hvy.	.750	4.063	38.55
		80 80S Ex. Hvy.	.179	.957	2.172			5S	.109	6.407	7.585
1	1.315	10S	.065	1.185	.8678	6	6.625	10S	.134	6.357	9.289
		40 40S Std.	.133	1.049	1.679			40 40S Std.	.280	6.065	18.97
		80 80S Ex. Hvy.	.179	.957	2.172			80 80S Ex. Hvy.	.432	5.761	28.57
1	1.315	10S	.065	1.185	.8678	6	6.625	120	.562	5.491	36.39
		40 40S Std.	.133	1.049	1.679						
		80 80S Ex. Hvy.	.179	.957	2.172						

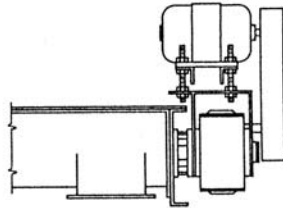
Fuente: Catálogos Martin Screw.

### 3.4 MOTOR-REDUCTOR

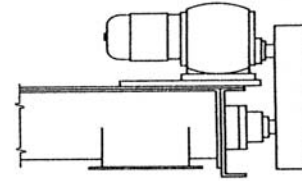
Por lo general situado en el extremo de la descarga para accionamiento del eje por medio de transmisión a base de cadena o correa en V. La razón de su colocación es para mantenerlo libre de mugre, o partículas del material

transportado que entrarían más fácilmente si se colocara en la entrada del tornillo transportador.

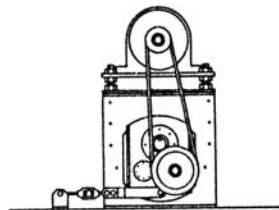
Figura 63. Diferentes montajes del motor-reductor.



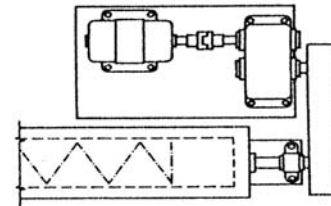
**Vista lateral**



**Vista lateral**



**Vista del extremo**

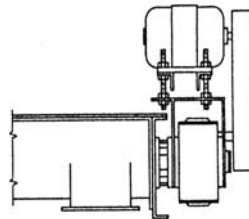


**Vista superior**

Fuente: Catálogos Martin Screw.

Figura 64. Tipos de reductor.

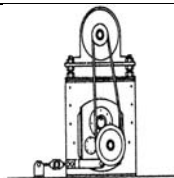
**Reductor para transportador helicoidal**



Vista lateral

El reductor se sitúa en la tapa de la artesa y se conecta directamente al transportador helicoidal e incluye rodamiento de empuje integral, sello bipartido y eje motriz. El montaje del motor puede ser colocado en la parte superior, a los lados o en la parte inferior. No se requiere de un eje motriz, rodamiento de empuje o sello adicional.

**Reductor motado en eje**

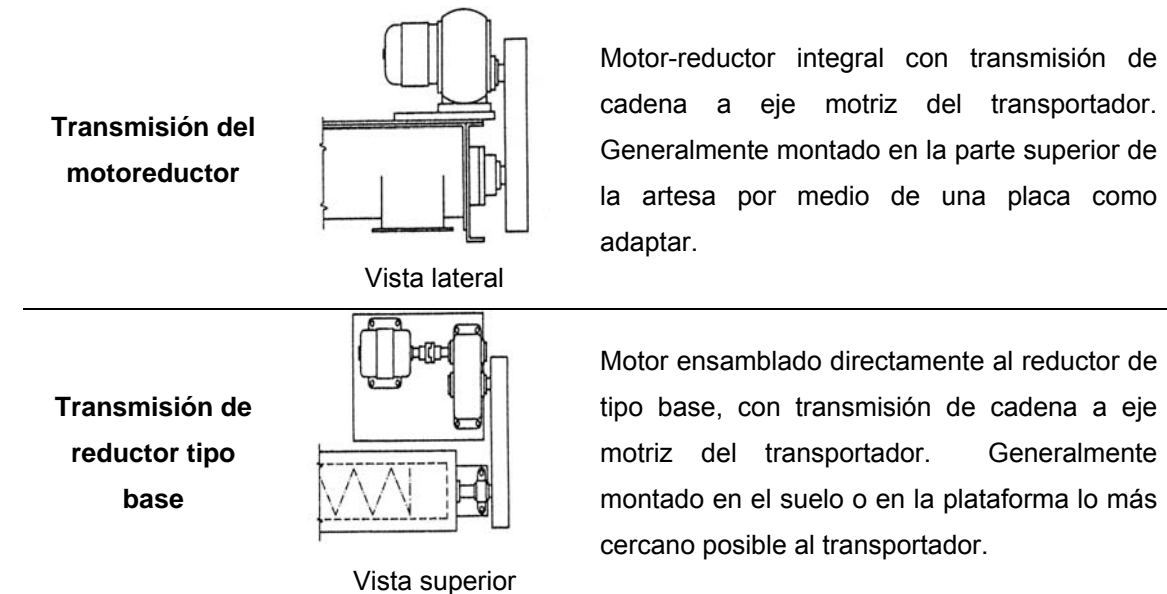


Vista del extremo

El reductor se monta en el eje motriz de transportador. EL motor y la transmisión de Banda "V" puede estar en cualquier locación conveniente. El brazo del torque puede estar ajustado al suelo o al extremo de la artesa. Requiere de un eje motriz extendido.

Fuente: Catálogos Martin Screw.

Figura 65. Tipos de transmisión.



Fuente: Catálogos Martin Screw.

### 3.5 VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD DEL TORNILLO TRANSPORTADOR

La variación de la velocidad del tornillo estará dada por los requerimientos de combustible que consuman las calderas; debido a que este proyecto no se enfoca a un solo tipo de caldera, sino a varios tipos de éstas, por lo que es necesario realizar un control de entrada de combustible, teniendo como un máximo de rotación la velocidad de 200 rpm que entrega el motor-reductor (dadas con la capacidad máximo requerida por el proyecto de grado que actualmente realiza la construcción de la caldera) y una mínima que dependerá de la cantidad de biomasa que requiera el quemador (proyecto de grado que actualmente se lleva acabo).

El control en la velocidad de rotación del tornillo se puede realizar por medio de tres formas diferentes las cuales son analizadas a continuación, debido a que fue necesario la construcción de un prototipo el control se realizará a un motor de corriente continua, pero este control también se podrá realizar al diseño real.

**3.5.1 Características del motor.** En la figura 66 podemos ver el motor-reductor DC seleccionado para el control de velocidad del prototipo construido a escala del transportador por tornillo.

Figura 66. Motor-reductor seleccionado para el prototipo.



Fuente: Autores

Potencia =  $\frac{1}{4}$  Hp

Motor de corriente DC de 12 voltios.

Corriente de arranque 6 amperios, corriente de régimen 2.5 amperios

Torque 1.8 Kn-m

Proveniente de un limpia-para-brisas de un Renault 9 modelo 1997

**3.5.2 Variadores de velocidad para motores de corriente alterna.** Estos variadores de velocidad son en realidad variadores de frecuencia (VFD), sistemas para el control de la velocidad rotacional de un motor por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrado al motor. Los variadores de frecuencia son también conocidos como drivers de frecuencia ajustable (AFD) o micro drivers o inversores. Dado que el voltaje es variado a la vez que la frecuencia.

**3.5.2.1 Principios de funcionamiento.** Los dispositivos variadores de frecuencia operan bajo el principio de que la velocidad del motor de corriente alterna esta determinada por la frecuencia de corriente suministrada y el número de polos en el estator, de acuerdo con la relación:

$$RPM = \frac{120 * f}{p}$$

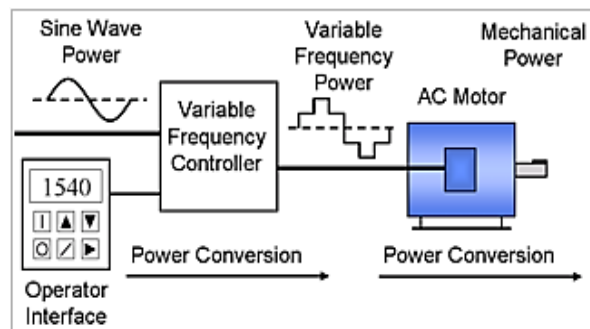
Donde,

*RPM*: Revoluciones por minuto del eje del motor

*f*: Frecuencia de suministro

*p*: Número de polos adimensional

Figura 67. Diagrama de un sistema VFD.



Fuente: [www.es.wikipedia.org/wiki/Variador\\_de\\_frecuencia](http://www.es.wikipedia.org/wiki/Variador_de_frecuencia).

El control de variación de frecuencia esta formado por dispositivos de conversión electrónicos de estado solido. El diseño habitual primero convierte la energía de entrada CA en CC usando un puente rectificador. La energía CC es convertida en una señal casi senoidal de CA usando un circuito inversor conmutado. El rectificador es usualmente un puente trifásico de diodos, pero también se usan

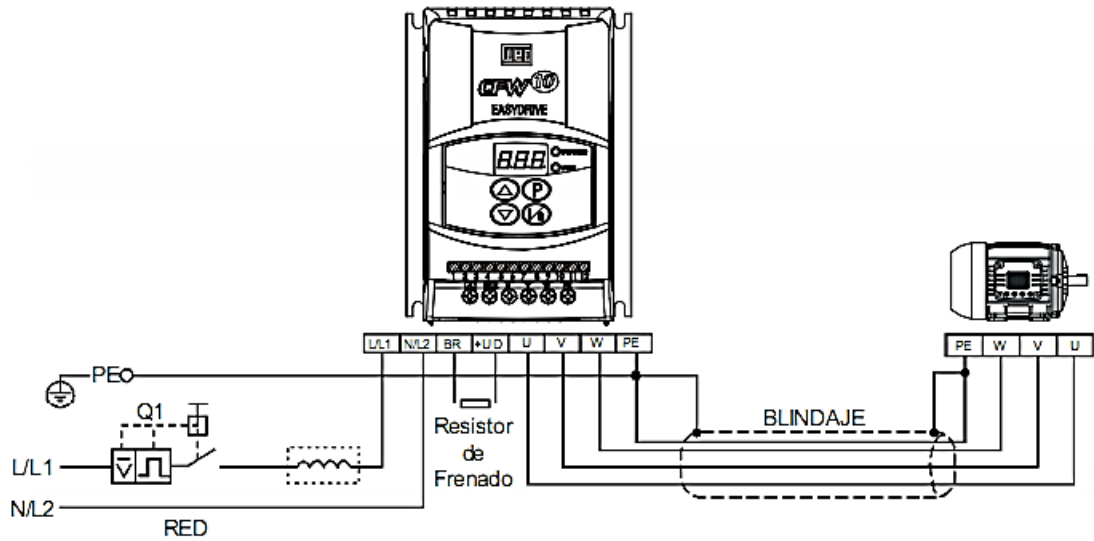
rectificadores controlados. Debido a que la energía es convertida en una continúa, muchas unidades aceptan entradas tanto monofásicas como trifásicas (actuando como un convertidor de fase, un variador de velocidad).

Tan pronto como aparecieron los interruptores semiconductores, fueron introducidos a los variadores de frecuencia, ellos han sido aplicados para los inversores de todas las tensiones que hay disponible. Actualmente, los transistores bipolares de puertas asiladas (IGBT) son usados en la mayoría de circuitos inversores.

Las características del motor CA requieren que la variación proporcional del voltaje cada vez que la frecuencia es variada, por ejemplo: si un motor esta diseñado para trabajar con 460 voltios a 60 Hz el voltaje aplicado debe reducirse a 230 voltios cuando la frecuencia es reducida a 30 Hz, así la relación voltios/hertzios deben ser regulados en un valor constante ( $460/60 = 7,67$  v/Hz en este caso).

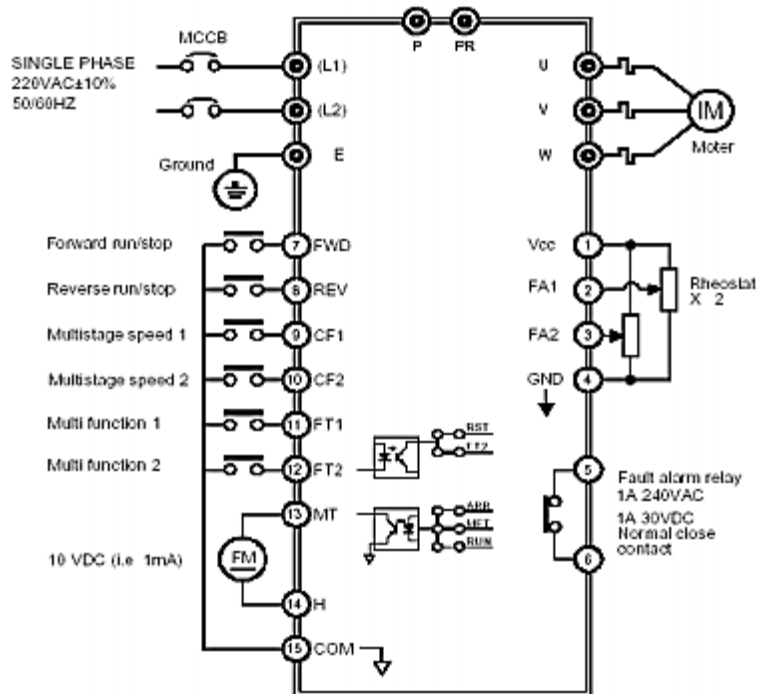
Debido al lugar donde se llevará a cabo la aplicación del proyecto, es necesario obtener un regulador de entrada y salida monofásica, situación que en la búsqueda de este tipo de controlador en el mercado nacional se descartó su obtención, pues se consultaron diferentes empresas donde sólo se dan como opción modelos como el CFW-10 de entrada monofásica y salida trifásica, la cual se ha adaptado por diversos técnicos expertos a casos como el del presente proyecto, que aseguran estos reguladores siempre son de salida trifásica, así mismo fue la respuesta que se obtuvo de vendedores de la empresa *Siemens*, a continuación mostraremos el sistema de conexión de estos reguladores:

Figura 68. Conexión de un variador de frecuencia al motor.



Fuente: [www.catalogo.weg.com.br/files/wegnet/1-17036.pdf](http://www.catalogo.weg.com.br/files/wegnet/1-17036.pdf).

Figura 69. Circuito eléctrico del variador de frecuencia.



Fuente: [www.catalogo.weg.com.br/files/wegnet/1-17036.pdf](http://www.catalogo.weg.com.br/files/wegnet/1-17036.pdf).

También se consultaron diferentes sitios técnicos y diferentes profesionales con experiencia en el área, así como a la sección de planta física de la Universidad Industrial de Santander donde el especialista de motores expuso que la adaptación de estos variadores de frecuencia de salida trifásica a motores monofásicos es riesgosa por la caída de tensión y podría ocasionar la avería del motor.

**3.5.3 Variación de la velocidad por medio de un PWM programado en la tarjeta Arduino para motores de corriente continua.** Un PWM es un modulador por ancho de pulsos, es un dispositivo que puede usarse como un eficiente *Dimmer* de luz o para controlar la velocidad en motores DC. Los motores DC grandes son controlados más eficientemente con tiristores de alta potencia, mientras los motores DC pequeños y medianos de imán permanente, son controlados más exitosamente con transistores de conmutación por ancho de pulso.

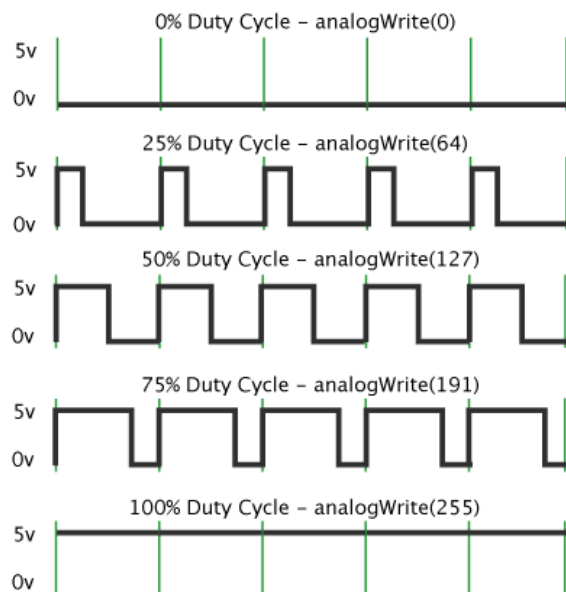
El PWM arroja como resultado una onda cuadrada con el ciclo variable On-Off, variando el tiempo de 0 al 100%. De esta manera, una cantidad variable de potencia es transferida a la carga. La principal ventaja de un PWM sobre un controlador que se basa en la variación lineal de la potencia suministrada a una carga mediante cambio resistivo es la eficiencia. A una señal de control del 50%, el PWM usará cerca del 50% de potencia total, de la cual casi toda será transferida a la carga. En un controlador tipo resistivo, de un 50% de potencia que se quiera transferir a la carga se estima que le puede llegar casi el 71%. El otro 21% se pierde en forma de calor.

La modulación por ancho de pulso es una técnica para simular una salida analógica con una salida digital. El control digital se usa para crear una onda cuadrada, una señal que conmuta constantemente entre encendido y apagado. Este patrón de encendido-apagado puede simular voltajes entre 0 (siempre

apagado) y 5 voltios (siempre encendido) simplemente variando la proporción de tiempo entre encendido y apagado. A la duración del tiempo de encendido (On) se le llama ancho de pulso. Para variar el valor analógico se cambia, o se modula el ancho de pulso. Si se repite este patrón de encendido-apagado lo suficientemente rápido, por ejemplo con un Led: el resultado es como si la señal variara entre 0 y 5 voltios controlando el brillo del Led.

En la figura 70 las líneas verdes representan un periodo regular. Esta duración o periodo es la inversa de la frecuencia del PWM. En otras palabras, con una tarjeta *Arduino* la frecuencia PWM es bastante próxima a los 500 Hz lo que equivale a periodos de 2 milisegundos cada uno.

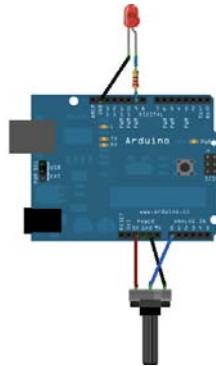
Figura 70. Modulación de ancho de pulso (PWM).



Fuente: [www.arduino.cc/es/Tutorial/PWM](http://www.arduino.cc/es/Tutorial/PWM).

Lo que se tendrá que realizar para su configuración, es que por medio de un pin de entrada analógica, se asigne el resultado a un rango de 0 a 255, y luego usar ese resultado para establecer la modulación de pulso (PWM) de un pin de salida para disminuir las RPM del motor de DC.

Figura 71. Esquema del controlador de velocidad.

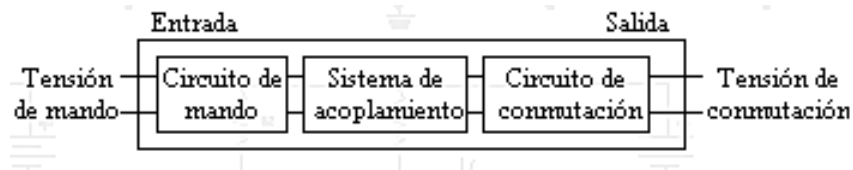


Fuente: [www.arduino.cc/es/Tutorial/PWM](http://www.arduino.cc/es/Tutorial/PWM).

Un relay de estado solido o SSR es un dispositivo que utiliza transistores y tiristores o triacs en sustitución de contactos metálicos, para controlar elevadas cargas de potencia a partir de señales de control de bajo voltaje e intensidad.

Los SSR dan muchas ventajas en comparación a los relay de contactos electromagnéticos: son mas livianos, silenciosos, rápidos y confiables, no se desgastan, son inmunes a los choques y vibraciones, generan muy pocas interferencias, conmutan a altas corrientes y voltajes sin producir arcos, proporcionan varios kilovoltios de aislamiento entre la entrada y la salida. En la siguiente figura podemos visualizar la estructura de un relay:

Figura 72. Esquema de funcionamiento de un relay en estado sólido.



Fuente: [www.uv.es/marinjl/electro/reles.html](http://www.uv.es/marinjl/electro/reles.html).

En general, podemos distinguir en el esquema general de un relay los siguientes bloques:

- Circuito de entrada, control o excitación.
- Circuito de acoplamiento.
- Circuito de salida, carga o maniobra.

Las características generales de los relay en estado solido son:

- Aislamiento entre los terminales de entrada y salida.
- Adaptación sencilla a la fuente de control.
- Posibilidad de soportar sobrecargas, tanto en el circuito de entrada como en el de salida.
- Las dos posiciones de trabajo en los bornes de salida de un relay se caracterizan por estar en estado abierto (alta impedancia) estado cerrado (baja impedancia).
- Gran numero de conmutaciones y larga vida útil.
- Conexión en el paso de tensión por cero, desconexión en el paso de intensidad cero.
- Ausencia de ruido mecánico de conmutación.
- Escasa potencia de mando, compatible con TTL y MOS.
- Insensibilidad a las sacudidas y a los golpes.

- Cerrado a la influencias exteriores por un recubrimiento plástico.

El relay de estado solido para cargas DC con IGBT para PWM seleccionado para este caso es es OPD60D18

Figura 73. Relay en estado sólido OPF60D18.



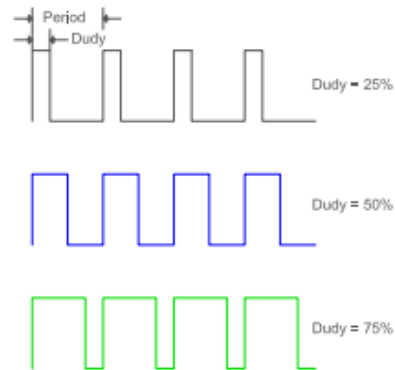
Fuente: [www.optecpower.com/Download/ManualOPTEC\\_v40.pdf](http://www.optecpower.com/Download/ManualOPTEC_v40.pdf).

Las características de este relay son:

- Aislamiento óptico.
- Led indicador.
- PWM máximo de 15 KHz.
- Modulación de ancho de PWM para control de iluminación DC tal como arreglos led.
- Se puede utilizar para controles de velocidad de motores DC.
- Corriente 23 amperios

La respuesta del PWM es:

Figura 74. Respuesta del PWM ante el Relay.

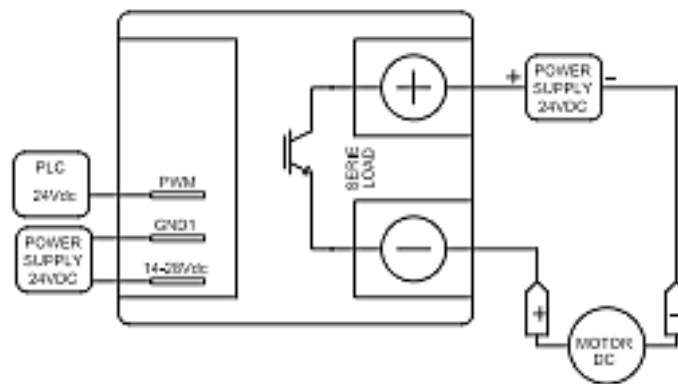


Fuente: [www.optecpower.com/Download/ManualOPTEC\\_v40.pdf](http://www.optecpower.com/Download/ManualOPTEC_v40.pdf).

La figura 76 representa la grafica de respuesta del PWM ante el relay de estado solido.

El montaje eléctrico sobre el motor DC

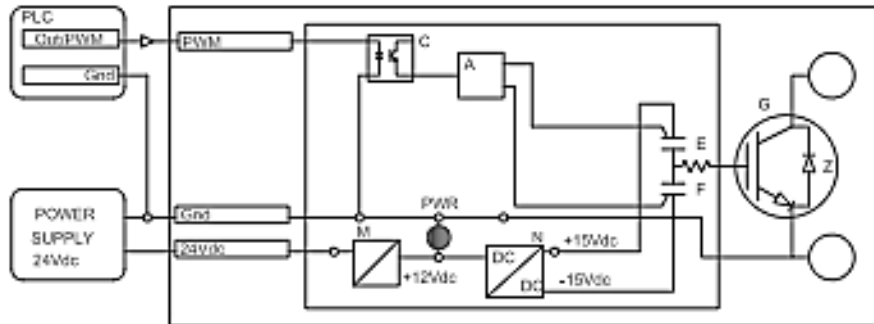
Figura 75. Gráfica de configuración del Relay.



Fuente: [www.optecpower.com/Download/ManualOPTEC\\_v40.pdf](http://www.optecpower.com/Download/ManualOPTEC_v40.pdf).

En la siguiente figura podemos observar el esquema interno relay salida DC:

Figura 76. Circuito interno electrónico del Relay.



Fuente: [www.optecpower.com/Download/ManualOPTEC\\_v40.pdf](http://www.optecpower.com/Download/ManualOPTEC_v40.pdf).

El código que permitirá controlar las revoluciones es:

```

int sensorPin = A0 ;// selecciona el pin de entrada para el potenciómetro
int ledPin = 13 ; // selecciona el pin para el LED
int SensorValue = 0 ; // variable para almacenar el valor procedente del
sensor de
vacío de configuración ( ) {
    // declara el ledPin como SALIDA:
    pinMode ( ledPin , SALIDA ) ;
}
vacío loop ( ) {
    // leer el valor del sensor:
    SensorValue = analogRead ( sensorPin ) ;
    // girar el ledPin en
    digitalWrite ( ledPin , HIGH ) ;
    // detiene el programa de milisegundos <sensorValue>:
    retraso ( SensorValue ) ;
    // a su vez la de ledPin:
    digitalWrite ( ledPin , LOW ) ;
    // detiene el programa de milisegundos <sensorValue>:
    retraso ( SensorValue ) ;
}

```

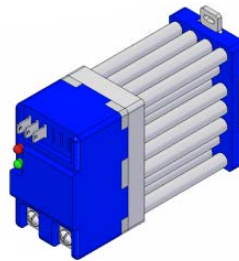
Esta opción es un tanto costosa, puesto que el relay tiene un costo de \$170.000 mil pesos y la tarjeta Arduino un valor de \$100.000 y es ineficiente debido a que ya

existe la posibilidad de realizar este procedimiento directamente desde un relay de estado solido sin tener que llevar a cabo la programación

### **3.5.4 Segunda alternativa regulación de la velocidad del motor con un realy de estado sólido con el PWM incluido (Para motores de corriente continua).**

La ventaja que tiene este tipo de relay es que ya tiene el PWM mencionado incorporado y no es necesaria una programación ni la adquisición de una tarjeta Arduino, las características de este relay son:

Figura 77. Relay en estado sólido OPS60D18.

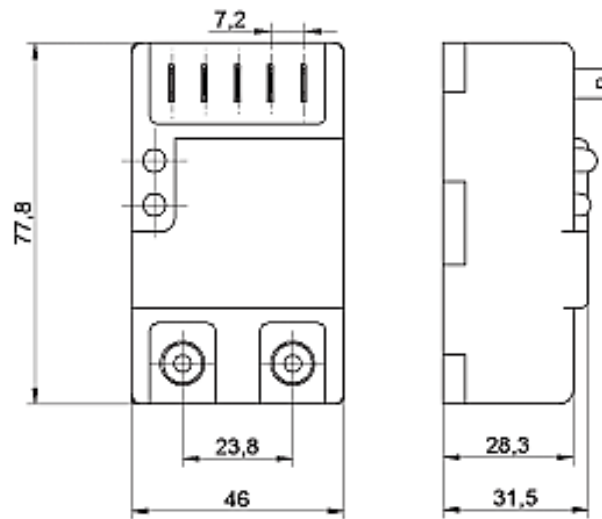


Fuente: [www.optecpower.com/Download/ManualOPTEC\\_v40.pdf](http://www.optecpower.com/Download/ManualOPTEC_v40.pdf).

- Aislamiento óptico
- Led indicador
- PWM de 10 Khz
- Se utiliza para controlar la velocidad de motores DC
- Aplicaciones como sillas de ruedas eléctricas
- Una corriente máxima de 23 amperios

Las dimensiones de este relay las podemos ver en la figura 80.

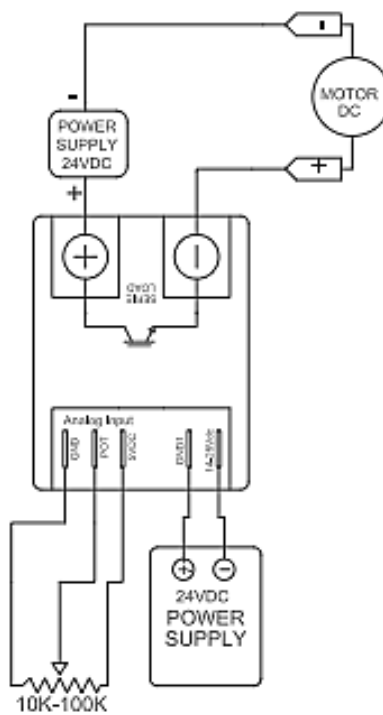
Figura 78. Planos del relay OPD60D18.



Fuente: [www.optecpower.com/Download/ManualOPTEC\\_v40.pdf](http://www.optecpower.com/Download/ManualOPTEC_v40.pdf).

Esquema de instalación eléctrica:

Figura 79. Configuración del relay OPD60D18.



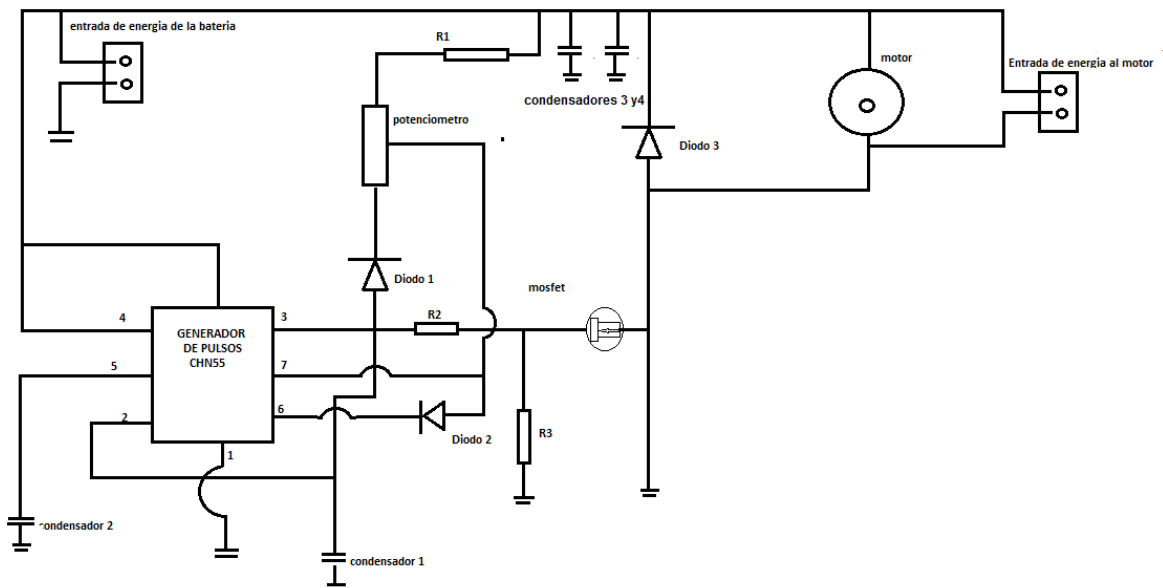
Fuente: [www.optecpower.com/Download/ManualOPTEC\\_v40.pdf](http://www.optecpower.com/Download/ManualOPTEC_v40.pdf).

Esta es la mejor opción pues es la menos costosa, el relay en estado solido tiene un valor de \$193.000 pesos, no es necesaria la adquisición de la tarjeta Arduino ni la programación de un PWM.

**3.5.5 Tercera alternativa: diseño y construcción de un sistema de control de velocidad de un motor DC.** En esta alternativa se realiza el diseño y la construcción el sistema del control de velocidad para el moto, parámetros para tener en cuenta:

- Valor de la corriente: 12 amperios
- Valor del voltaje a manejar: 12 voltios
- Frecuencias mayores a 5 kHz

Figura 80. Circuito eléctrico del controlador de velocidad diseñado.

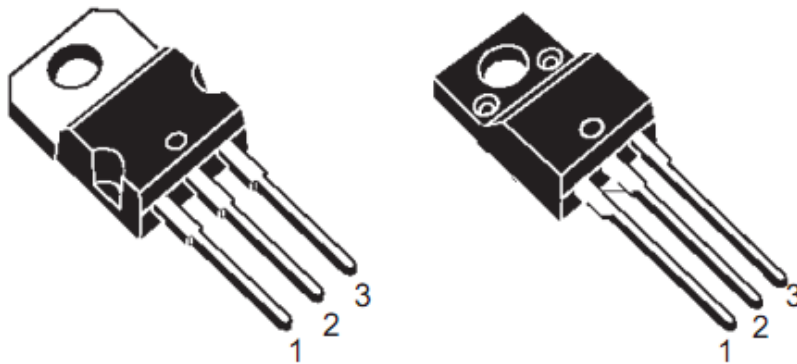


Fuente: Autores.

Componentes del circuito:

- Generador de pulsos CHN 555N
- Mosfet IRF604B
- Potenciómetro 10 k $\Omega$
- 2 condensadores de 100 nF (condensadores 1 y 2)
- 2 condensadores de 10 nF (condensadores 3 y 4)
- 2 Diodos 1N4148
- 2 resistencias de 1 k $\Omega$  ( $R_1$  y  $R_3$ )
- 1 resistencia de 10  $\Omega$
- 1 Diodo 1N5408
- **Características del mosfet IRF6040**

Figura 81. Mosfet 6040.



Fuente: <http://www.futurlec.com/Transistors/IRF640.shtml>

Tabla 20. Características del Mosfet IRF6040.

Symbol	Parameter	Value		Unit
		IRF640	IRF640FP	
V <sub>DS</sub>	Drain-source Voltage (V <sub>GS</sub> = 0)	200		V
V <sub>DGR</sub>	Drain- gate Voltage (R <sub>GS</sub> = 20 kΩ)	200		V
V <sub>GS</sub>	Gate-source Voltage	± 20		V
I <sub>D</sub>	Drain Current (continuous) at T <sub>c</sub> = 25 °C	18	18(**)	A
I <sub>D</sub>	Drain Current (continuous) at T <sub>c</sub> = 100 °C	11	11(**)	A
I <sub>DM</sub> (*)	Drain Current (pulsed)	72	72	A
P <sub>tot</sub>	Total Dissipation at T <sub>c</sub> = 25 °C	125	40	W
	Derating Factor	1.0	0.32	W/°C
dv/dt(1)	Peak Diode Recovery voltage slope	5	5	V/ns
V <sub>ISO</sub>	Insulation Withstand Voltage (DC)	—	2000	V
T <sub>stg</sub>	Storage Temperature	-65 to 150		°C
T <sub>j</sub>	Max. Operating Junction Temperature	150		°C

(\*) Pulse width limited by safe operating area (1) I<sub>SD</sub> ≤ 18A, di/dt ≤ 300 A/μs, V<sub>DD</sub> ≤ V<sub>(BR)DSS</sub>, T<sub>j</sub> ≤ T<sub>JMAX</sub>  
 First Digit of the Datecode Being Z or K Identifies Silicon Characterized in this Datasheet  
 (\*\*) Limited only by Maximum Temperature Allowed

Fuente: <http://www.futurlec.com/Transistors/IRF640.shtml>

- Funcionamiento del circuito.** Una vez se conecta la batería al sistema, éste se polariza completamente, a su vez el circuito inmediatamente después pasa la corriente de entrada por la resistencia número 1, colocando en funcionamiento al generador de pulsos CHN555 empieza a oscilar a una frecuencia de 14 kHz, que es establecida por el condensador numero 1. Tan pronto la señal es detectada en el pin número 3 del CHN555, se emite un pulso que es el encargado controlar el tiempo de encendido y de apagado del Mosfet, amplificando la corriente pero no la tensión, la señal de salida del Mosfet es a la cual se le aplica el control, modulándola por medio de un potenciómetro.

El condensador número 1 es el encargado de generar la frecuencia de trabajo, el condensador número 2 es quien elimina los ruidos internos del sistema, el diodo 3 protege el Mosfet de las corrientes inducidas por el motor, al igual que la resistencia número 2, dejando a los diodos 1 y 2 como los encargados de la acomodación del pulso para evitar que esta señal se devuelva.

La máxima velocidad del motor se encuentra cuando el Mosfet esta más tiempo encendido que apagado y la mínima velocidad en el motor se da cuando el Mosfet se encuentre mas tiempo apagado que encendido.

#### 4. TRITURADOR

Los entornos de trabajo en los que operan los trituradores son variados pero siempre extremos, normalmente un triturador necesita una superficie altamente resistente a la abrasión, que deberá ser capaz también de resistir grandes esfuerzos de impacto, además el triturador necesitara absorber cargas de compresión muy elevadas. En la situación particular del centro de investigación Cenivam, se necesita reducir el volumen del residuo orgánico producido después de la destilación, es así que se presenta el diseño de un sistema triturador que pueda transportarse fácilmente a cualquier región.

Las trituradoras son los dispositivos que están diseñados para disminuir el tamaño del volumen del material mediante el uso de la fuerza, adecuándolos en un tamaño adecuado para el manejo de determinada situación. Esto a veces es realizado por la compactación de la masa del objeto. En otras ocasiones, la trituradora utilizará la fuerza para romper el objeto en una serie de piezas más pequeñas.

La acción de cualquier tipo de trituradora hace uso de la fuerza como medio para llevar a cabo la tarea de aplastar a los objetos que componen el material. En esencia, implica la transferencia de aplastamiento de la fuerza que se incrementa, por lo tanto se distribuye la fuerza a lo largo del cuerpo del objeto. Esto por lo general consiste en colocar el material entre dos superficies sólidas. Una de las superficies actúa como una plataforma y proporciona un lugar para colocar el objeto. La segunda superficie normalmente se encuentra por encima del objeto y la plataforma, de esta forma baja lentamente para ejercer la fuerza sobre el material.

#### 4.1 MÁQUINAS UTILIZADAS EN LA REDUCCIÓN DE TAMAÑO DE MATERIAL

Las diversas máquinas utilizadas en la reducción de tamaño actúan aplicando diferentes tipos de fuerza que son:

- La compresión
- El cizallamiento
- La percusión o impacto
- La atrición o abrasión

Algunos de estos tipos de fuerza suele ser preponderante en cada tipo de máquina, por lo que estos se pueden clasificar en forma general de la siguiente manera:

- Trituradores que actúan por compresión.
- Trituradores que actúan por impacto o percusión.
- Trituradores que actúan por atrición.

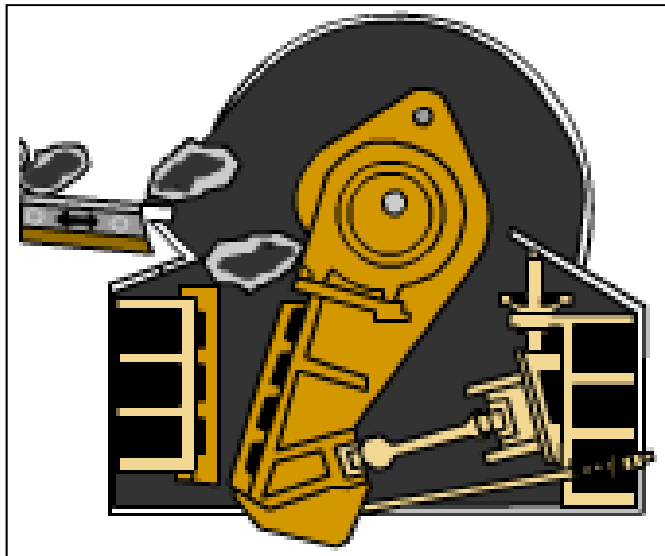
Los últimos (atrición) corresponden fundamentalmente a los molinos para producir finos, tales como los del tipo de barras o bolas, aunque actúan también las otras fuerzas.

En general, todos los aparatos de trituración deben disponer de mecanismos para hacer frente a diferentes situaciones:

- Un sistema o técnica antidesgaste.
- Un sistema de regulación de la granulometría del producto.
- Un mecanismo antitriturable que garantice la integridad de la máquina.

#### 4.1.1 Aparatos que actúan por compresión

Figura 82. Trituradora de mandíbulas.



Fuente: Tesis de grado, Castillo Quito; Enrique Gustavo.

En este grupo están la trituradora de mandíbula de doble efecto o simple efecto, la trituradora de mandíbula de doble efecto consta de una mandíbula fija y otra móvil que esta articulada en su parte superior sobre un eje que le permite acercarse y alejarse de la anterior para comprimir la roca entre ellas.

La fuerza para la compresión se comunica por medio de volantes movidos por el motor y que van por un eje excéntrico, este tipo de dispositivo es un eficiente

multiplicador de fuerza que permite poder llegar a romper las rocas situadas entre las mandíbulas cuando estas se acercan.

El material triturado y situado en la parte superior entre las mandíbulas, sale al abrirse estas y recomienza el ciclo. Pueden ser rectas o tener un perfil determinado, en cuanto a su superficie puede ser lisa o acanalada, siendo estas últimas las más frecuentes.

El sistema anti triturable consiste en que una de las placas o tejas de articulación esta perforada o debilitada para que tenga una cierta resistencia calculada; de esta forma, si penetra un intriturable, al sobrepasar esta resistencia, la placa se rompe, cesando de forma inmediata la transmisión de la fuerza y retrocediendo la mandíbula móvil por acción del muelle tensor. Este sistema tiene el inconveniente de detener la producción y tener que restituir una pieza.

El mecanismo de regulación de tamaño de salida puede ser muy variado y en esencia consiste en un sistema que permite mover el apoyo fijo de la segunda placa, de forma que se acerque o aleje de todo el conjunto de la mandíbula fija. El método mas sencillo consiste en un juego de cuñas además se utilizan sistemas hidráulicos.

La boca de las machacadoras suele ser cuadrada como mucho 1.5 veces su ancho. La salida inferior tiene una forma claramente rectangular. Estos aparatos se denominan generalmente por las dimensiones de la boca expresada en milímetros.

La separación de las mandíbulas en el punto de mayor retroceso es lo que va a controlar la granulometría del producto y se denomina regulación, el trayecto que recorre la mandíbula móvil en su movimiento se denomina normalmente recorrido.

La razón de reducción típica de estos aparatos es de entre 4 y 8 es una máquina muy resistente a la abrasión ya que las fuerzas actuantes son prácticamente de compresión pura, con un mínimo de frotamiento entre el material y las partes metálicas, por lo que es adecuada para materiales muy abrasivos, sirve para cualquier otro material salvo los pegajosos, ya que la evacuación es por gravedad y atascarían al producto.

**4.1.2 Aparatos que actúan por impacto o por percusión.** En estos trituradores la rotura se produce por el brusco impacto o choque generado por la energía cinética relativa entre la roca y un elemento triturador. Esta energía cinética tiene por expresión:

$$E = \frac{m * v^2}{2}$$

La energía puesta en juego es proporcional a la masa y al cuadrado de la velocidad relativa, para grandes masas de roca la velocidad debe ser relativamente baja, mientras que para pequeñas partículas debe ser alta.

Para triturar grandes trozos, la energía cinética se produce en una gran masa metálica giratoria que proyecta la roca contra una superficie fija causando su rotura y dando lugar a las trituradoras de impacto propiamente dichas.

Normalmente son aparatos de concepción sencilla, menos complicada mecánicamente que las trituradoras giratorias, y por lo tanto más ligeros y baratos y que pueden conseguir relaciones de reducción mayores, simplificando los circuitos para reducir el número de etapas, con lo que conlleva también un ahorro de material auxiliar y mano de obra.

Debido a su forma de actuación se produce un intenso frotamiento e impacto con las partes metálicas móviles y con las fijas de la cámara de trituración, originándose un desgaste mucho mayor que en los aparatos que actúan por compresión.

En este grupo se encuentran las trituradoras de impacto y molinos de martillo.

**4.1.3 Aparatos que actúan por atrición.** La atrición o abrasión están muy indicadas para la producción de finos y por ello los aparatos que utilizan este tipo de acción de forma más o menos preponderante se clasifican como molinos

Dentro de estos aparatos, los destinados al tratamiento de áridos pertenecen prácticamente todos a los denominados molinos con cuerpos moledores libres, los cuales consisten en grandes cilindros mas o menos alargados, que giran sobre su eje llevando en su interior una mezcla de material a moler junto con cuerpos moledores pueden ser bolas, barras o trozos gruesos del propio material a moler. De aquí la primera clasificación que se suele hacer de estos aparatos:

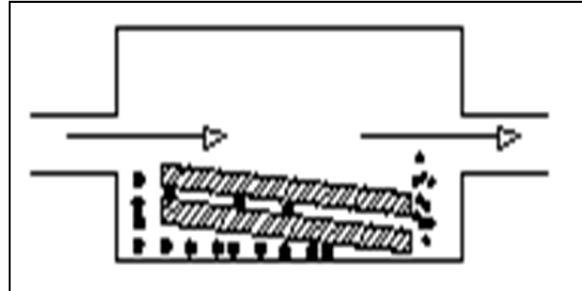
- Molinos de bolas
  
- Molinos de barras
  
- Molinos autógenos

La acción abrasiva o aprisionadora se genera porque al girar el cilindro la masa que se encuentra en su interior se mueve sobre si misma, produciéndose un gran roce o frotamiento entre las partículas de la roca y de los cuerpos moledores entre las propias partículas y entre los propios cuerpos moledores. Debido a esta acción también se produce un desgaste notable de los cuerpos moledores y de las paredes del propio cilindro del molino.

La acción aprisionadora o abrasiva es muy preponderante en la producción de partículas muy finas, pero cuando se trata de producir granos no tan finos entran en juego otras fuerzas, entre las que se destaca el impacto, cuya importancia aumenta con la masa de los cuerpos moledores y el tamaño de los granos a romper.

Estos molinos pueden trabajar en seco o en húmedo. En seco son notablemente menores los desgastes sobre todo de las partes metálicas ya que en húmedo se produce una notable corrosión, pero aumenta la energía necesaria para realizar la molienda y se dificulta el control de la granulometría sobre todo en tamaños tipo arena, en cada caso particular hay que evaluar cuidadosamente el efecto de todo ello, así como de las posibles costes de secado para decidir la elección de una u otra forma de trabajo.

Figura 83. Funcionamiento del molino de barras.



Fuente: Tesis de grado, Castillo Quito; Enrique Gustavo.

Los molinos de barra consisten en un gran cilindro que pueden girar sobre los muñones huecos que van en sus extremos y que permiten la alimentación de material por uno de ellos y por el otro la introducción de barras de repuesto y la posible salida de la pulpa. En los modelos pequeños se utiliza muchas veces el accionamiento mediante neumáticos, sobre los que descansa el cuerpo del molino. En su interior lleva una carga de barras de acero que deben ser ligeramente mas cortas que la longitud del molino en unos 10 ó 15 cm en los

molinos corrientes aunque pueden ser algo menos en los pequeños, para que se puedan mover bien, pero no mucho menores para que no se traben unas con otras inmovilizando la carga.

Al moverse el molino las barras ascienden arrastradas por el rozamiento y por las ondulaciones que lleva el revestimiento interno hasta un punto a partir de la cual caen. El material que se alimenta se va introduciendo entre las barras al girar el molino y en el extremo de alimentación que es donde están las partículas mas gruesas, originan un importante esponjamiento de carga y cuando las barras caen hacen un efecto de corte, como de tijera que va partiendo los granos de roca y los fragmentos resultantes van progresando.

Cuando mas finos son, mayor influencia tiene la abrasión y atrición. En el extremo de salida, donde los granos son finos, las barras están prácticamente en contacto unas con otras y dejan entre ellos unos orificios en forma de tamiz que permite el paso de material ya molido e impiden el de los granos gruesos, realizando una especie de clasificación interna, por lo que estos aparatos se suelen utilizar en circuito abierto, aunque nada impide utilizar en circuito cerrado.

Debido a estas aberturas de salida entre las barras el molino no es muy adecuado para producción de ultra finos, y su rango de producción suele oscilar de 2 a 0.5 mm, aunque se puede forzar hacia tamaños mayores de 4 ó 5 mm y también menores utilizando un circuito cerrado aproximadamente un 95% menor de 0.3 mm.

Otra cuestión importante a tener en cuenta es la relación entre el diámetro y la longitud del cilindro, la longitud no debe ser menor de 1.25 veces el diámetro para impedir que las barras se puedan cruzar en el molino e inmovilizar la carga, avería que además se soluciona entrando y cortando todas las barras.

Lo generalmente recomendado es que la longitud sea 1.4 o 1.6 veces el diámetro para los grandes, aunque en los pequeños puede llegar a 2 o 2.5 veces.

## 5. OTRA FORMA DE CONEXIÓN

Puesto que el proyecto de grado esta enfocado para ser llevado a zonas rurales y teniendo en cuenta que en algunas zonas no se encuentra todavía instalado el servicio de electricidad. Se plantea una posible alternativa para dichos lugares, teniendo en cuenta que el sistema no requiere de gran potencia y un torque bajo, se pueden utilizar motores para corriente continua (DC) que trabajen con 12 o 16 voltios suministrados por una batería que puede ser recargada por medio de una celda fotovoltaica

Figura 84. Motor de escobillas de camión liviano, rpm 3600, potencia ¼ HP.



Fuente: Autores.

### 5.1 BATERÍAS ELÉCTRICAS

Se denomina batería eléctrica, acumulador eléctrico o simplemente acumulador, al dispositivo que almacena energía eléctrica usando procedimientos electroquímicos y que posteriormente la devuelve casi en su totalidad; este ciclo puede repetirse por determinado numero de veces. Se trata de un generador eléctrico secundario, es decir un generador que no puede funcionar sin que se le haya suministrado electricidad previamente mediante lo que se denomina proceso de carga.

El termino batería se aplica generalmente a los dispositivos electroquímicos semi-reversibles, o acumuladores de energía eléctrica que su pueden recargarse.

**5.1.1 Principio de funcionamiento.** El principio de funcionamiento de un acumulador esta basado esencialmente en un proceso reversible llamado reducción-oxidación (también conocida como redox), un proceso en el cual uno de los componentes se oxida (pierde electrones) y el otro se reduce (gana electrones); es decir, un proceso cuyos componentes no resulten consumidos, no se pierdan, sino que meramente cambian su estado de oxidación, que a su vez puedan retornar al estado primero en las circunstancias adecuadas. Estas circunstancias son, en el caso de los acumuladores, el cierre del circuito externo, durante el proceso de descarga, y la aplicación de una corriente, igualmente externa, durante la carga.

**5.1.2 Clasificación de las baterías por lo que a su naturaleza interna se refiere**

- **BATERÍAS PLOMO ÁCIDO.** Esta constituida por dos electrodos de plomo, de manera que cuando el aparato esta descargado, se encuentra en forma de sulfato de plomo incrustado en una matriz de plomo metálico (Pb), el electrolito es una disolución de acido sulfúrico.
- **PILA ALCALINA.** La pila alcalina es similar a la pila de leclanche, pero, en vez de cloruro de amonio, llevan cloruro de sodio o potasio, duran más por que el zinc no esta expuesto a un ambiente acido como el que provocan los iones de amonio en la pila convencional. Como los iones se mueven más fácilmente a través del electrolito, producen más potencia y una corriente más estable.
- **BATERÍA DE NÍQUEL-HIERRO (Ni-Fe).** Son también llamadas ferróníquel el cátodo esta compuesto por hileras de finos tubos formados por laminas

enrolladas de acero niquelado estos tubos están rellenos de hidróxido de níquel u oxi-hidrixi de níquel. El ánodo se compone de cajas perforadas delgadas de acero niquelado que contiene polvo de ácido ferroso. El electrolito es alcalino a una disolución del 20% de potasa caustica (KOH) en agua destilada los electrodos, no se disuelven en el electrolito, las reacciones de carga/descarga son completamente reversibles y la formación de cristales de hierro preserva los electrodos por lo cual no se produce efecto memoria lo que confiere a esta batería de gran duración.

- **BATERÍAS ALCALINAS DE MANGANESO.** Con un contenido de mercurio que ronda el 0.1% de su peso total, es una versión mejorada de la pila alcalina, en la que se ha sustituido el conductor iónico cloruro de amonio por hidróxido de potasio (de ahí su nombre de alcalina) el recipiente de la pila es de acero, y la disposición del zinc y del óxido de manganeso (IV). La cantidad de mercurio empleada para regularizar la descarga es mayor. Este le confiere mayor duración, más constancia de tiempo y mejor rendimiento por el contrario su precio es elevado.
- **BATERÍAS DE NÍQUEL CADMIO (Ni-Cd).** Utilizan un cátodo de hidróxido de níquel y un ánodo de un compuesto de cadmio. El electrolito es de hidróxido de potasio. Esta configuración de materiales permite recargar la batería una vez este agotada, para su reutilización pero su densidad energética es tan solo de 50 Wh/Kg.
- **BATERÍAS DE NÍQUEL HIDRURO METÁLICO (Ni.MH).** Utilizan un ánodo de hidróxido de níquel y un cátodo de una aleación de hidruro metálico. Este tipo de baterías se encuentran menos afectadas por el llamado efecto memoria.
- **BATERÍAS DE IONES DE LITIO (Li-ion).** Las baterías de iones de litio utilizan un ánodo de grafito y un cátodo de óxido de cobalto, su desarrollo es mas

reciente, y permite llegar a altas densidades de capacidad. No admiten descargas, y sufren mucho cuando estas suceden por lo que suelen llevar acoplada circuitería adicional para conocer el estado de la batería, y evitar así tanto la carga excesiva, como la descarga completa. Apenas sufren el efecto memoria y pueden cargarse sin necesidad de estar descargadas completamente.

- **BATERÍAS DE POLÍMERO DE LITIO.** Son una variación de las baterías de iones de litio. Sus características son muy similares, pero permiten una mayor densidad de energía, así como una tasa de descarga bastante superior. Estas baterías tienen un tamaño mas reducido respecto a las de otros componentes. Su tamaño y peso los hace muy útiles para equipos pequeños que requieran potencia y duración.

Tabla 21. Tabla comparativa de los diferentes tipos de acumulador.

Tipo ↕	Energía/ peso ↕	Tensión por elemento (V) ↕	Duración (número de recargas) ↕	Tiempo de carga ↕	Auto-descarga por mes (% del total) ↕
Plomo	30-40 Wh/kg	2 V	1000	8-16h	5 %
Ni-Fe	30-55 Wh/kg	1,2 V	+ de 10.000	4-8h	10 %
Ni-Cd	48-80 Wh/kg	1,25 V	500	10-14h *	30%
Ni-Mh	60-120 Wh/kg	1,25 V	1000	2h-4h *	20 %
Li-ion	110-160 Wh/kg	3,16 V	4000	2h-4h	25 %
Li-Po	100-130 Wh/kg	3,7 V	5000	1h-1,5h	10%

Fuente: [es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa\\_\(electricidad\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa_(electricidad)).

Figura 85. Baterías comunes.



Fuente: [es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa\\_\(electricidad\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa_(electricidad)).

## 5.2 CELDAS FOTOVOLTAICAS

La energía solar fotovoltaica es aquella que se obtiene de la transformación directa de la energía del sol en energía eléctrica, esta definición de la energía solar fotovoltaica, aunque es breve, contiene aspectos importantes sobre los cuales se puede profundizar:

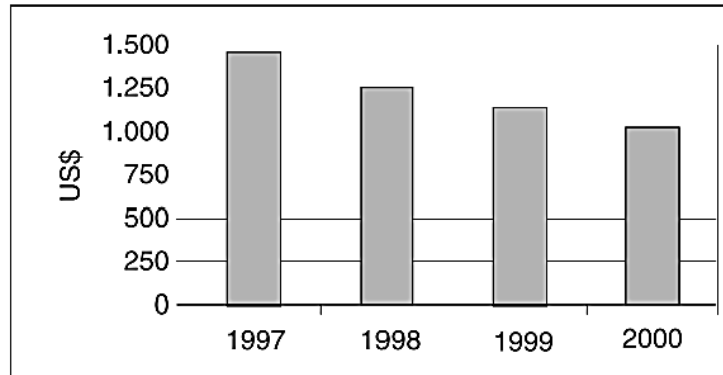
1. La energía solar se puede transformar de dos maneras. La primera utiliza una parte del espectro electromagnético de la energía del sol para producir calor a dicha energía obtenida se le llama energía solar térmica. la segunda, utiliza la otra parte del espectro electromagnético de la energía del so para producir electricidad. A la energía obtenida se le llama energía solar fotovoltaica la transformación se realiza por medio de modulo o paneles solares fotovoltaicos.

2. La energía solar fotovoltaica se utiliza para hacer funcionar lámparas eléctricas, para iluminación o para hacer funcionar radios, televisores y otros electrodomésticos de bajo consumo energético, generalmente, en aquellos lugares donde no existe acceso a la red eléctrica convencional-

Es necesario disponer un sistema formado por equipos especialmente contruidos para realizar la transformación de la energía solar en energía eléctrica. Este sistema recibe el nombre de sistema fotovoltaico y los equipos que lo forman reciben el nombre de componentes fotovoltaicos.

Los precios de los equipos fotovoltaicos se han reducido considerablemente en años recientes. Por ejemplo, para un sistema fotovoltaico típico para aplicaciones rurales, los costos en el año 2000 se han reducido en un 29% con respecto del año 1997.

Figura 86. Evolución del precio de un pequeño sistema fotovoltaico (75 Wp).



Fuente: Fortalecimiento de la Capacidad en Energía Renovable para América central, FOCER. Manuales sobre la energía solar renovable: Solar Fotovoltaica. 1 ed. San José, Costa Rica. 2002

**5.2.1 ¿Qué es un sistema fotovoltaico?** Es un conjunto de equipos construidos e integrados especialmente para realizar cuatro funciones fundamentales:

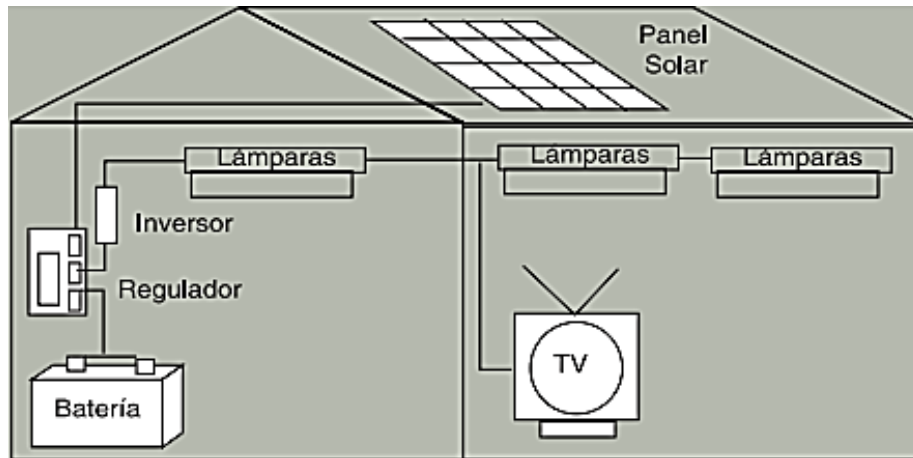
1. Transformar directa y eficientemente la energía solar en energía eléctrica.
2. Almacenar adecuadamente la energía eléctrica generada.
3. Proveer adecuadamente la energía producida (el consumo) y almacenada.
4. Utilizar eficientemente la energía producida y almacenada.

En el mismo orden antes mencionado los componentes fotovoltaicos encargados de realizar las funciones respectivas son:

- Modulo del panel fotovoltaico
- La batería
- El regulador de carga

- El inversor
- Las cargas de aplicación( el consumo)

Figura 87. Esquema simple de un sistema fotovoltaico.



Fuente: Fortalecimiento de la Capacidad en Energía Renovable para América central, FOCER. Manuales sobre la energía solar renovable: Solar Fotovoltaica. 1 ed. San José, Costa Rica. 2002.

En instalaciones pequeñas es frecuente además de los equipos antes mencionados, el uso de fusibles para la protección del sistema

**5.2.2 Módulos fotovoltaicos.** La transformación directa de la energía solar en energía eléctrica se realiza en un equipo llamado modulo o panel fotovoltaico. Los módulos o paneles solares son placar rectangulares formadas por un conjunto de celdas fotovoltaicas protegidas por un marco de vidrio y aluminio anodizado.

Una celda fotovoltaica es el componente que capta la energía contenida en la radiación solar y la trasforma en una corriente eléctrica, basado en el efecto fotovoltaico que produce una corriente eléctrica cuando la luz incide sobre algunos materiales.

Las celdas fotovoltaicas son echas principalmente de un grupo de minerales semiconductores, de los cuales el silicio, es el más usado. El silicio se encuentra abundantemente en todo el mundo porque es un componente mineral de la arena. Sin embargo tiene que ser de alta pureza para lograr el efecto fotovoltaico lo cual encarece el proceso de producción las celdas fotovoltaicas.

Una celda fotovoltaica tiene un tamaño de 10 x 10 centímetro y produce alrededor de un vatio a plena luz del día. Normalmente las celdas fotovoltaicas son color azul oscuro. La mayoría de los paneles fotovoltaicos cuenta con 36 celdas fotovoltaicas.

**5.2.3 Marco de vidrio y aluminio.** Este tiene la función principal de soportar mecánicamente las celdas fotovoltaicas y de protegerlas de los efectos degradantes de la intemperie, por ejemplo: humedad y polvo. Todo el conjunto de celdas fotovoltaicas y sus conexiones internas se encuentra completamente aislado del exterior por medio de dos cubiertas, una frontal de vidrio de alta resistencia a los impactos y uno posterior del plástico EVA (acetato de vinil etileno)

El vidrio frontal es anti reflejante para optimizar la captación de los rayos solares. El marco de aluminio también tiene la función de facilitar la fijación adecuada de todo el conjunto a una estructura de soporte a través de orificios convenientemente ubicados.

La forma de transferencia de calor denominada conducción es la transferencia de energía de las partículas de mayor potencial energético a las de menos potencial, por medio de las interacciones entre ellas. Éste fenómeno se puede dar en sólidos, líquidos y gases. En los sólidos es realizado por las vibraciones de las moléculas en una retícula y por el transporte de energía por los electrones libres, mientras que en los gases y los líquidos la conducción se debe a las colisiones y a la difusión de las moléculas por movimientos aleatorios.

**5.2.4 Tipos de módulos fotovoltaicos.** Existe en el mercado fotovoltaico una gran variedad de fabricantes y modelos de módulos solares. Según el tipo de material empleado para su fabricación se clasifican en:

- Módulos de silicio mono cristalino: son los más utilizados debido a su gran confiabilidad y duración, aunque su precio es ligeramente mayor que los otros tipos.
- Modulo de silicio poli cristalino: son ligeramente más baratos que los Módulos de silicio mono cristalino, aunque su eficiencia es menor.
- Modulo de silicio amorfo: tiene menor eficiencia que los 2 anteriores, pero un precio mucho menor. Además son delgados y ligero, hechos en forma flexible, por lo que se pueden instalar como parte integral de un techo o pared.

**5.2.5 Potencia.** La capacidad energética nominal de los módulos fotovoltaicos se indica en vatios-pico (Wp), lo cual indica la capacidad de generar electricidad en condiciones óptimas de operación.

La capacidad real de un modulo fotovoltaico difiere considerablemente de su capacidad nominal, debido a que bajo condiciones reales de operación la cantidad de radiación que incide sobre las celdas es menor que bajo condiciones óptimas, por ejemplo, un modulo de 55 Wp es capaz de producir 55 W más o menos a un 1 % de tolerancia cuando recibe una radiación solar de 1.000 vatios por metro cuadrado y sus celdas poseen una temperatura de 25 grados centígrados en condiciones reales, este mismo modulo producirá una potencia menor que 55 W La rapidez de la conducción de calor en un medio depende del tipo y espesor del material y de la diferencia de temperatura a través de éste.

Figura 88. Esquema del sistema fotovoltaico recomendado.



Fuente: Laboratorio de transferencia aplicada.

**5.2.6 Selección de la celda y de la batería.** Las características del motor que será alimentado con dicho panel, será:

Voltaje: 12 voltios.

Corriente: 2.5 amperios.

Horas de funcionamiento: 4 horas diarias.

Potencia requerida: 30 Watios.

Horas de sol: Se tiene una capacidad de 2 horas de sol.

Cantidad de Watios requeridos: 120 Watios.

Del mapa solad de Colombia se obtienen los siguientes datos:

Tabla 22. Intensidad promedio de horas de sol por día en Socorro.

MES	HORAS DE SOL POR DÍA
Enero	6
Febrero	4
Marzo	4
Abril	4
Mayo	4
Junio	6
Julio	6
Agosto	5
Septiembre	4
Octubre	6
Noviembre	6
Diciembre	6

Fuente: [www.upme.gov.co/Docs/Atlas\\_Radiacion\\_Solar/3-Mapas\\_Brillo\\_Solar.pdf](http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas_Radiacion_Solar/3-Mapas_Brillo_Solar.pdf).

Para hacer el cálculo de la celda se toma el mes que menos horas sol día haya, en nuestro caso son 4 horas sol día:

$$E_{requeminima} * (1.045) = potencia_{pico} [1 - 0.008 * (T_c - 25)] * 0.95 * horas\ sol$$

$$120 * 1.045 = potencia\ pico [1 - 0.008 * (T_c - 25)] * 0.95 * 4$$

$$potencia\ pico = 42.5\ w$$

El tipo de celda seleccionado es KYOCERA KC65T-1.

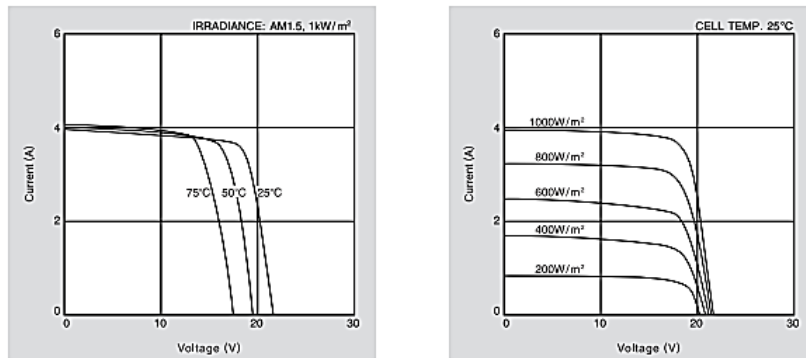
- **ESPECIFICACIONES DE LA CELDA KYOCERA KC65T-1**

Figura 89. Celda KYOCERA KC65T.



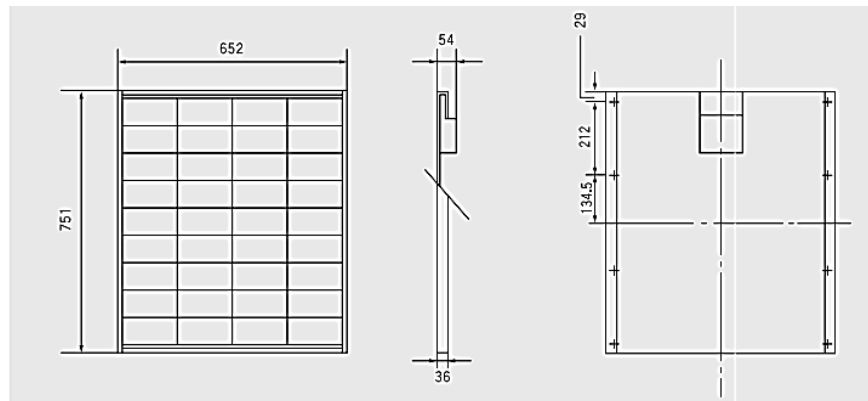
Fuente: [www.coltecnica.com/images/KYOCERA65.pdf](http://www.coltecnica.com/images/KYOCERA65.pdf).

Figura 90. Características eléctricas de la celda KYOCERA KC65T.



Fuente: [www.coltecnica.com/images/KYOCERA65.pdf](http://www.coltecnica.com/images/KYOCERA65.pdf).

Figura 91. Dimensiones de la celda KYOCERA KC65T.



Fuente: [www.coltecnica.com/images/KYOCERA65.pdf](http://www.coltecnica.com/images/KYOCERA65.pdf).

A continuación podemos analizar sus especificaciones técnicas:

Tabla 23. Especificaciones técnicas.

<b>Potencia máxima (W)</b>	<b>65</b>
<b>Tolerancia (%)</b>	<b>+10/-5</b>
<b>Máximo voltaje (V)</b>	<b>17.5</b>
<b>Corriente máxima (A)</b>	<b>3.5</b>
<b>Voltaje de abertura (v)</b>	<b>21.7</b>
<b>Temper. Coefici. de vol. (v/c)</b>	<b>-8.2*10<sup>-2</sup></b>
<b>Noct. (C)</b>	<b>47</b>
<b>Voltaje máximo del sistema (v)</b>	<b>750</b>

Fuente: [www.coltecnica.com/images/KYOCERA65.pdf](http://www.coltecnica.com/images/KYOCERA65.pdf).

### 5.3 TIPO DE BATERÍA

La batería que se recomienda es la batería Bosch S5, posee una elevada resistencia al auto descarga por falta de uso y resistencia a altas temperaturas cuyas características son:

Capacidad en amperios horas 70.

Amperaje de arranque 925.

Capacidad de descarga sostenida por minutos 115.

Tasa de capacidad de reserva 16 horas.

Figura 92. Tipo de batería seleccionada.



Fuente: [rb-aa.bosch.com/aa-batterien/es/es/pkw/bat\\_s345.htm](http://rb-aa.bosch.com/aa-batterien/es/es/pkw/bat_s345.htm).

## 6. CONCLUSIONES

Se cumplió con los objetivos propuestos para el proyecto de grado, proporcionando combustible a partir de desechos orgánicos, es decir, biocombustible, para ser usados en una caldera o quemador, con el fin de generar energía térmica útil para realizar procesos de destilación y extracción. Se realizó un estudio que posibilitará en futuros proyectos mejorar el aprovechamiento energético de la biomasa residual considerada como desecho.

Mediante un estudio comparativo se determinó que para una aplicación a nivel artesanal, la mejor alternativa es dosificar la biomasa residual directamente al sistema de combustión de la planta de destilación de aceites esenciales.

Se diseñó un sistema automático de dosificación aplicable al suministro de biomasa residual de forma directa a la cámara de combustión compuesto por un tornillo sin fin con control de velocidad para la regulación del flujo de alimentación.

El uso de briquetas de biomasa residual puede ser una alternativa en el caso de producción a gran escala, donde debido al nivel de consumo de energía y a la dificultad de manejo de grandes volúmenes del material del sistema de dosificación, el costo asociado con la compactación del material de desecho no represente proporcionalmente un costo elevado que afecte el beneficio obtenido.

En este caso se deberá realizar caracterizaciones químicas del residuo orgánico y el análisis de aditivos que permitan obtener una briqueta estable y eficiente.

Se aportó al desarrollo agro-industrial de nuestro país, con proyectos que permiten el aprovechamiento energético de una forma económica y práctica.

## BIBLIOGRAFÍA

Álvarez Marciel, Carlos. Biocombustibles: desarrollo histórico-tecnológico, mercados actuales y comercio internacional. Universidad Nacional Autónoma de México. Madrid. México. 2009.

Banco Nacional de Desarrollo Económico y Social (BNDES): Centro de Gestión y Estudios Estratégicos (CGEE); Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe; Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) Bioetanol de caña de azúcar: Energía para el desarrollo sostenible. 1ª edición. Rio de Janeiro. 2008

Campos Michelena, Manuel; Hernández Álvarez, Félix. Los biocombustibles. Segunda edición. Ediciones Mundi-Prensa. 2008.

Catalogo y folletos técnicos Martin.

Chuen-Shii Chou; Sheau-Horng Lin; Chun-Chieh Peng; Wen-Chung Lu. Powder Technology Red Laboratory, Department of Mechanical Engineering, National Pingtung University of Science and Technology. Department of Wood Science and Design, National Pingtung University of Science and Technology. The optimum conditions for preparing solid fuel briquette of rice Straw by a piston-mold process using the Taguchi method. 2009.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Fondo de Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2007); "Oportunidades y Riesgos del Uso de la Bioenergía para la Seguridad Alimen

Comité de Seguridad Alimentaria Mundial (2007); “Evaluación de la Situación de la Seguridad Alimentaria Mundial”, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Mayo de 2007

Fortalecimiento de la Capacidad en Energía Renovable para América latina (FOCER). Manuales sobre energía renovable: Biomasa. Primera edición. Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF) y Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). San José, Costa Rica. 2002.

Fortalecimiento de la Capacidad en Energía Renovable para América central, FOCER. Manuales sobre la energía solar renovable: Solar Fotovoltaica. 1 ed. San José, Costa Rica. 2002

García Camús, Juan Manuel; García Laborda, José Ángel. Biocarburantes líquidos: biodiesel y bioetanol. Universidad Rey Juan Carlos del Círculo de Innovación en Tecnologías Medioambientales y Energía (CITME). Madrid. 2006.  
Gómez Gómez, Jimmy Joane; Gutiérrez Bedoya, Jorge Edwin. Diseño de una extrusadora para plásticos. Tesis de grado. Universidad Tecnológica de Pereira. 2007.

J. Hamrock, Bernard; Jacobson, Bo; R Schmid, Steven. Elementos de máquinas. Graw Hill. México. 2000.

Joseph E Shigley; Charles R Mischke. Diseño en ingeniería mecánica Graw Hill. México. Sexta edición. 2002.

Ortiz Torres, Luis. Producción de biocombustibles sólidos de alta densidad. Universidad de Vigo. 2008. Martín, Francisco Marcos. Biocombustibles sólidos de origen forestal. Primera edición. Editorial Aenor. 2009.

Ortiz, L. La biomasa como fuente de energía renovable. Ed. Gamesal. 2006.

Ortiz, L. Procesos de densificación de la biomasa. Ed. Gamesal. 2003.

Ortiz, L; Miguez. Aprovechamiento energético de la biomasa forestal. Ed. Gamesal. 1996.

Quito, Castillo; Gustavo, Enrique. Diseño de una Máquina Trituradora Tipo Rodillo para la Obtención de la Granulometría Recomendada para Piedra Pómez Utilizada en la Fabricación de Bloque Ligerero. Tesis de grado FIMCP. Quito. 2005.

Roa Agustín, López. Cintas trasportadoras. Editorial Dossat. Primera edición. 2002.

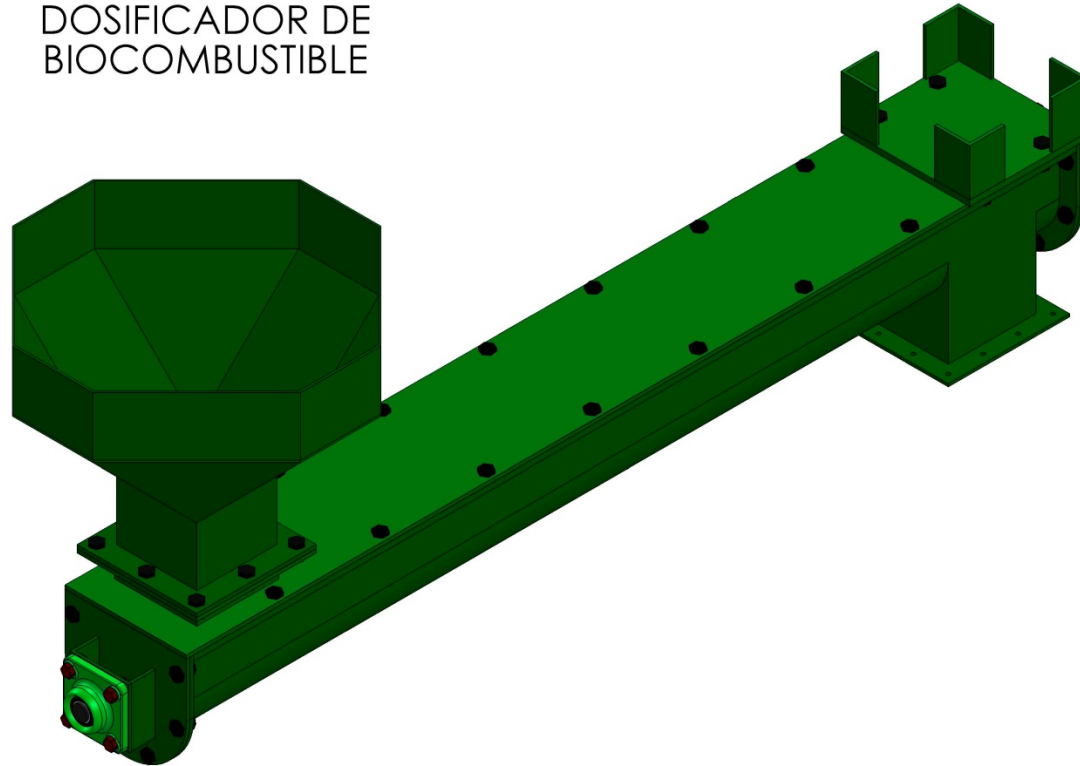
Spott, M.F.; Shoup, T.E. Elementos de maquinas. Graw Hill. México. Séptima edición. 1998.

Trujillo, Jorge Eduardo; Calderón Toral, Cristian Santiago. Diseño de una maquina peletizadora en base a la disponibilidad de residuos madereros de la Ciudad De Cuenca para su aprovechamiento energético. Tesis de pregrado Universidad politécnica Salesiana. Ecuador. 2011.

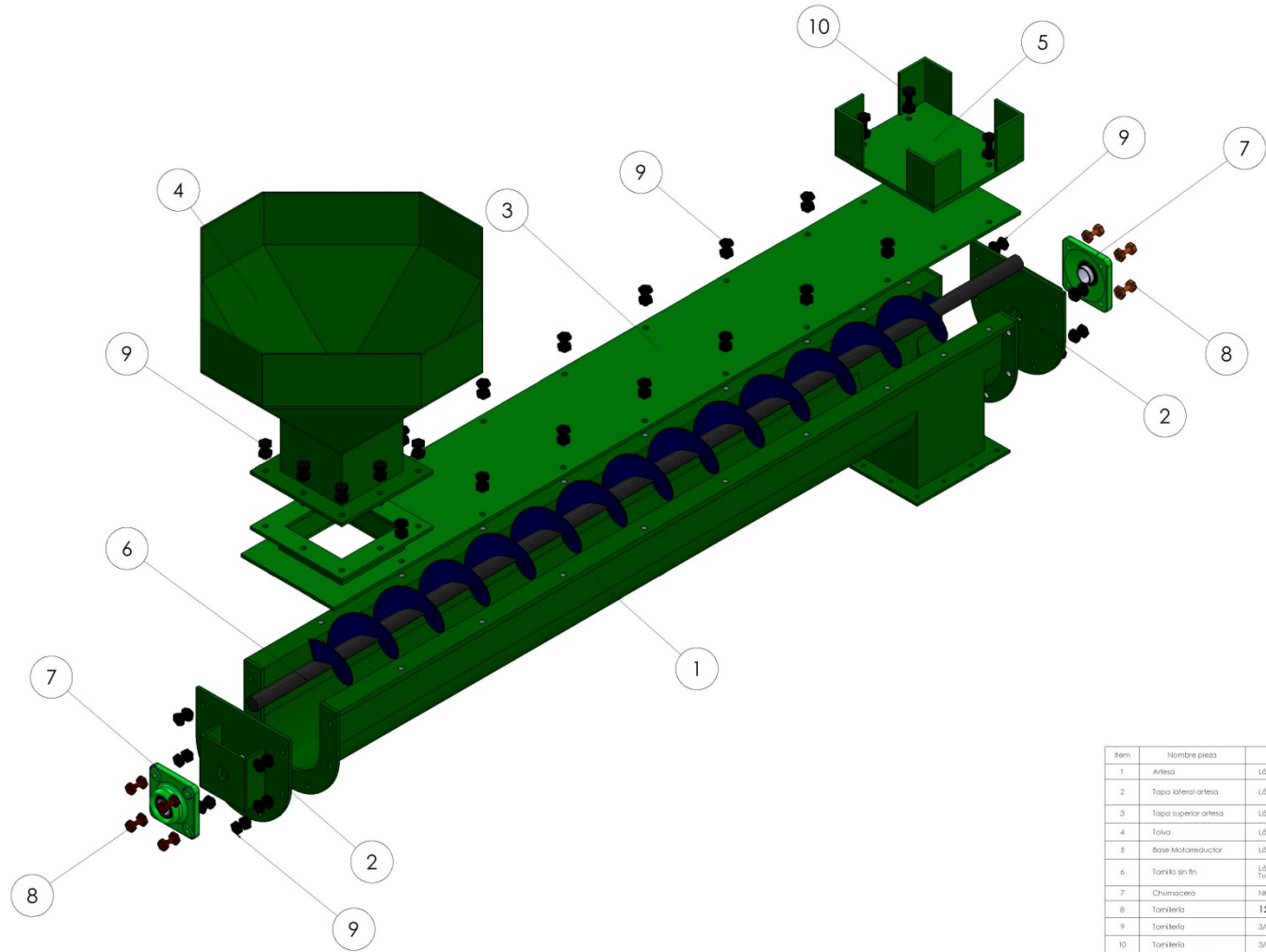
# **ANEXOS**

## ANEXO A. PLANOS TORNILLO

DOSIFICADOR DE  
BIOCOMBUSTIBLE

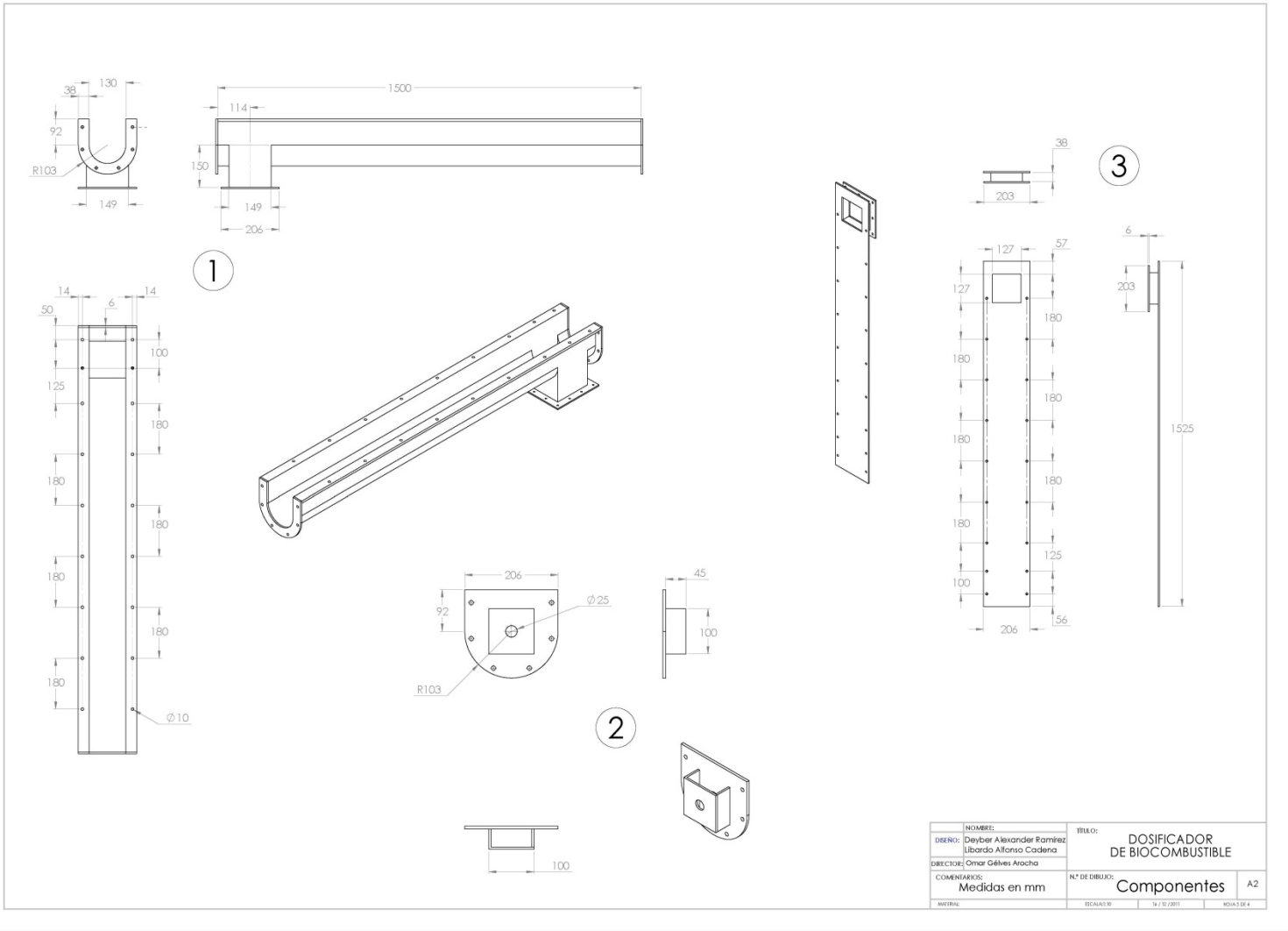


TIPO	PLANO	DESCRIPCION
PROYECTO	01	DOSIFICADOR DE BIODIESEL
FECHA	15/05/2012	
ELABORADO	INGENIERO	
REVISADO	INGENIERO	
APROBADO	INGENIERO	
ESTADO	COMPLETADO	
PROYECTO	01	DOSIFICADOR DE BIODIESEL
FECHA	15/05/2012	
ELABORADO	INGENIERO	
REVISADO	INGENIERO	
APROBADO	INGENIERO	
ESTADO	COMPLETADO	



Item	Nombre pieza	Descripción
1	Artesa	Lámina HR 3/8"
2	Tapo lateral artesa	Lámina HR 1/4"
3	Tapo superior artesa	Lámina HR 1/4"
4	Tolva	Lámina HR 3/16"
5	Base Motorreductor	Lámina HR 1/4"
6	Tornillo sin fin	Lámina AISI 316 Tubo de 3/8" x 1"
7	Chumacera	MIS Bearing unid. 2pc
8	Tornillería	12 mm x 1 1/2"
9	Tornillería	3/8" x 1"
10	Tornillería	3/8" x 1/2"

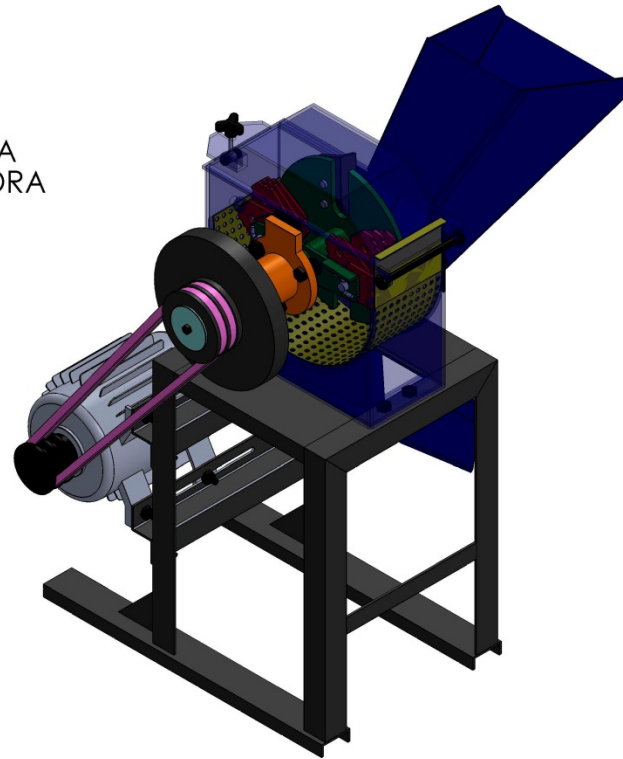
ESCALA: 1:1  
 DISEÑO: [Blank]  
 DISEÑO: [Blank]  
 MEDIDA EN: mm  
 SISTEMA: ISOMÉRICO  
 HOJA: 1 DE 1



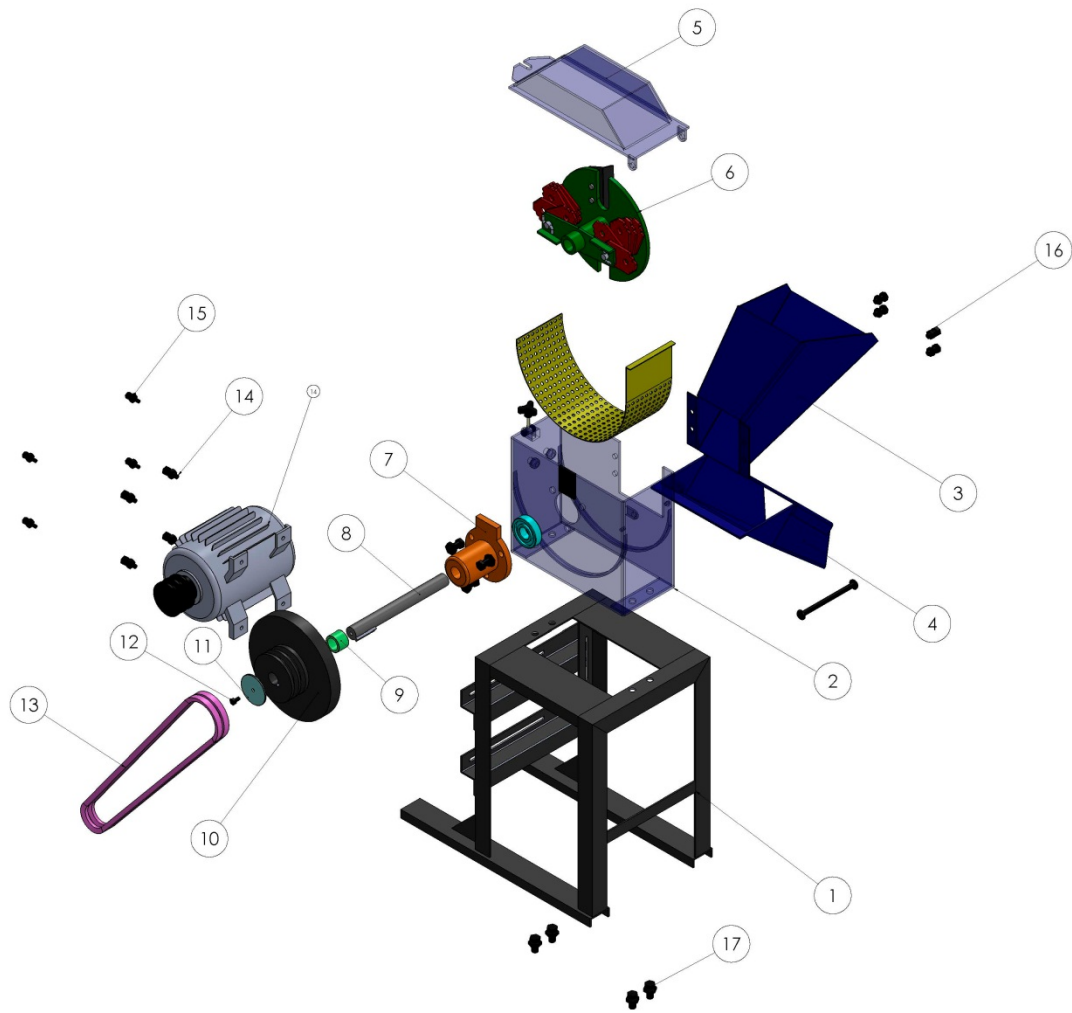


## ANEXO B. MAQUINA TRITURADORA

MÁQUINA  
TRITURADORA

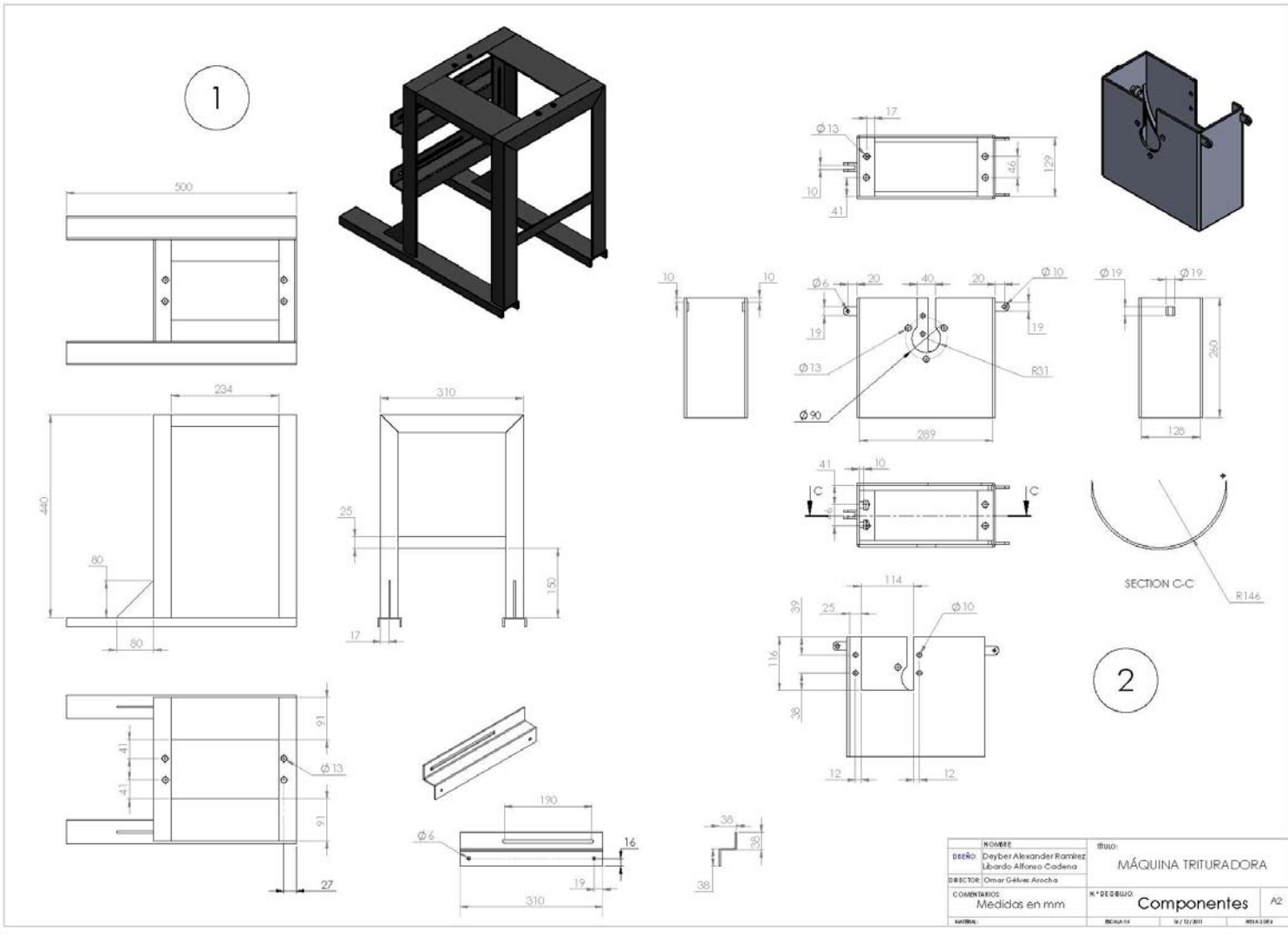


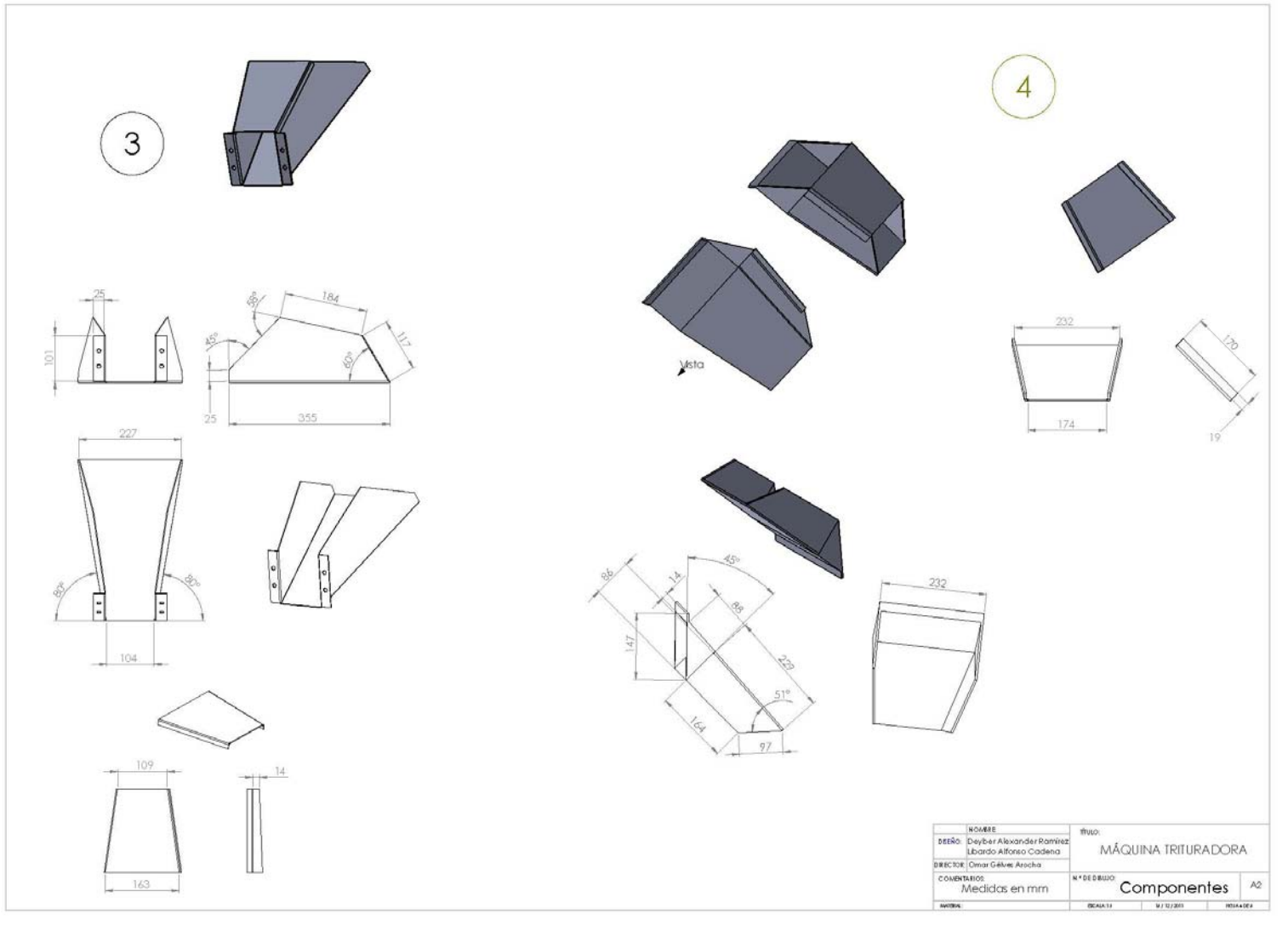
Nombre	MÁQUINA TRITURADORA
Fecha	15/05/2023
Clase	ECAMETRICO
Curso	4º ESO

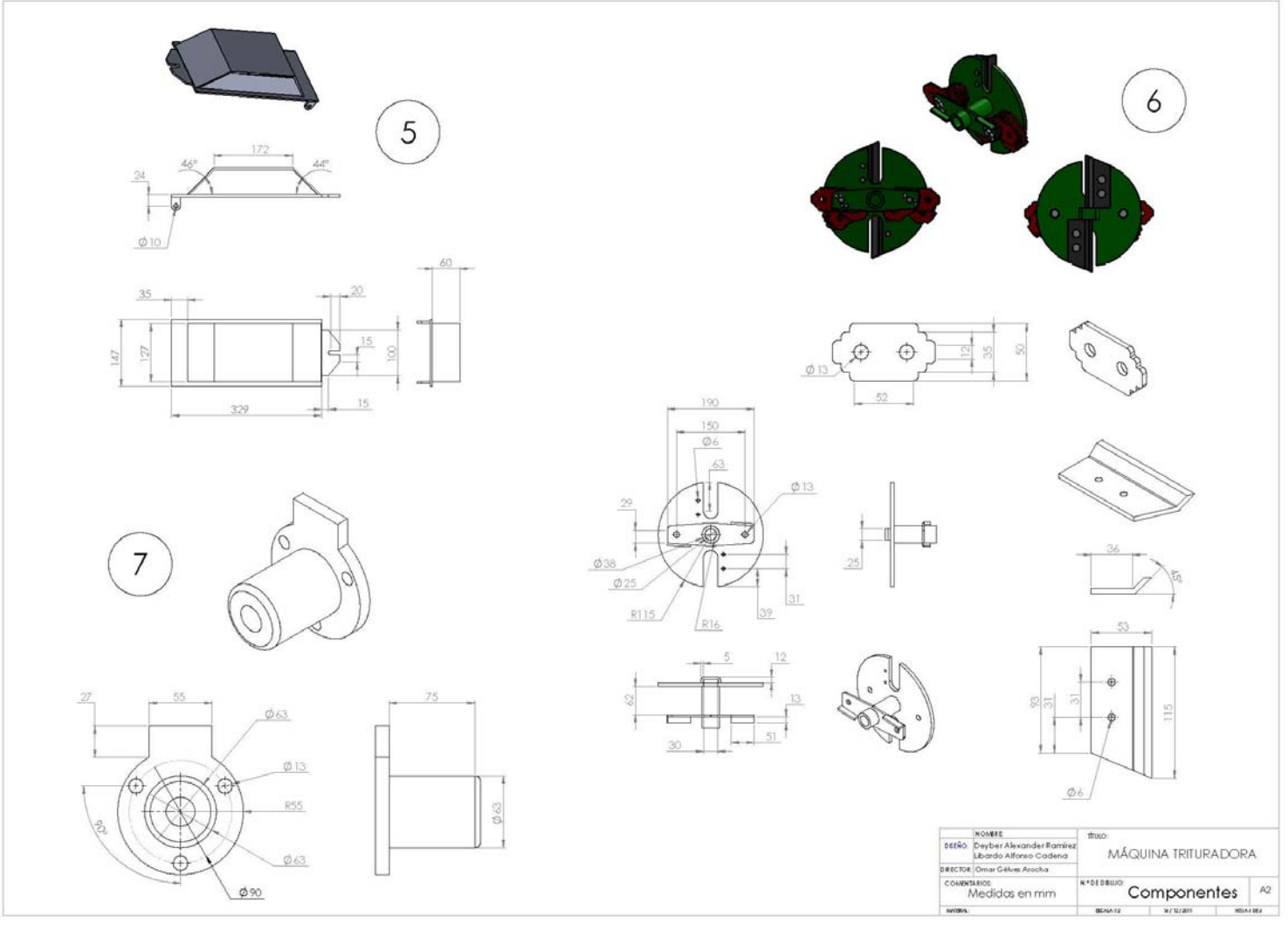


Item	Nombre pieza	Descripción
1	Estructura	Ángulo 1 1/2" x 1/8"
2	Base	Lámina HR 3/16"
3	Canal de entrada	Lámina HR 3/16"
4	Canal de salida	Lámina HR 3/16"
5	Tapa superior	Lámina HR 3/16"
6	Sistema de corte	Aceero 1045 Lámina HR 3/16"
7	Soporte principal	Aceero 1045
8	Eje	Aceero 1020
9	Buje	Bronce
10	Contrapeso y polea	Aceero 1045
11	Arandaja de sujeción	Lámina HR 1/8"
12	Tornillería	1/4" x 1/2"
13	Correa	2 correas de 1/2" x 1 m
14	Tornillería	1/4" x 1"
15	Tornillería	3/4" x 1"
16	Tornillería	3/8" x 3/4"
17	Tornillería	1/2" x 1"

NOMBRE		DESCRIPCIÓN	
MÁQUINA		MÁQUINA TRIFURADORA	
FECHA:	01/01/2011	ESTADO:	DE DISEÑO
REVISIÓN:	01	FECHA:	01/01/2011







NOMBRE		TÍTULO	
DISEÑO: Dreyber Alexander Ramirez Luisa Alfaro Cadena		MÁQUINA TRITURADORA	
DIRECTOR: Omar Galvez Ancocha		N.º DE DIBUJO: Componentes	
COMENTARIOS: Medidas en mm		A2	
NOTA:	REVISIÓN	FECHA	HOJA

