



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

“CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE BRIQUETAS DE  
ASERRÍN”

## **INFORME TÉCNICO**

**AUTOR:** CÉSAR SEBASTIAN ESPINOSA SILVA

**DIRECTOR:** ING. ZAMIR MERA

IBARRA – ECUADOR

2016

# Construcción de una Máquina de Briquetas de Aserrín

Cesar Sebastián Espinosa Silva

<sup>1</sup> Carrera de Mecatrónica, FICA, Universidad Técnica del Norte, Av. 17 de Julio, Ibarra, Ecuador

[espinosa.sebastian91@gmail.com](mailto:espinosa.sebastian91@gmail.com)

**Resumen.** El presente proyecto describe el diseño y construcción de una máquina briqueteadora de aserrín, con la cual se puede reutilizar un desecho maderero, que contamina nuestro ambiente, mediante la fabricación de briquetas. Para la construcción de la máquina es indispensable conocer las características de la materia prima a utilizar, así como las diferentes maneras de compactar y aglutinar biomasa; una vez establecidos estos parámetros se procede a diseñar las diferentes partes que conforman la máquina, posteriormente se realiza las simulaciones antes de la construcción de las partes. Se realiza las instalaciones eléctricas y la implementación del sistema de control y corte, finalmente se realizan las pruebas del correcto funcionamiento de la máquina con la cual se comenzará a fabricar briquetas.

## Palabras Clave

Briqueteadora, aserrín, briquetas.

**Abstract** This project describes the design and construction of a sawdust briquetting machine, with which you can reuse a timber waste pollutes our environment by briquetting. For the construction of the machine it is essential to know the characteristics of the raw material used and the different ways to compact and bind biomass; once established these parameters proceeds to design the different parts that make up the machine, then the simulations performed before the construction of the parts. electrical installations and the implementation of the control system and cutting is done, finally testing the correct operation of the machine with which it began or manufacture briquettes are made.

## Keywords

Briquetting, sawdust, briquettes.

## 1. Introducción

Uno de los problemas que ha enfrentado nuestra sociedad en los últimos tiempos es la generación excesiva de desechos, los cuales causan la contaminación del medio ambiente por la inconciencia de los seres humanos al no

manejar de una mejor forma dichos desechos y arrojarlos de manera indiscriminada hacia el medio ambiente.

La gran cantidad de madera que es utilizada hoy en día por parte de las industrias madereras como aserraderos, fábrica de muebles o carpinterías, generan gran cantidad de aserrín, material considerado como desecho, el cual se convierte en un problema tanto para las industrias, los trabajadores y el medio ambiente si es arrojado de manera inadecuada, por lo que es necesario implementar maquinaria apropiada para reutilizar dichos desechos. En la actualidad la utilización de los residuos forestales tiene un alto grado de desaprovechamiento. El aserrín, viruta, se almacena en grandes espacios físicos, sin poseer un mayor valor agregado o alcanzar una eficiencia energética mayor. [1]

La construcción de una maquina briqueteadora de aserrín permitirá innovar y contribuir con un mejor manejo de los desechos madereros, se aprovechará de mejor manera estos residuos, mediante la fabricación de briquetas de aserrín.

## 2. Materiales y Métodos

### 2.1. Materia prima

La materia prima que se utiliza para la fabricación de briquetas es el aserrín de madera. El serrín o aserrín es el desperdicio del proceso de serrado de la madera, como el que se produce en los aserraderos. La siguiente tabla muestra las propiedades que tiene el aserrín. [2]

Parámetro	Unidades	Valor
Densidad	$\left[\frac{kg}{m^3}\right]$	200 - 350
Calor específico	$\left[\frac{J}{kg \cdot K}\right]$	1400
Conductividad térmica	$\left[\frac{W}{m \cdot K}\right]$	0,05

Tabla. 1. Propiedades del aserrín

## 2.2 Tecnologías de compactación

Las tecnologías analizadas para la fabricación de briquetas son las siguientes:

**BRIQUETEADORAS DE PISTÓN.** Su funcionamiento se basa en el golpeo de un pistón por medio de un volante de inercia sobre la materia prima. Es una máquina de alta presión de compactación. Las densidades de briquetas conseguidas suelen estar entre 1.000 y 1.200 kg/m<sup>3</sup>.

**BRIQUETEADORAS DE TORNILLO.** El proceso se basa en la presión ejercida sobre la materia prima por medio de un tornillo sin fin fabricado de un material especial, este gira a una cierta velocidad haciendo avanzar el material hasta una cámara donde se reduce gradualmente en forma cónica. Mediante este proceso se puede obtener briquetas de mayor densidad que el método por impacto alcanzando densidades de aproximadamente 1000 a 1400 kg/m<sup>3</sup>.

**BRIQUETEADORAS HIDRAULICAS O NEUMATICAS.** La presión en este tipo de máquinas es producida por varios pistones a la vez 1,2 o 3, que son accionados por sistemas hidráulicos o neumáticos. La densidad alcanzada es de 700 a 800 kg/m<sup>3</sup> o en ocasiones hasta 900 a 1000 kg/m<sup>3</sup>.

**BRIQUETEADORAS DE RODILLOS.** Este tipo de máquinas están dotados por dos rodillos, en la superficie de los mismos se encuentran una serie de rebajes donde se aloja el material a ser compactado, quedando comprimido por la acción del otro rodillo. La compactación del material se lo hace con la ayuda de algún aglutinante

Para la selección de la mejor alternativa de compactación se utiliza el método de ordinal corregido de criterios ponderados de Charles Riva [3]. Después de este análisis y de parámetros que se desea conseguir la mejor alternativa es la briqueteadora de tornillo.

### 2.3 Diseño del tornillo compactador.

Las máquinas briqueteadoras tipo extrusor constan de un tornillo compactador. Los parámetros más importantes a considerar dentro del diseño del tornillo son la longitud, el diámetro, el ángulo del filete y el paso de la rosca. [4].

**PRODUCCION DEL TORNILLO.** Tomando como diámetro del tornillo D=0,07 m y profundidad del canal h = 0,01 m y el paso de 0,036 m. La producción es indicada en flujo volumétrico (Q), la cual está compuesta por tres tipos

de flujos. El flujo de arrastre, que es el mayor de los tres producido por el arrastre del material. El flujo de presión, es aquel que se opone al flujo del sistema, es decir es el flujo de retorno. El flujo de filtración, es aquel que reduce la producción debido a las pérdidas del material que se produce en la holgura ente el cilindro y el tornillo. Dicho flujo se determina con la siguiente ecuación.

$$Q = \left( \frac{\alpha * K}{K + \gamma + \beta} \right) n \quad (1)$$

Donde:  $\alpha$ = flujo de arrastre [m<sup>3</sup>],  $\beta$ = flujo de presión [m<sup>3</sup>],  $\gamma$ = flujo de filtración [m<sup>3</sup>], K= forma geométrica de la boquilla [m<sup>3</sup>], n= revoluciones por minuto [rpm].

Flujo de arrastre. Se determina mediante.

$$\alpha = \frac{\pi * m * D * h * \left( \frac{t}{m} - e \right) * \cos(\varphi^2)}{2} \quad (2)$$

Donde D= diámetro del tornillo, h= profundidad del canal, m= número de canales del filete, t= paso de la rosca, e= espesor del filete,  $\varphi$ = ángulo de la hélice.

Flujo de presión. Se determina mediante

$$\beta = \frac{m * h^3 * \left( \frac{t}{m} - e \right) * \sin(\varphi) * \cos(\varphi)}{12 * L} \quad (3)$$

Donde L= longitud del tornillo.

Flujo de pérdidas. Se determina mediante.

$$\gamma = \frac{\pi^2 * D^2 * H^3 * \tan(\varphi)}{10 * e * L} \quad (4)$$

Forma geométrica de la boquilla. Para una boquilla cónica se determina mediante.

$$K = \frac{3 * \pi * d1^3 * d2^3}{128 * l * (d1^2 + d1 * d2 + d2^2)} \quad (5)$$

Donde d1= diámetro ingreso del material, d2= diámetro salida del material, l= longitud de la boquilla.

Obteniendo los resultados respectivos la producción volumétrica del tornillo es.

$$Q = 83,04 \frac{Kg}{hr}$$

### 2.4 Cálculo de la potencia del motor

Este cálculo se realizará en base a la producción del tornillo y la presión de compactación mediante la siguiente expresión.

$$P_o = P * Q \quad (6)$$

Donde P= presión de la máquina, Q= flujo volumétrico.

Según el documento publicado por la FAO [5], manifiesta que la presión de briqueteado de la máquina va desde los 60 MPa hasta los 100MPa.

$$P_o = 8,80 \text{ KW}$$

CORRECIÓN DE LA POTENCIA

PÉRDIDAS POR INSTALACIONES ELÉCTRICAS.

Se origina entre la potencia que recibe la línea de origen y la que entrega al final.

$$Z_e = 0,015 * P_o \tag{7}$$

PÉRDIDAS EN MOTORES Y GENERADORES

Se generan por un incorrecto pre encendido.

$$Z_m = 0,05 * P_o \tag{8}$$

La potencia corregida del motor es.

$$P_c = 9,37 \text{ KW}$$

2.5 Sistema de transmisión de potencia

Se seleccionó el sistema de bandas en V, debido a su gran flexibilidad, mínimo mantenimiento, buena elasticidad, bajo costo de adquisición, disponibilidad en el mercado; además evitarán que el tornillo sufra daños si se origina una sobrecarga, ocasionando que las bandas patinen sobre las poleas.

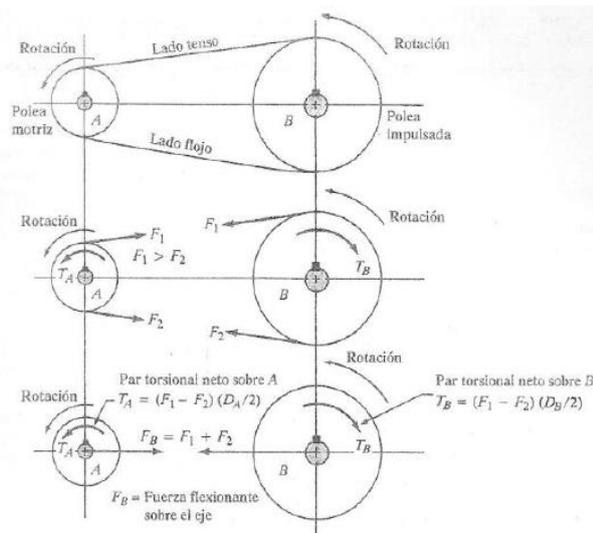


Figura. 1. Transmisión de potencia por poleas.

En la figura 1 se muestran las fuerzas que actúan sobre las poleas. Para el cálculo del torque en la polea conductora se emplea la siguiente ecuación.

$$T_a = \frac{9550 * P_m}{v_m} \tag{9}$$

Donde \$P\_m\$= potencia del motor, \$v\_m\$= velocidad del motor.

$$T_a = 61,04 \text{ Nm}$$

Para el cálculo del torque en la polea conducida se emplea la siguiente ecuación.

$$T_b = (F_1 - F_2) * \left(\frac{D_2}{2}\right) \tag{10}$$

Donde \$D\_2\$= diámetro polea conducida, \$F\_1\$ y \$F\_2\$= fuerzas en las poleas.

$$T_b = 485,52 \text{ Nm}$$

Para el cálculo de la fuerza flexionante se emplea la siguiente ecuación.

$$F_B = \frac{1.5 * T}{\frac{D}{2}} \tag{11}$$

Donde T= torque, D= diámetro.

$$F_B = 1602 \text{ N}$$

2.6 Diseño del eje de transmisión.

El eje de transmisión es el encargado de transmitir la potencia desde la polea conducida hasta el tornillo compactador

La siguiente figura muestra la configuración del eje.

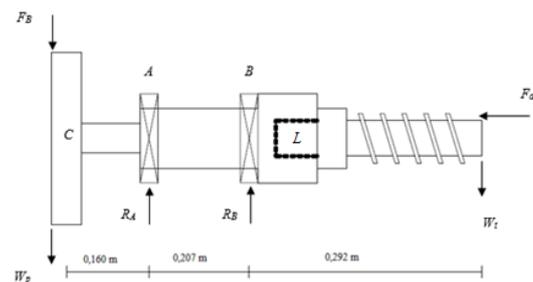


Figura. 2. Configuración eje.

Para determinar los diámetros del eje se lo realizara aplicando la teoría de falla de Goodman, mediante la siguiente ecuación. [6]

$$d = \left(\frac{16N}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} \left[ 4(k_f M_a)^2 + 3(k_{fs} T_a)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{S_u} \left[ 4(k_f M_m)^2 + 3(k_{fs} T_m)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} \right)^{\frac{1}{3}} \tag{12}$$

Donde  $k_f$  = factor de concentración de esfuerzo por fatiga para el momento,  $M_a$  = momento alternante,  $k_{fs}$  = factor de concentración de esfuerzo por fatiga para la torsión,  $T_a$  = par de torsión alternante,  $M_m$  = momento medio,  $T_a$  = par de torsión medio.

La siguiente tabla muestra los diámetros obtenidos y los diámetros de seleccionados.

Ubicación	Número de diámetro	Diámetro de diseño	Diámetro seleccionado
		[m]	[m]
Polea	$d_1$	0,0429	0.045
Rodamiento A	$d_2$	0,0532	0.065
Rodamiento B	$d_3$	0,044	0.065

Tabla. 2. Valores de los diámetros.

## 2.7 Diseño del cilindro.

Para determinar el diámetro exterior del cilindro, se debe calcular el espesor que tendrá este. Para calcular el espesor se realiza el análisis como un cilindro de pared gruesa ya que en su interior debe soportar una alta presión.

$$t = \frac{D}{2} \left( \sqrt{\frac{2P}{\sigma_{di} - 2P}} - 1 \right) \quad (13)$$

Donde D = diámetro interno, P = presión,  $\sigma_{di}$  = esfuerzo de diseño

$$t = 0.0135 \text{ m}$$

Una vez obtenido el espesor se comprueba que sea un cilindro de pared gruesa con la siguiente relación.

$$\frac{D}{t} < 10$$

$$5,38 < 10$$

## 2.8 Incremento de la energía interna de la materia prima

Es preciso determinar la cantidad de energía necesaria para elevar la materia prima a la temperatura deseada.

$$E_{ag} = \frac{dm}{dt} c p_m (T_{sa} - T_a) \quad (14)$$

Donde  $E_{ag}$  = cantidad de calor agregado,  $d_m/d_t$  = flujo másico,  $c p_m$  = calor específico de la materia prima,  $T_{sa}$  = temperatura de la materia prima a la salida,  $T_a$  = temperatura ambiente. [7]

$$E_{ag} = 4,04 \text{ kW}$$

La cantidad teórica para elevar la temperatura es de 4,04 kW, para lo cual se selecciona una potencia de 4,5 kW distribuida en tres resistencias.

## 2.9 Análisis por elementos finitos.

Una vez finalizado con el diseño de las partes de la máquina se realiza las simulaciones de las mismas.

TORNILLO. Para realizar la simulación se debe colocar las cargas al tornillo. Durante el proceso de briceteado el tornillo es sometido a cargas tanto axiales como de torsión por el trabajo que realiza.

El análisis de esfuerzos se realiza en el punto crítico del tornillo (en la concentración de esfuerzos por cambio de sección). Las siguientes figuras muestran los resultados obtenidos

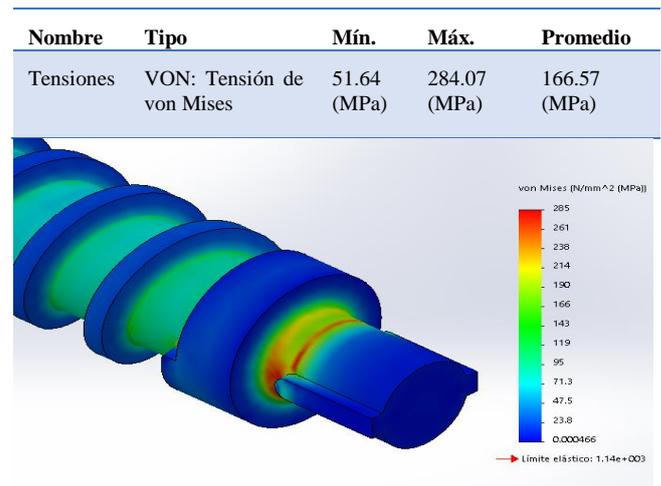


Figura. 3. Esfuerzos del tornillo.

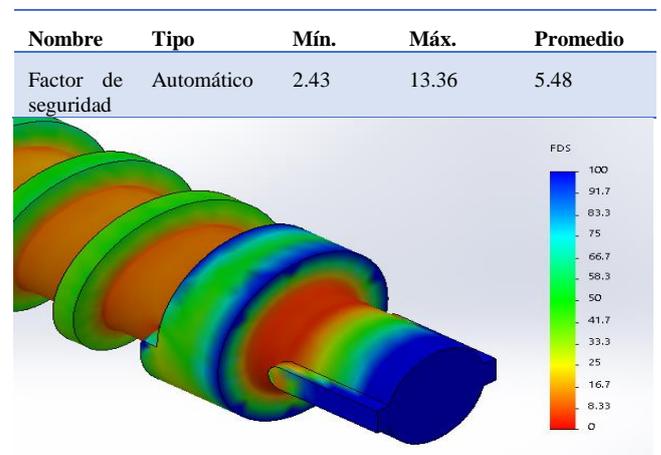
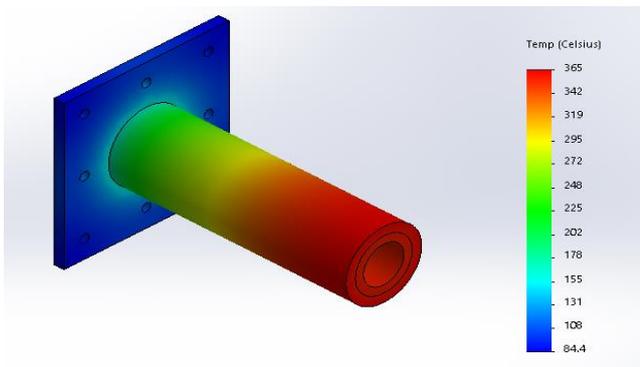


Figura. 4. Factor de seguridad.

Mediante este análisis se obtuvo un esfuerzo promedio de 166.57 MPa y factor de seguridad promedio de 5.48, que es un factor aceptable.

**CILINDRO.** Para la simulación del cilindro se va a realizar en dos partes un análisis estático y un análisis térmico. El análisis térmico se realizó en un estado de régimen transitorio para determinar el incremento de la temperatura según el tiempo

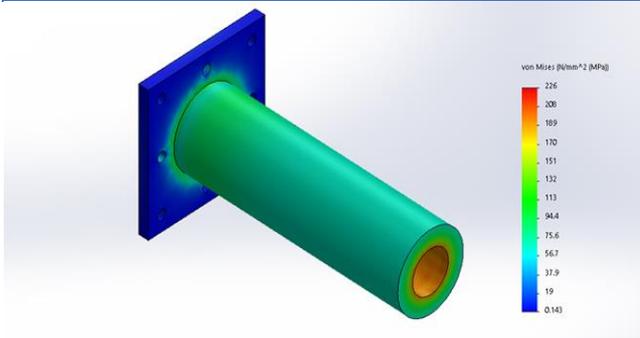


**Figura. 5.** Simulación temperatura del Cilindro t = 930s

Mediante este análisis se obtuvo que transcurridos 930 segundos la temperatura llega al valor deseado.

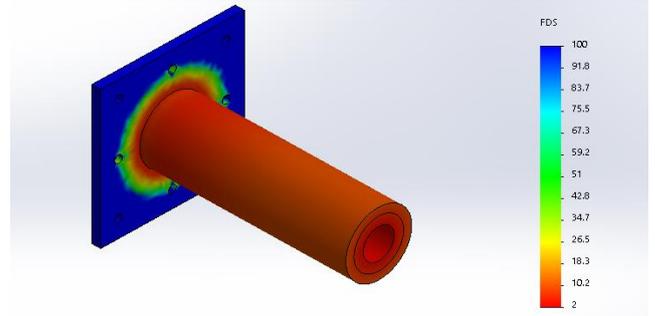
Para el análisis estático del cilindro se aplica la presión que se genera durante el proceso de briquetado. Las siguientes figuras muestran los resultados obtenidos.

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones	VON: Tensión de von Mises	0.00785137 (MPa) Nodo: 3885	227.931 (MPa) Nodo: 13321



**Figura. 6.** Esfuerzos del Cilindro

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad	Automático	2.14977 Nodo: 13321	62409.5 Nodo: 3885



**Figura. 7.** Factor de seguridad del cilindro

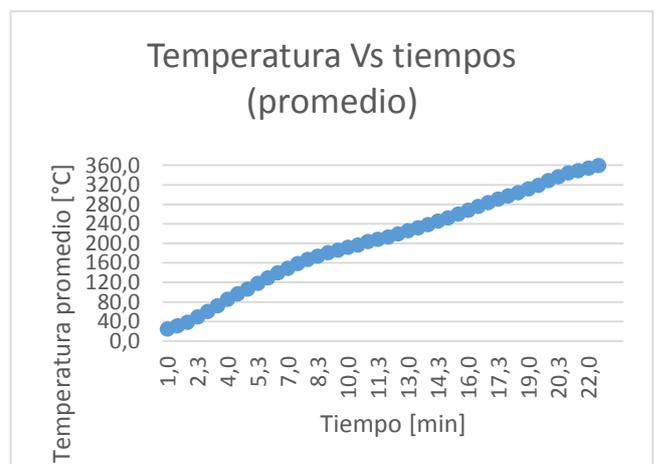
Mediante este análisis se obtuvo un esfuerzo máximo de 227.92 MPa y factor de seguridad promedio de 2.15, que es un factor aceptable.

### 3. Resultados

Los resultados obtenidos luego de realizar las pruebas de funcionamiento de la máquina fueron los siguientes.

#### PRUEBA DE CALENTAMIENTO.

La prueba se realizó tomando el tiempo que tarda en calentarse el cilindro hasta llegar a la temperatura para comenzar con el proceso. El siguiente gráfico muestra los resultados obtenidos



**Figura. 8.** Prueba de calentamiento de la máquina

Como se puede observar en la figura anterior el tiempo que tarda la máquina en alcanzar la temperatura deseado es de aproximadamente 21 minutos.

### PRUEBA DE OBTENCION DE BRIQUETAS.

En esta prueba se determina la densidad final de la briqueta a varias temperaturas. Las pruebas para la obtención de briquetas se las realizaron tomando en cuenta parámetros como temperatura de calentamiento y la densidad de la briqueta. En las siguientes tablas se muestra los resultados obtenidos.

Temperatura [°C]	Densidad promedio [kg/m <sup>3</sup> ]	Observaciones
240	No se pudo determinar	No se forma la briqueta.
260	No se pudo determinar	No se forma la briqueta.
280	1189,848	Se obtiene la briqueta, sale con dificultad con una contextura muy frágil.
300	1182,012	Se obtiene la briqueta, sale con dificultad con una contextura frágil.
320	1179,999	Se obtiene la briqueta, sale con dificultad con una contextura normal.
330	1175,910	Se obtiene la briqueta, sale sin dificultad con una contextura normal.
340	1172,770	Se obtiene la briqueta, sale sin dificultad con una contextura normal.
350	1166,153	Se obtiene la briqueta, sale sin dificultad con una contextura frágil.

**Tabla. 3.** Prueba de obtención de briquetas.

La temperatura adecuada para la fabricación de briquetas se encuentra entre 330 y 340 oC con una densidad de 1175,910, 1172,770 Kg/m<sup>3</sup> respectivamente. Estos valores pueden variar, está en función del tipo madera utilizado para fabricar la briqueta.

### PRUEBA DE PRODUCCIÓN DE LA MÁQUINA

La realización de esta prueba tuvo como objeto determinar la producción de briquetas de la máquina. Esta prueba se realiza midiendo la masa de las briquetas después

de un tiempo determinado (1 hora). La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos.

Número de muestras	Tiempo [hr]	Masa de briquetas [kg]
1	1	82,1
2	1	81,5
3	1	81,8
4	1	81,6
Promedio		81,75

**Tabla. 4.** Producción de la máquina.

La máquina tiene una producción promedio de 81,75 kg/hr; cumpliendo con el alcance de diseño que es de 80 kg/hr.

### PRUEBA DE CORTE.

Las pruebas que se realizaron al sistema de corte fueron para verificar el porcentaje de error que tiene el tamaño final de la briqueta respecto a la distancia deseada: 15 cm. Para esto se tomaron varias briquetas y se prosiguió a realizar la medición de su longitud. La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos.

Número de muestra	Longitud deseada [cm]	Longitud medida [cm]	Porcentaje de error [%]
1	15	15,3	2
2	15	15,5	3.33
3	15	16,5	10
4	15	16,5	10
5	15	16	6.67
6	15	14,5	3.33
7	15	15,8	5.33
8	15	16,5	10
9	15	16	6.67
10	15	14,8	1.33

**Tabla. 5.** Prueba corte briqueta.

El porcentaje de error promedio del sistema de corte de briquetas es del 3,2%, siendo un porcentaje bajo y aceptable.

## Conclusiones

Con la realización del presente trabajo se logró diseñar y construir una máquina briqueteadora de aserrín por extrusión, para la producción de briquetas utilizando como materia prima el desecho maderero aserrín.

El tornillo extrusor fue diseñado para que la máquina tenga una producción de 82 kg/h. Debido a las cargas a las que va estar expuesto el tornillo, el material utilizado para la su construcción es un acero AISI 4140 el cual presenta buenas propiedades de resistencia, desgaste y capacidad de soportar altas temperaturas.

El cilindro fue diseñado para soportar la presión que se genera de 80 MPa al momento de compactar el aserrín y formar las briquetas. El material utilizado para su construcción es el acero 1518 (barra perforada), el cual facilitó su mecanizado.

Con el proceso de briqueteado se logró aumentar la densidad de la materia prima de  $215 \text{ kg/m}^3$  a  $1162,63 \text{ Kg/m}^3$  mediante la elaboración de briquetas de aserrín.

Mediante la fabricación de briquetas se pudo dar un mejor uso al desperdicio de las industrias madereras, el aserrín de madera, mediante el reciclaje, además de obtener un producto con mejores características.

## Referencias Bibliográficas

- [1] Soto, G., & Nuñez, M. (s.f.). SciElo. Obtenido de [http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-221X2008000200005&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-221X2008000200005&script=sci_arttext)
- [2] Ahn, H., Sauer, T., Richard, T., & Glanville, T. D. (2009). Determination of thermal properties of composting
- [3] Riva, C. (2002). *Diseño concurrente*.
- [4] Savgorodny, V. K. (s.f.). *Transformación de plasticos*. Barcelona: Gustavo Gili.
- [5] Departamento de Montes. (s.f.). *Depositos de documentos de la FAO*. Obtenido de Conservación de energía en las industrias mecánicas forestales : <http://www.fao.org/docrep/t0269s/t0269S10.htm>
- [6] Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. McGraw-Hill.
- [7] Cengel, Y. A. (2009). *Transferencia de calor*. Mexico: McGraw-Hill.

## Autor

**Autor-Cesar Sebastián Espinosa Silva.** Realizó sus estudios primarios en la escuela particular Madre Teresa Bacq. Sus estudios secundarios los realizó en el colegio Salesiano Sánchez y Cifuentes en la especialidad de Físico Matemático obteniendo el mérito de segundo escolta del pabellón Nacional. Actualmente es egresado de la Universidad Técnica del Norte de la Carrera de Ingeniería Mecatrónica. Áreas de interés: diseño mecánico, robótica, electrónica y automatización de procesos.