

# Propuesta de máquina enfardadora para realizar material de construcción a partir de desecho agroindustrial

## Proposal for a baler machine to make construction material from agro-industrial waste

EÍDOS N°20  
Revista Científica de Arquitectura y Urbanismo  
ISSN: 1390-5007  
revistas.ute.edu.ec/index.php/eidos

**<sup>1</sup>Henry Anderson Ramos Rodriguez, <sup>2</sup>Luisa Paulina Viera Arroba**

<sup>1</sup>Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, haramos3@espe.edu.ec,  
ORCID: 0000-0001-8981-6345,

<sup>2</sup>Universidad Central del Ecuador / Universitat Politècnica de València, lviera@uce.edu.ec,  
ORCID: 0000-0003-0434-7979

### Resumen:

En virtud de la crisis climática y energética que atraviesa el planeta, en la actualidad existe la tendencia de construir con materiales sostenibles de baja toxicidad y que sean eficientes en cuanto a propiedades termoacústicas. La paja es uno de estos materiales, proviene del cultivo de cereales y se la obtiene como desecho de este proceso agroindustrial. Para utilizar la paja en la edificación es necesario enfardarla mediante el uso de máquinas mecánicas que no siempre están disponibles en la zona rural del Ecuador, ya sea por dificultades geográficas o por razones económicas. Este estudio propone el diseño de una máquina manual con la cual se han elaborado fardos con paja de arroz de producción nacional. Estos fardos cumplen requerimientos técnicos de la normativa Internacional Americana IRC 2018. Con esto se pretende contribuir al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo (ODS) y a brindar alternativas para cubrir el déficit de vivienda en el sector rural donde se produce cereales como el arroz y el trigo.

### Abstract:

*Due to the climate and energy crisis that the planet is going through, there is currently a trend to build with sustainable materials that are low in toxicity and efficient in terms of thermo-acoustic properties. Straw is one of these materials that comes from the cultivation of cereals and is obtained as waste from this agro-industrial process. In order to use straw in buildings, it is necessary to bale it using mechanical machines that are not always available in rural areas of Ecuador, either due to geographic or economic difficulties. This study proposes the design of a manual machine with which bales of domestically produced rice straw have been made. These bales meet the technical requirements of the American International Standard IRC 2018. This is intended to contribute to the fulfillment of the SDGs and to provide alternatives to cover the housing deficit in the rural sector where cereals such as rice and wheat are produced.*

Palabras clave: construcción, Ecuador, enfardadora, fardos, paja, rural.

Keywords: Construction, Ecuador, Baler, Bales, Straw, Rural.

## 1. INTRODUCCIÓN

Gran cantidad de materiales de construcción presentan algún tipo de toxicidad. Así, pueden ser tóxicos para el medioambiente durante la etapa de producción o también pueden contaminar el aire interior de la edificación, al liberar humos tóxicos durante incendios, o simplemente envenenar el agua potable. (Pacheco-Torgal y Jalali, 2011).

Adicionalmente, alrededor del 90 % de los materiales utilizados para el aislamiento termoacústico de las edificaciones son productos sintéticos, cuyos procesos de fabricación requieren grandes cantidades de recursos no renovables y generan una serie de emisiones de gases de efecto invernadero (Gellert, 2010).

Los hallazgos sugieren que la selección de materiales de construcción basados en su desempeño en la salud y el medioambiente debe ser considerada como uno de los pasos más esenciales para lograr los ODS (Omer y Noguchi, 2020).

Según el informe World Green Building Trends 2018 de Dodge Data and Analytics, la construcción ecológica es oficialmente una “tendencia global” y la conservación de la energía es una prioridad principal para las personas de todo el planeta (EcoHabitar, 2019) (López Altuna y Iborra Lucas, 2015).

Se pueden disminuir las emisiones contaminantes recurriendo a materiales naturales, especialmente mediante la reutilización de subproductos de la producción agrícola, como la paja. Los materiales de base biológica son una de las opciones más sostenibles en lo que respecta a las emisiones de CO<sub>2</sub>, ya que actúan como sumideros de carbono a lo largo de la vida del edificio (Cascone et al., 2019).

Además, la construcción con paja ofrece soluciones tangibles para la creación de edificios duraderos de alto rendimiento, puesto que proporciona un confort acústico y térmico superior (Viera et al., 2021) (Up Straw, 2020) (Chaussinanda et al., 2015). La paja o tamo, que puede

ser utilizada para propósitos constructivos, es el desecho de la cosecha de cereales como el trigo, el arroz o la cebada (Liuzzi et al., 2017) (Nitzkin y Termens, 2016).

En Ecuador, en el año 2020 se sembraron 6880 ha de trigo. Eso permitió una cosecha de 14 647 t, según datos del INEC (MAGAP, 2022). El resultado es el más alto que ha alcanzado el país desde el año 2002 (Benalcázar, 2021). Así mismo, existen en el país más de 1 971 206 ha sembradas de arroz (Sánchez et al., 2020) y un total de 1464 ha de cebada, distribuidas en la Sierra central (Ministerio de Agricultura y Ganadería de Ecuador, 2019). Por cada hectárea de siembra, se puede obtener entre 2.69 y 3.5 t de paja (Lee y Grove, 2005). Evidentemente, con la producción nacional se tiene gran cantidad de este desecho que podría ser integrado a una cadena de valor como material de construcción.

En algunos sitios, para facilitar el almacenamiento de la paja (especialmente la de trigo y cebada) se comprime en bloques rectangulares, conocidos con el nombre de fardos o balas, mediante máquinas que son movidas por tractores. (Viera et al., 2020). Estos fardos se utilizan principalmente como alimento de animales, aun cuando no tienen valor nutricional (Jenkins Swan et al., 2011). También en muchos sitios del Ecuador, la paja se quema dado que por la topografía del terreno se dificulta el ingreso de las enfardadoras (Viera et al., 2019).

El uso de los fardos de paja como material de construcción está condicionado en requisitos de su densidad, dimensiones y contenido de humedad (Walker et al., 2020) (Jenkins Swan et al., 2011) (Whitman, n. d.). Es así, que el objetivo de este trabajo es proponer la implementación de una máquina que pueda ser utilizada para realizar los fardos, aun cuando las condiciones geográficas o económicas dificulten el uso de otro tipo de equipos mecánicos. Esto facilitaría la introducción de este material de construcción sustentable, eficiente y saludable, sobre todo en las zonas rurales del Ecuador donde hay producción de cereales. Teniendo en cuenta que según datos del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) el déficit de vivienda en

el sector rural suma 378 859 unidades que se consideran irrecuperables y 703 553 que podrían ser reparadas para ser consideradas con calidad adecuada para ser habitadas (Torres, 2021).

Los fardos obtenidos con la enfardadora realizada para esta investigación son adecuados para la edificación sustentable según la normativa americana IRC 2018, contribuyendo así no solo a la consecución de los ODS sino a que existan alternativas a los materiales de construcción tradicionales que requieren altas demandas energéticas para su producción.

## 2. MATERIALES Y METODOLOGÍA

Para la construcción de la máquina enfardadora se estableció primeramente las dimensiones de los fardos a fabricar, según Minke y Mahlke (2016) estas dimensiones pueden ser variables y dependen principalmente del tamaño del tallo de la paja, configuración y distribución de espacios de la vivienda que se requiere construir. Sin embargo, el alto de los fardos varía entre 32 a 35 cm, su ancho entre 45 y 50 cm y su largo entre 50 a 120 cm (Nitzkin y Termens, 2016) (Minke y Mahlke, 2006). Entre las características principales que deben tener los fardos está la densidad, la cual debe oscilar entre 80 a 120 kg/m<sup>3</sup>, y depende principalmente de la presión que ejerce el sistema de compresión de la enfardadora sobre la paja (Cascone et al., 2019) (King, 2006).

Al no existir una norma nacional que estandarice estas dimensiones y con la finalidad de obtener un fardo que sea fácilmente manipulable, que no requiera de mayores costos de operación, se estableció un ancho de 45 cm, largo de 90 cm y alto de 35 cm, estas dimensiones se encuentran dentro de las especificadas en el Código Residencial Internacional (IRC) en su apéndice S, construcción con paja. (Appendix S: Strawbale Construction, 2018). Los materiales que se utilizaron para la construcción de la estructura de la máquina se establecen en la tabla 1.

Los materiales que conforman la enfardadora en un 90 % corresponde a madera. Para la selección del espesor del tablero contrachapado (tríplex) se optó

por pedir recomendaciones, opiniones, a carpinteros que tienen suficiente experiencia elaborando objetos sometidos a presión con este material. Por lo tanto, se utilizó un espesor de 12 mm con la finalidad de evitar deformaciones en las caras de la máquina durante el proceso de enfardado. La enfardadora manual está conformada por un cajón rectangular donde se da forma a la paja como se indica en la figura 1.

Este cajón está conformado por dos tapas laterales de 150 cm de largo

MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD
TABLÓN DE LAUREL 240 x 22.5 x 6 cm	u	3
TABLERO TRIPLEX 122 x 244 x 1.8 cm	u	3
TIRAS DE MADERA 600 x 6 x 2 cm	u	1
TIRAS DE MADERA 600 x 6 x 2 cm	u	2
BISAGRA DE BRONCE 3"	u	3
PLACA DE ACERO INFERIOR DE LA BASE A36 200 x 100 x 2 mm	u	1
PLACA DE ACERO SUPERIOR DE LA BASE A36 200 x 100 x 5 mm	u	1
PLACA DE ACERO 1 PANEL DE COMPRESIÓN A36 200 x 100 x 2 mm	u	1
PLACA DE ACERO 2 PANEL DE COMPRESIÓN A36 200 x 100 x 5 mm	u	1
PERNO NEGRO CABEZA HEXAGONAL CON TUERCA 3"	u	3
PERNO NEGRO CABEZA HEXAGONAL CON TUERCA 3"	u	1
PERNO NEGRO CABEZA HEXAGONAL CON TUERCA 2 1/2 "	u	14
RODELA PLANA 1"	u	4
RODELA PLANA 1 1/2"	u	10
TORNILLO NEGRO MADERA 2 1/2"	u	70
CLAVOS DE ACERO LISO 1/2"	kg	1
SEGUROS DE ACERO	u	2
PEGAMENTO P/ MADERA CARPINTERO 16 OZ	u	1

Tabla 1. Materiales utilizados para la fabricación de máquina enfardadora manual  
Fuente: Elaborado por los investigadores

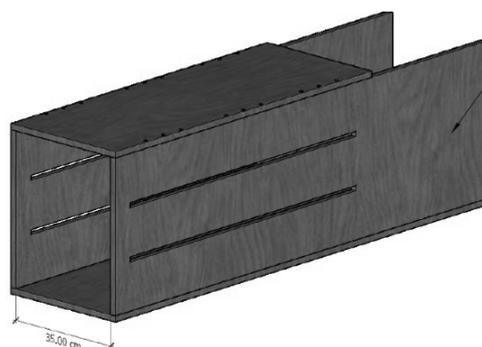


Figura 1. Cajón principal de compresión de paja  
Fuente: Elaborado por los investigadores

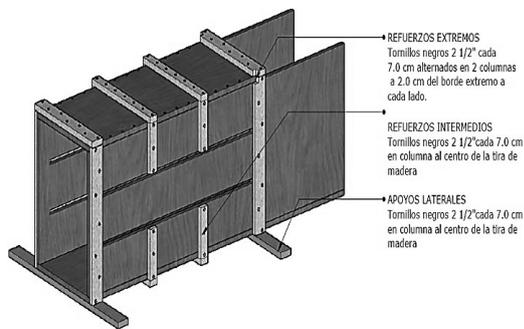


Figura 2. Reforzamiento cajón principal de compresión de paja. Fuente: Elaborado por los investigadores

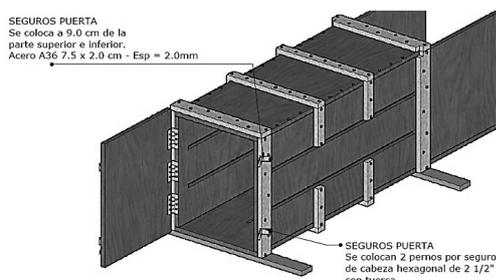


Figura 3. Puerta y seguros máquina enfardadora. Fuente: Elaborado por los investigadores

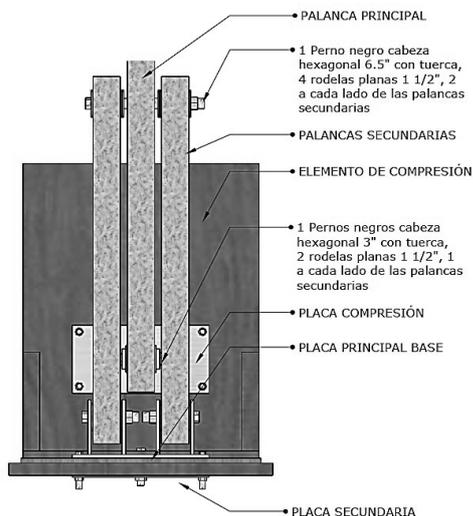


Figura 4. Sistema de compresión de máquina enfardadora. Fuente: Elaborado por los investigadores

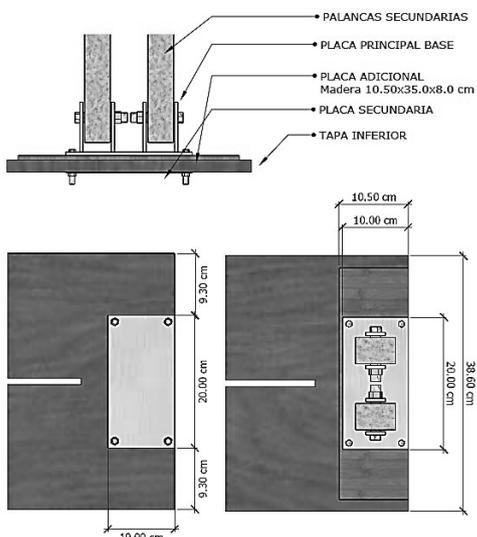


Figura 5. Vista superior y frontal del sistema a compresión enfardador manual. Fuente: Elaborado por los investigadores

por 45 cm de alto. En estas se realizaron 2 aberturas a lo largo cada 15 cm, con la finalidad de introducir los hilos e impedir que el fardo se desarme. La tapa superior mide 102 cm de largo por 38.60 cm de ancho, mientras que la tapa inferior mide 150 cm de largo por 38.60 cm de ancho. Además, cuenta con una abertura central que sirve como guía para el movimiento a la placa de compresión. Debido a que este cajón es sometido a presión, se realiza un reforzamiento en su parte intermedia y extrema. Además, se colocan apoyos laterales para evitar el volcamiento de la máquina como se indica en la figura 2.

En la parte frontal de la caja de compresión se coloca una puerta que mide 38.60 cm de ancho por 50 cm de altura, esta es colocada con bisagras de bronce de 3" separadas cada 5.25 cm, con el objetivo de evitar que la puerta falle al momento que la paja ejerza presión sobre esta. Adicionalmente, se colocan dos seguros laterales de 9 cm, tanto en la parte superior como inferior de la puerta. Como se indica en la figura 3, la puerta se abre para extraer el bloque de paja comprimido una vez que se hayan colocado los hilos y se obtenga la mayor presión que permita comprimir la paja.

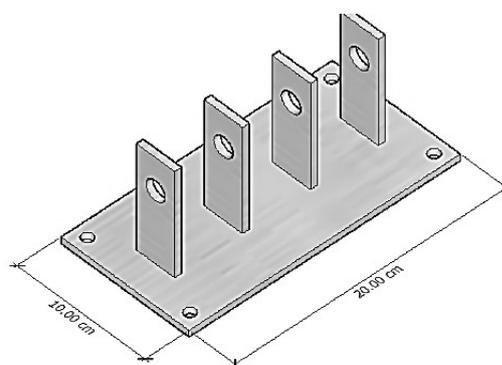
La paja se introduce en diferentes proporciones por la parte superior del cajón donde se dejó una abertura. La compactación del fardo se logra mediante un sistema a presión compuesto por una palanca principal que mide 160 cm de largo y 2 secundarias que miden 54 cm de largo cada una y que mueven la placa a compresión de madera que comprime la paja, dando forma al prisma rectangular. Este sistema es unido monóticamente mediante pernos y placas metálicas como se indica en la figura 4.

Las secciones de las palancas de compresión son de 4.00 cm por 6.00 cm. El elemento de compresión mide 34.50 cm por 44.00 cm de alto, en este es colocado una placa metálica donde se sujeta la palanca principal de compresión. Mientras que la otra placa metálica se fija en la tapa inferior de madera y en esta se sujetan las dos palancas secundarias, el sistema en conjunto se puede apreciar en la figura 5.

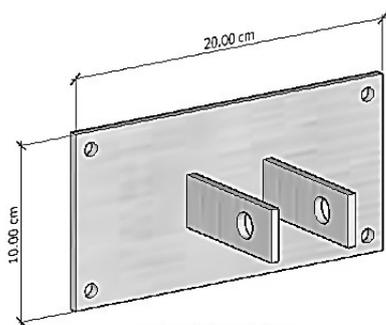
Las placas metálicas que sujetan las palancas secundarias y que se fijan en el panel de compresión con la palanca principal deben ser soldadas, esto con la finalidad de evitar fallas en la misma debido a la presión que se ejerce sobre estas, adicionalmente requieren de un espesor considerable para evitar ser dobladas cuando sean sometidas a la mayor fuerza posible por el operador de la máquina, sus dimensiones y forma se indica en la figura 6.

Finalmente, una vez realizado el montaje tanto del cajón donde se introduce la paja, puerta, sistema a compresión se logra verificar el funcionamiento de la misma. Como resumen de su elaboración tanto como sus materiales y partes de la misma se ha realizado el esquema general resultante de la máquina enfardadora construida y que se indica en la figura 7.

En la tabla 2 se señala cada uno de los elementos que forman parte de la máquina enfardadora y del material que lo componen, para complementar la investigación también se indica la cantidad de material necesario para fabricar esta enfardadora manual y cumplir el objetivo de crear materiales de construcción o



PLACA PRINCIPAL BASE 3D  
ACERO A36 - Esp = 5.0 mm



PLACA COMPRESIÓN 3D  
ACERO A36 - Esp = 5.0 mm

Figura 6. Placas metálicas del sistema a compresión  
Fuente: Elaborado por los investigadores

bloques de paja con dimensiones de 45 cm de ancho, 35 cm de altura y 90 cm de largo.

Una vez construida la máquina enfardadora para la fabricación de los fardos es necesario verificar que la puerta principal esté cerrada. Posteriormente, colocar la paja de manera vertical con el objetivo de que la misma quede perpendicular a las guías laterales por donde se debe de pasar los hilos, como se indica en la figura 8.

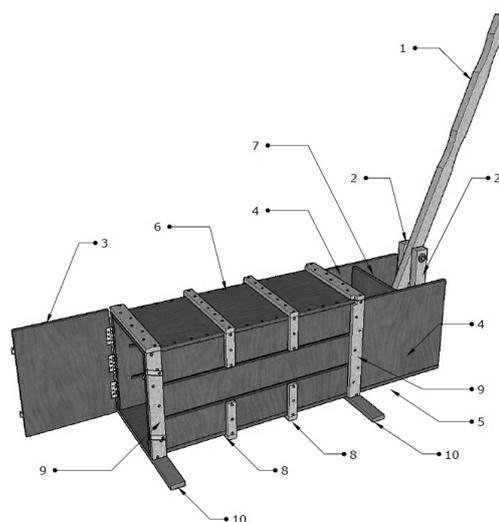


Figura 7. Máquina enfardadora vista 3D  
Fuente: Elaborado por los investigadores

MATERIALES UTILIZADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE ENFARDORA MANUAL EN MADERA				
NUMERACIÓN	ELEMENTO	MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD
1	PALANCA PRINCIPAL	TABLÓN DE LAUREL	u	3
2	PALANCAS SECUNDARIAS	240 x 22.5 x 6 cm		
3	PUERTA PRINCIPAL			
4	TAPAS LATERALES	TABLERO TRIPLEX 122		
5	TAPA INFERIOR	x 244 x 1.8 cm	u	3
6	TAPA SUPERIOR			
7	ELEMENTO DE COMPRESIÓN			
8	REFUERZOS INTERMEDIOS	TIRAS DE MADERA 600	u	1
9	REFUERZOS EXTREMOS	TIRAS DE MADERA 600	u	
10	APOYOS LATERALES	x 6 x 2 cm	u	2

Tabla 2. Materiales utilizados para fabricación de enfardadora manual  
Fuente: Elaborado por los investigadores



Figura 8. Colocación de la paja en el cajón de compresión  
Fuente: Elaborado por los investigadores



Figura 9. Compresión de la primera capa de paja introducida en el cajón principal  
Fuente: Elaborado por los investigadores



Figura 10. Insertado de los hilos por las guías de la máquina enfardadora  
Fuente: Elaborado por los investigadores

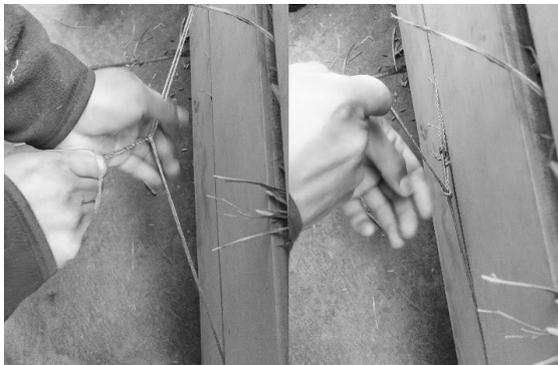


Figura 11. Nudos realizados para cada fardo  
Fuente: Elaborado por los investigadores



Figura 12. Levantamiento de seguros de la puerta principal  
Fuente: Elaborado por los investigadores

Se deberá llenar el cajón de compresión hasta la mitad de su capacidad y después con la palanca principal y la ayuda de las manos y pies realizar una primera compresión de la paja, como se muestra en la figura 9.

Posteriormente, se procede a la colocación de los hilos por la guía superior e inferior con la ayuda de una varilla de 8 mm de diámetro, que deberá traspasar el ancho de la enfardadora, como se observa en la figura 10.

Se introduce más paja por la parte superior de la máquina enfardadora y se realiza la compresión final, verificando que la paja haya llegado al borde de las guías donde se introducen los hilos. Con fuerza se procede a jalonar los hilos y a realizar los nudos para cada uno de estos, procurar que los mismos queden en el centro de cada fardo y alineados como se muestra en la figura 11.

Se procede a levantar los seguros de la puerta principal para posteriormente abrirla. Por esta parte es donde sale el fardo como se indica en la figura 12.



Figura 13. Empuje para retiro del fardo de la máquina mediante empuje de la palanca principal  
Fuente: Elaborado por los investigadores



Figura 14. Retiro de fardo de la máquina enfardadora  
Fuente: Elaborado por los investigadores

Con ayuda de la palanca principal se ejerce presión al fardo, el mismo que es empujado por la placa a compresión, ocasionando que este salga por la puerta principal de la enfardadora, como se indica en la figura 13.

Finalmente, se procede a retirar el fardo de la máquina enfardadora para su respectivo uso en la construcción de viviendas, como se indica en la figura 14.

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con el uso de la máquina enfardadora y siguiendo el procedimiento indicado en el apartado anterior se pudo fabricar 12 fardos de paja. Sus dimensiones fueron determinadas con la ayuda de un flexómetro y colocando una tabla de madera en cada uno de sus lados como una guía, a fin de obtener la medida de sus lados con mayor precisión, como se indica en la figura 15.

En la tabla 3 se muestra las medidas obtenidas para cada fardo tanto para su largo, ancho y altura.

El contenido de humedad es una propiedad del desecho agroindustrial que debe ser determinada a fin de verificar si el mismo puede ser usado como material de construcción. Para cada fardo se midió esta propiedad mediante la utilización del equipo F-2000 (G.I.S Ibérica, 2003), el cual es utilizado mundialmente para determinar esta propiedad, como se indica en la figura 16. Este procedimiento se realiza para seguir un control de calidad del fardo de paja y su probable uso como material de construcción.

Se procedió a tomar el peso de cada uno de los fardos y a realizar el cálculo de la densidad aparente corregida según la norma americana IRC 2018, que consiste en determinar el contenido de humedad con el F-2000 de cada uno de los fardos y restarlo del peso inicial obtenido mediante la utilización de una balanza, de tal manera de aplicar la relación masa sobre volumen como se indica en la Ecuación 1:

$$\text{Dens. Corr} = \frac{\text{Peso fardo} - (\text{Peso} * \text{Humeda})}{\text{Volumen}} \quad (1)$$



Figura 15. Medición de fardos elaborados  
Fuente: Elaborado por los investigadores

Fardo	Dimensiones		
	Largo	Ancho	Altura
N°	[m]	[m]	[m]
1	0.880	0.450	0.340
2	0.840	0.450	0.330
3	0.900	0.450	0.340
4	0.900	0.450	0.340
5	0.880	0.440	0.320
6	0.900	0.430	0.330
7	0.880	0.450	0.340
8	0.820	0.450	0.340
9	0.880	0.440	0.350
10	0.840	0.450	0.340
11	0.820	0.450	0.340
12	0.820	0.450	0.330

Tabla 3. Dimensiones de lados para cada fardo  
Fuente: Elaborado por los investigadores



Figura 16. Medición humedad de los fardos  
Fuente: Elaborado por los investigadores

Finalmente, los resultados del volumen, peso, densidad aparente, contenido de humedad y densidad corregida de cada uno de los fardos se resumen en la tabla 4.

#### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El hilo de polipropileno número 9 utilizado para amarrar los fardos es insuficiente para sostener la presión de la paja, por este motivo fue necesario amarrar el fardo con doble hilo obteniendo un mejor soporte sin que los mismos se rompan como sucedió al colocar un solo hilo cada 15 cm. Además, garantiza la compresión que ejerce la máquina enfardadora después de retirar el bloque comprimido de la misma.

El espesor de 12 mm adoptado para el tríplex que forman las tapas laterales y superiores es el adecuado, ya que al introducir la paja por la parte superior de la máquina enfardadora y al ejercer presión con las palancas principales y secundarias sobre la paja, no se evidenció cuarteamiento o protuberancias en la misma, garantizando de tal manera una rigidez óptima en las caras laterales y superiores de la máquina, con la finalidad de garantizar la densidad de la paca de paja de acuerdo a los estándares internacionales.

La altura del elemento a compresión que conforma la máquina enfardadora debe ser necesariamente inferior a 45 cm, debido a que la altura del tallo de la paja supera en la mayoría de los casos los 45 cm, produciendo un atascamiento en la parte superior

de la placa por la acumulación de tallos cuando se introduce la paja, por este motivo este elemento debe ser necesariamente menor en 1 cm, si este elemento es menor en más de 1 cm no se garantiza una presión adecuada en la parte superior del fardo.

La palanca principal y secundaria debe tener una sección adecuada de por lo menos 4.00 cm x 6.00 cm cuya sección fue utilizada para esta investigación. Además, de ser fabricadas con un excelente material con el fin de evitar que estos elementos fallen cuando se ejerza la mayor fuerza posible para comprimir la paja, al tener una sección pequeña la cual no sea adecuada y elaboradas con una madera que no ofrezca resistencia a flexión suficiente, estos elementos fallarán fácilmente cuando se ejerza presión en las palancas.

Los refuerzos extremos e intermedios garantizan las uniones entre las caras del cajón donde se introduce la paja, estos deben ser colocados a una separación máxima de 28 cm, ya que al considerar una separación superior, se evidenció pequeñas aberturas entre las uniones de las caras que conforman la enfardadora, que posteriormente generará con el uso continuo de la máquina un cuarteamiento irreversible, además esta unión deberá complementarse con la colocación de clavos y cola blanca en las uniones de sus tapas.

Con esta máquina enfardadora se elaboró 12 fardos cuyos valores promedios de sus dimensiones quedan establecidos de la siguiente manera: largo 86 cm, ancho 45 cm y su alto 34 cm, se produce mayor variación en las dimensiones del largo de los fardos debido a la compresión que se ejerció sobre la paja, por lo tanto, se obtienen fardos cuyas dimensiones cumplen con la normativa europea y Código Residencial Internacional (IRC) en su apéndice S, construcción con paja.

De los 12 fardos elaborados, 10 cuentan con un contenido de humedad menor al 15%, mientras que los 2 fardos restantes tienen un contenido de humedad igual al 15%. De acuerdo al Código Residencial Internacional

Fardo	Volumen	Peso	Densidad aparente	Contenido de humedad	Densidad aparente corregida
N°	[m <sup>3</sup> ]	[kg]	[kg/m <sup>3</sup> ]	%	[kg/m <sup>3</sup> ]
1	0.13	14.50	107.69	12 %	94.77
2	0.12	11.90	95.40	13 %	83.00
3	0.14	14.60	106.03	14 %	91.18
4	0.14	14.00	101.67	12 %	89.47
5	0.12	11.40	92.01	14 %	79.13
6	0.13	12.50	97.88	15 %	83.20
7	0.13	13.60	101.01	13 %	87.88
8	0.13	11.70	93.26	12 %	82.07
9	0.14	12.70	93.71	13 %	81.53
10	0.13	12.50	97.26	14 %	83.64
11	0.13	11.80	94.05	15 %	79.95
12	0.12	12.00	98.55	16 %	82.78

Tabla 4. Volumen, peso, densidad aparente, contenido de humedad y densidad aparente corregida de los fardos fabricados

Fuente: Elaborado por los investigadores

(IRC) en su apéndice S, construcción con paja. Los fardos o pacas de paja óptimos para la construcción son aquellos cuyo contenido de humedad es menor al 15 %. Con relación a esto se concluye que la paja proveniente de desechos agroindustrial producida por la cosecha del arroz puede servir como material de construcción, ya que con un tiempo mayor de secado cumpliría con el contenido de humedad requerido para ser utilizado en la construcción de viviendas.

La densidad aparente corregida promedio de los 12 fardos fabricados es de 84.88 kg/cm<sup>3</sup>, cuyo valor determina que los fardos elaborados con la máquina enfardadora diseñada en esta investigación son aptos para utilizarlos en la construcción de viviendas, cuya densidad aparente deberá estar entre 80 a 120 kg/cm<sup>3</sup> según Código Residencial Internacional (IRC) en su apéndice S.(International Residential Code -Apendix R- Straw Bale Construction - Rb473 – 13, 2018)

Al tener que el 90 % de fardos elaborados cumplen con el contenido de humedad requerido menor al 15 %, además el 100 % de los 12 fardos cuentan con una densidad aparente superior a 80 kg/m<sup>3</sup> y menor que 120 kg/m<sup>3</sup>, se permite concluir que los fardos obtenidos a partir de esta máquina enfardadora manual en madera son aptos para ser utilizados como materiales de construcción. Además, de que el desecho agroindustrial como la paja de arroz cuenta con un porcentaje de humedad menor al 15 % lo cual determina que su uso es conveniente para estas necesidades.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Benalcázar, W. (2021). Agricultores carchenses reviven la producción del trigo nacional. *El comercio*. <https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/agricultores-carchi-produccion-trigo-sierra.html>

Cascone, S., Rapisarda, R. y Cascone, D. (2019). Physical properties of straw bales as a construction material: A review. *Sustainability*, 11(12). <https://doi.org/10.3390/SU11123388>

Chaussinanda, A., Scartezzinib, J. y Vahid, N. (2015). Straw bale: A waste from agriculture, a new construction material for sustainable buildings. *6th International Building Physics Conference, IBPC*, 297-302. Recuperado de: <https://coek.info/pdf-straw-bale-a-waste-from-agriculture-a-new-construction-material-for-sustainable-.html>

EcoHabitar. (2019). 6 materiales de construcción ecológicos que revolucionan la construcción de viviendas. *EcoHabitar*. <https://ecohabitar.org/6-materiales-de-construccion-ecologicos-que-revolucionan-la-construccion-de-viviendas/>

Gellert, R. (2010). 8 - Inorganic mineral materials for insulation in buildings. In *Materials for Energy Efficiency and Thermal Comfort in Buildings*. pp. 193-228. <https://doi.org/https://doi.org/10.1533/9781845699277.2.193>

International Residential Code. (2018). Appendix R- Straw Bale Construction-Rb473-13, (2018). *Appendix S: Strawbale Construction*.

Jenkins Swan, A., Rteil, P. y Lovegrove, P. (2011). Sustainable Earthen and Straw Bale Construction in North American Buildings: *Codes and Practice*. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 23(6), 866-872. [https://doi.org/DOI:10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000241](https://doi.org/DOI:10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000241).

King, B. (2006). Design of straw bale buildings (Second). *Green Building Press*.

Lee, C., y Grove, J. (2005). Straw yields from six small grain varieties.

Liuzzi, S., Sanarica, S. y Stefanizzi, P. (2017). Use of agro-wastes in building materials in the Mediterranean area: a review. *Energy Procedia*, 126, 242-249. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.08.147>

Lopez Altuna, A., & Iborra Lucas, M. (2015). Paramentos y paneles modulares prefabricados con paja para la construcción de viviendas y rehabilitación energética de edificaciones. *CICSEII-Congreso Internacional y IV Nacional de Construcción Sostenible y Soluciones Eco-Eficientes-CICSE*, 830-842. Recuperado de: <https://www.researchgate.net/>

publication/329427939\_paramentos\_y\_paneles\_modulares\_prefabricados\_con\_paja\_para\_la\_construccion\_de\_viviendas\_y\_rehabilitacion\_energetica\_de\_edificaciones.

Ministerio de Agricultura y Ganadería de Ecuador. (2019). 1464 hectáreas de cebada variedad Metcalfe y Cañicapa serán sembradas en la Zona 3. <https://www.agricultura.gob.ec/1-464-hectareas-de-cebada-variedad-metcalfe-y-canicapa-seran-sembradas-en-la-zona-3/>

Minke, G., y Mahlke, F. (2006). *Manual de construcción con fardos de Paja*. Fin de Siglo.

Nitzkin, R., y Termens, M. (2016). Casas de Paja. Una guía para autoconstructores. *EcoHabitar Visiones Sostenibles*. 2da edición.

Omer, M. A. B., y Noguchi, T. (2020). A conceptual framework for understanding the contribution of building materials in the achievement of Sustainable Development Goals (SDGs). *Sustainable Cities and Society*, 52, 101869. <https://doi.org/10.1016/J.SCS.2019.101869>

Pacheco-Torgal, F. (University of M., y Jalali, S. (University of M. (2011). Toxicity of building materials: A key issue in sustainable construction. *International Journal of Sustainable Engineering*, 4(3), 281-287. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/19397038.2011.569583>

Sánchez, A. M., Vayas, T., Mayorga, F., y Freire, C. (2020). El arroz en Ecuador. <https://blogs.cedia.org.ec/obest/wpcontent/uploads/sites/7/2020/12/Analisis-arroz-Ecuador.pdf>

Torres, W. (2021). El déficit de vivienda alcanza a 2,7 millones de unidades, según Miduvi. *Primicias*.

Up Straw. (2020). Year book 2020 supporting the use of straw in urban and public buildings. *Interreg north-west europe*.

Viera, P., Aguirre, D., y Monzó, J. M. (2020). Determination of the characteristics of the wheat straw bale, as an agro-industrial waste for use as a construction material.

*UC Universidad de Carabobo*, 27(3), 304-318. <http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/index.htm>

Viera, P., Coox, O., Rivera, J. y Monzó, J. M. (2021). Conductividad térmica de fardos de paja y otros materiales usados para realizar mampostería en Ecuador por el método de la aguja térmica. *RIOC Revista de Ingeniería y Obras Civiles*, 11(1), 7-13. <http://www.rioc.cl/>

Viera, P., Pachala, J., Rosero, H. y Monzó, J. M. (2019). Construction system for single-family homes using load bearing straw bale walls. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 14(10), 3400-3407. <https://medwelljournals.com/abstract/?doi=asci.2019.3400.3407>

Walker, P., Thomson, A. y Maskell, D. (2020). Straw bale construction. In *Nonconventional and Vernacular Construction Materials*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102704-2.00009-3>

Whitman, C. (2013). Fardos de paja: ¿una solución para viviendas rurales energéticamente eficientes en la zona central de Chile?. *XII ENCAC-VII ELACAC*. [http://orca.cf.ac.uk/69735/1/006\\_Fardos\\_de\\_Paja\\_UNAB\\_Castellano\\_2013\\_revD.pdf](http://orca.cf.ac.uk/69735/1/006_Fardos_de_Paja_UNAB_Castellano_2013_revD.pdf)

Ministerio de Agricultura y Ganadería MAGAP. (2019). Sistema de Información pública agropecuaria. MAGAP. <https://www.pressreader.com/ecuador/el-comercio-ecuador/20210822/281483574465245>

G.I.S Ibérica. (2013). Instrucciones para el servicio y la utilización del medidor de humedad digital de forrajes. <http://www.gisiberica.com/MANUALES/HM013%20Instrucciones%20Delmhorst%20F-2000%20GIS.pdf>