



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

**Efecto del torque en la compactación de cascarilla de arroz de un extrusor  
en el molino Señor de la Justicia S.A.C**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**Ingeniero Mecánico Electricista**

**AUTOR:**

Sánchez Ramírez, Eduar (ORCID: 0000-0003-4127-4940)

**ASESOR:**

Dr. Salazar Mendoza, Aníbal (ORCID: 0000-0003-4412-8789)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Modelamiento y simulación de sistemas electromecánicos

**CHICLAYO – PERÚ**

**2020**

## **Dedicatoria**

Dedicado con toda mi alma para mis padres de todo corazón, su ejemplo ha hecho de mí una persona de mucho bien y han sido mi apoyo, esa fuerza que me han llevado a culminar con éxito mis estudios, esta etapa muy importante de mi vida Profesional.

También porque con su comprensión, apoyo constante y dulzura ha conquistado mi corazón y siempre pidiéndole a Dios nos conceda la oportunidad de seguir compartiendo momentos felices y de éxitos juntos en nuestras vidas.

***Sánchez Ramírez, Eduar***

## **Agradecimiento**

Agradezco a Dios en primer lugar por darme la vida, fortaleza y fuerza y seguir superándome en mi vida profesional adquiriendo nuevos conocimientos para aplicarlos en favor del desarrollo de nuestro distrito, nuestra región, nuestra sociedad y de nuestro País.

Por último, agradecemos a toda la plana docente de nuestra prestigiosa Universidad que a lo largo de nuestra formación Profesional nos han transmitidos sus conocimientos y experiencias para ser de nosotros unos profesionales competitivos y de excelencia.

***Sánchez Ramírez, Eduar***

## Índice de contenidos

Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice de contenidos .....	iv
Índice de tablas .....	v
Índice de gráficos y figuras.....	vi
Resumen.....	vii
Abstract.....	viii
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>II. MARCO TEÓRICO</b> .....	4
<b>III. METODOLOGÍA</b> .....	12
3.1. Tipo y Diseño de investigación.....	12
3.2. Variables y Operacionalización .....	12
3.3. Población, muestra y muestreo .....	12
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	13
3.5. Procedimientos .....	14
3.6. Métodos de análisis de datos.....	15
3.7. Aspectos éticos .....	16
<b>IV. RESULTADOS</b> .....	17
<b>V. DISCUSIÓN</b> .....	46
<b>VI. CONCLUSIONES</b> .....	51
<b>VII. RECOMENDACIONES</b> .....	52
REFERENCIAS.....	53
ANEXOS .....	58

## Índice de tablas

<b>Tabla 01.</b> Composición química de la cascarilla de arroz y de las cenizas de la cascarilla de arroz. ....	6
<b>Tabla 02.</b> Constantes empíricas para el ángulo del dado. ....	11
<b>Tabla 03.</b> Propiedades Físicas de la cascarilla de arroz. ....	17
<b>Tabla 04.</b> Datos experimentales para % humedad en la cascarilla de arroz. ....	18
<b>Tabla 05.</b> Datos experimentales para la obtención de la densidad de cascarilla de arroz. ....	19
<b>Tabla 06.</b> Datos experimentales para la obtención de % cenizas de la pajilla de arroz .....	20
<b>Tabla 07.</b> Propiedades mecánicas de la cascarilla de arroz obtenidas. ....	20
<b>Tabla 08.</b> Datos Experimentales con respecto a la masa inicial y masa compactada a 170 Pa de presión. ....	23
<b>Tabla 09.</b> Datos experimentales de compactación a 170 Pa de presión. ....	25
<b>Tabla 10.</b> Datos Experimentales con respecto a la masa inicial y masa compactada a 200 Pa de presión. ....	25
<b>Tabla 11.</b> Datos experimentales de compactación a 200 Pa de presión. ....	27
<b>Tabla 12.</b> Datos Experimentales con respecto a la masa inicial y masa compactada a 210 Pa de presión. ....	27
<b>Tabla 13.</b> Datos experimentales de compactación a 210 Pa de presión. ....	29
<b>Tabla 14.</b> Datos Experimentales con respecto a la masa inicial y masa compactada a 235 Pa de presión. ....	29
<b>Tabla 15.</b> Datos experimentales de compactación a 235 Pa de presión. ....	31
<b>Tabla 16.</b> Datos Experimentales con respecto a la masa inicial y masa compactada a 250 Pa de presión. ....	31
<b>Tabla 17.</b> Datos experimentales de compactación a 250 Pa de presión. ....	32
<b>Tabla 18.</b> Resultados de las pruebas de compactación a distintas presiones de compactación en Pa. ....	33
<b>Tabla 19.</b> Resultados experimentales de torque a distintas presiones. ....	34
<b>Tabla 20.</b> Resultados experimentales de fuerzas de compactación a distintas presiones. ....	37
<b>Tabla 21.</b> Datos del análisis estadístico. ....	40

## Índice de gráficos y figuras

<i>Figura 01.</i> Pajilla de arroz o merma de arroz. ....	6
<i>Figura 02.</i> El pellet: tamaño y forma.....	7
<i>Figura 03.</i> Principio de funcionamiento de una compactadora extrusora y la relación de compresión.....	8
<i>Figura 04.</i> Fuerza de Compactación de la merma o pajilla de arroz. ....	10
<i>Figura 05.</i> Moldes de Briquetas de diferente tamaño usados para los ensayos de compactación. ....	22
<i>Figura 06.</i> Valores con los cuales se trabajó.....	41
<i>Figura 07.</i> Rango de valores con los cuales se trabajó.....	41
<i>Figura 08.</i> Libro de códigos de las variables. ....	42
<i>Figura 09.</i> Tablas cruzadas según reporte SPSS 22. ....	42
<i>Figura 10.</i> Prueba T de Student y análisis ANOVA. ....	43
<i>Figura 11.</i> Correlaciones de Pearson y de Spearman.....	43
<i>Figura 12.</i> Modelación Lineal Automatizada.....	44
<i>Figura 13.</i> Correlaciones simple y paramétricas. ....	44
<i>Figura 14.</i> Pruebas de contraste de hipótesis. ....	45
<i>Figura 15.</i> Variación de la curva COR.....	45

## Resumen

La industria molinera en la región Lambayeque, ha crecido de manera sostenida desde los años 90 del siglo pasado, por motivo de la liberación de la actividad molinera, que antes había estado suspendida, esto ocasionado una fuerte renovación tecnológica en la industria molinera, en sus procesos tales como descascarado, clasificado, pulido, lustrado entre otros, con alternativas que también trajeron un incremento de costos, de capital y también de operación, pero también trajo como consecuencia el mejor aprovechamiento de subproductos, tales como cascarilla del arroz, polvillo, ñelén o arroz partido, entre otros, por lo que su procesamiento, se debe tecnificar, con procedimientos, uno de ellos es su compactación, para mejorar su transporte, poder calorífico, disminuir costos de procesamiento.

Por lo que, el estudio de las particularidades de la compactación, con los temas de esfuerzos y tensiones necesarias para compactar, el respectivo análisis de esfuerzos y las fuerzas necesarias para lograrlo, así como la energía necesaria para lograr la compactaciones necesarias, así mismo debemos de indicar que sobre las teorías de las variables estudio, tenemos sobre la Cascarilla de Arroz que es definida como un desecho que se obtiene posterior al proceso de pulido donde se logra la obtener arroz para que pueda consumir la gente.

Las cascarillas de arroz son desechos agroindustriales que se producen en altos volúmenes; este desecho puede utilizarse para obtener dióxido de silicio para la fabricación de cemento mejorando las propiedades mecánicas de resistencia de materiales, mediante los cuales muchos investigadores vienen haciendo pruebas alrededor de nuestro planeta puesto que brindan alternativas altas en calidad viable para la construcción, que además es de bajo costo.

**Palabras claves:** Torque, compactación, cascarilla de Arroz

## **Abstract**

The milling industry in the Lambayeque region has grown steadily since the 90s of the last century, due to the liberation of the milling activity, which had previously been suspended, this caused a strong technological renovation in the milling industry, in its processes such as dehulling, classifying, polishing, polishing, among others, with alternatives that also brought an increase in costs, capital and also in operation, but also resulted in better use of by-products, such as rice husks, dust, ñelén or broken rice, among others, so its processing must be technified, with procedures, one of them is its compaction, to improve its transport, calorific value, reduce processing costs

Therefore, the study of the particularities of compaction, with the issues of efforts and tensions necessary to compact, the respective analysis of efforts and forces necessary to achieve it, as well as the energy necessary to achieve the necessary compactions, we must also to indicate that on the theories of the study variables, we have on the Rice Husk, which is defined as a waste that is obtained after the polishing process where rice is obtained so that people can consume.

Rice husks are agro-industrial waste that is produced in high volumes; this waste can be used to obtain silicon dioxide for the manufacture of cement, improving the mechanical properties of resistance of materials, through which many researchers have been doing tests around our planet since they provide high- quality alternatives for construction, which is also low cost

**Keywords:** Torque, compaction, rice husk



## I. INTRODUCCIÓN

La producción de cascarilla de arroz en los molinos hasta hoy es vista como un desecho mas no como un subproducto, lo cual enmarca un problema constante en estas zonas industriales, puesto que la acumulación de las grandes cantidades de pajilla abarca desorden en el área que se acumula, costos de almacenamiento, de transporte para ser retirada y hasta riesgos como incendios.

En la actualidad las industrias arroceras no llevan un buen control en el almacenamiento de la pajilla, la cual se produce a diario y en grandes cantidades, originando esto un lugar de trabajo desordenado y dificultoso, también originando severos problemas al medio que nos rodea.

Por ello, ante la problemática a nivel internacional encontramos que Torres (2015, p.12) nos dice que las industrias molineras de arroz en varios países de América Latina, actualmente presentan problemas tales como: infraestructura en la cual los molinos presentan severos problemas en sus construcciones en las que no poseen bases firmes, problemas con la maquinaria por la falta de mantenimiento y problemas con las grandes acumulaciones de pajilla.

La variación en energías aparece por las necesidades de desarrollarse en métodos alternativos y tecnológicos que ayuden a utilizar materiales en desecho de algún proceso productivo; por ejemplo, la cascarilla de arroz en las industrias molineras evitando de esta manera la contaminación ambiental derivado de este desecho que puede ser reutilizado para diversos fines industriales. (Sierra, 2010, p.18).

Asimismo, a nivel nacional Najjar y Álvarez (2017, p.23), nos dice que las industrias arroceras peruanas tienen ausencia de apoyo económico en torno a poder hacer renovaciones o la adquisición de equipos sofisticados para tener un mejor proceso productivo, el realizar el secado, procesarlo, seleccionarlo y almacenarlo, no se pueden dar debido al bajo presupuesto que cuentan este tipo de actividades comerciales. Por otro lado, producir arroz en cascara crece a tal punto de tener un 72% en Lambayeque y Piura.

Los tratamientos en las cascarillas del arroz, son actividades con costos muy elevados y las industrias de uso privado en gran parte las molineras en Lambayeque no lo usan de manera eficiente, eso evidencia que existe carencias en el tema económico o legislaciones inadecuadas. En la gran parte tiene impactos con el medio ambiente, por su gran extensión de área que se acumula, este forma parte de la biomasa, pero la manera que se expulsa es por la caracterización de la pajilla es muy tediosa al momento del transporte, que conlleva a un elevado costo y poder terciar el trabajo para que puedan retirarlo y el área este libre para que la maquina siga almacenándolo por las tuberías.

Ante la problemática que existe en el lugar de estudio tenemos que el molino Señor de la Justicia S.A.C. se ubica en Ferreñafe y sus actividades principales son pilar arroz en calidades estandarizadas. El Molino posee con una capacidad de 2 ton / h (40 sacos por hora de arroz pilado). Uno de los problemas es que al emitir cascarillas de arroz durante todo el día por mucho tiempo y en una cantidad extravagante llega a acumularse, pero si no se tiene un buen manejo en que conlleve a una buena acción de aprovechar este recurso para poder conseguir mejorar el espacio con respecto a su almacenamiento.

Para lo cual en el presente trabajo de investigación se obtuvo el siguiente problema de investigación: ¿En qué medida el torque de compactación del extrusor del molino Señor de la Justicia S.A.C. afecta al proceso de compactación de cascarilla de arroz?

La presente investigación tiene justificación en el aspecto Académico ya que permite el análisis del torque en el consumo de potencia al hacer compactaciones en la materia prima, siendo estos datos de suma importancia para determinar parámetros de rendimiento y eficiencia de la máquina compactadora y de tal manera ampliar los conocimientos teórico prácticos en la realización de las mediciones del torque. Es justificable en el aspecto económico debido a que se obtuvo una mejor compactación de la cascarilla de arroz haciendo que este subproducto ya no se pierda y se genere ingresos a partir de su venta, haciendo más factible y económico el transporte de este subproducto puesto que se trasladan grandes cantidades en pequeños fardos compactados.

Mientras que en el aspecto social es justificable debido a que este proceso genera oportunidades laborales a la comunidad ya sea para la operación del extrusor, para el llenado de los fardos compactados o el transporte de este subproducto.

La presente investigación se justifica Ambientalmente ya que, al tener un buen control del torque y otros parámetros, el extrusor de cascarilla de arroz permite un mayor ordenamiento de las grandes cantidades de pajilla, y al reutilizar este elemento se elimina la contaminación de la atmosfera debido a que ya no existe la necesidad de quemar este insumo.

Teniendo en cuenta lo expresado líneas arriba se manifiesta el objetivo general, Determinar el efecto del torque en la compactación de un extrusor en el molino Señor de la Justicia S.A.C para el proceso de compactación de cascarilla de arroz.

Teniendo en cuenta los aspectos que dieron a lugar a la formulación del objetivo general se desprenden los siguientes objetivos específicos: Caracterizar las propiedades mecánicas de la cascarilla de arroz con la finalidad de obtener módulo de compresibilidad, Habilitar los mecanismos y probetas de prueba para el desarrollo de las pruebas experimentales de acuerdo a la norma vigente, Realizar pruebas de compactación de las probetas, registrando las mediciones del torque, Realizar un análisis estadístico para validar los resultados experimentales del torque versus fuerza de compactación, mediante uso de hojas de cálculos.

Estos objetivos fueron descritos teniendo en cuenta el problema de investigación y la siguiente hipótesis: Mediante la determinación del efecto del torque en el extrusor de cascarilla de arroz del molino Señor de la Justicia S.A.C permitirá tener un buen control de los parámetros de funcionamiento durante el proceso de compactación.

## II. MARCO TEÓRICO

Al respecto existen muchas razones que argumentan y sustentan la realización del trabajo de investigación. En ese mismo orden, Cabezas (2015, p. 27), en su informe donde realizó un diseño de sistemas para compactar biomasa, manifiesta que la falta de equipamiento especializado para el tratamiento de la cascarilla de arroz y el aserrín que se producía en todo el proceso de producción del arroz conlleva a tener como objetivo principal el poder hacer un diseño que compacte la biomasa de cascarillas del arroz, la cual concluyó que la compactación de biomasa de cascarilla de arroz la realizaban por fuerza y empuje mediante un sistema hidráulico, con un torque de 15 Newton en la bomba hidráulica.

Por otro lado, en un estudio realizado en México cuyo título fue: "Diseño de un sistema automático para una compactadora de aluminio" manifiesta que no existe un equipamiento adecuado para la compactación de aluminio teniendo para ello como objetivo diseñar un sistema de compactación mediante actuadores hidráulicos controlados por electroválvulas, llegando a la conclusión que es muy importante implementar el Diseño de un sistema automático para una compactadora de aluminio y de esta manera realizar sus procesos con mayor rapidez, seguridad y con mayor calidad debido a la competencia existente en el mercado (Uribe y Hernández, 2011, p.32).

Asimismo, en las investigaciones a nivel nacional, se tiene un estudio realizado en la ciudad de Lima cuyo título fue: "Diseño de una máquina compactadora de latas de aluminio", manifiesta que se tuvo como objetivo general diseñar y determinar la forma más eficiente de compactado de latas de aluminio para el mejoramiento de la producción de compactación de latas de aluminio, llegando a la conclusión que la compactadora posee una caja de engranajes para brindar el torque necesario y estabilidad a la máquina durante el proceso de compactación (Baltuano, 2013, p.17).

Por otro lado, Rivera y Alcázar (2013, p.15) realizado en Piura cuyo título fue: "Mejora de la Productividad a través la Compactación de Cascarilla de Arroz y la venta de la cascarilla que está considerado como un desecho en la Empresa

Molinos los Ángeles”. Manifiesta que, en la molinera, el almacenamiento de la cascarilla de arroz es extremadamente voluminoso, esto conlleva a que, al no eliminarse en un periodo establecido, lograría una obstrucción en los equipos que descascaran el arroz, eso causaría graves problemas en las maquinarias y periodos de tiempo que se dejaría de producir.

Se concluyó que se optará por la fabricación de las máquinas compactadoras de cascarilla de arroz con su caracterización de manera específica que requiere la molinera, para lo cual es indispensable que la maquina compactadora de pajilla se instale en la descarga de la descascaradora para el mejor aprovechamiento de los recursos y también la fijación de un registrador de parámetros como torque para el mejor control de su funcionamiento.

Así mismo, Querebalú y Herrera (2018, p. 32), en su tesis llamada “Diseño de una Maquina de Procesadora de Pellets en base a Merma de Arroz con Capacidad de 200 Kg/H, para la Empresa Escaly S.R.L. - Lambayeque”, tuvo como objetivo principal el diseño de maquinarias que politizan en torno a las mermas de arroz con capacidades de hasta 200 Kg.h para la empresa mencionada, lo cual usaban los materiales como bio combustibles, concluyó también que lograron una determinación en productos diarios de mermas aumentando a 2000 Kg.h por medio de tablas de producción que obtienen desde el interno, esta maquinaria emplearía 240 Kg.h de la merma que se arroja por los procesos de la molienda y bota de manera eficiente 200 Kg.h de pellets.

Sobre las teorías de las variables estudio, tenemos sobre la Cascarilla de Arroz que es definida como un desecho que se obtiene posterior al proceso de pulido donde se logra la obtener arroz para que pueda consumir la gente.

Las cascarillas de arroz son desechos agroindustriales que se producen en altos volúmenes; este desecho puede utilizarse para obtener dióxido de silicio para la fabricación de cemento mejorando las propiedades mecánicas de resistencia de materiales, mediante los cuales muchos investigadores vienen haciendo pruebas alrededor de nuestro planeta puesto que brindan alternativas altas en calidad viable para la construcción, que además es de bajo costo.



*Figura 01. Pajilla de arroz o merma de arroz.*  
 Fuente: (Querebalú y Herrera, 2018, p. 8)

Estas cascarillas de arroz, por su caracterización química, posee caracteres hidrofílicos, quiere decir que cuentan con semejanza con el H<sub>2</sub>O, que presenta un 10 por ciento de humedad. Así mismo las matrices poliméricas se demuestra con caracteres del mismo tipo con malas compatibilidades en la humedad.

Estas mermas de arroz tienen un mayor poder calorífico de unos 3281.6 Kcal por Kg. Si se desea que esto tenga beneficios en calorías aprovechando las máximas temperaturas tiene que ser de 970 °C cuando está seco y unos 650 °C cuando es húmedo y hasta unos 1000 °C con mezcla de algo combustible estos procesos generan unos 17.8 % de cenizas (Prada & Cortés, 2010, p. 18).

La propiedad fisicoquímica de las mermas es cuan consistente es, así como cuan abrasivas, quebradizas y sus colores que varían desde el purpura al pardo. Al momento que se apilan y al poseer una baja densidad, necesita gran espacio aproximadamente 1 Tn ocupa 8 m<sup>3</sup>. (Varón, 2005, p.32).

**Tabla 01.** *Composición química de la cascarilla de arroz y de las cenizas de la cascarilla de arroz.*

Cascarilla de arroz		Ceniza de cascarilla de arroz	
Componente	%	Componente	%
Carbono	39.1	Ceniza de sílice (SiO <sub>2</sub> )	94.1

Hidrógeno	5.2	Óxido de calcio (CaO)	0.55
Nitrógeno	0.6	Óxido de magnesio (MgO)	0.95
Oxígeno	37.2	Óxido de potasio (K <sub>2</sub> O)	2.10
Azufre	0.1	Óxido de sodio (Na <sub>2</sub> O)	0.11
Cenizas	17.8	Sulfato	0.06
		Cloro	0.05
		Óxido de titanio (TiO <sub>2</sub> )	0.05
		Óxido de aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0.12
		Otros componentes (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , F <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1.82
Total	100.0	Total	100.0

Fuente: (Cabezas, 2009, 35).

La cáscara posee grandes volúmenes de la ceniza, RHA, del inglés Rice Husk Ash, que tiene una elevada proporción de sílice. Se estima que:

*1 Tonelada de Arroz genera = 200 Kg de Cascarilla*

*200 Kg de Cascarilla produce 40 Kg de Cenizas*

Esto se da con un contenido del orden del 90% en sílice

De acuerdo a sus especificaciones químicas y físicas de la cascarilla de arroz se tiene que este puede ser utilizado como:

Combustibles: la cascarilla de arroz posee un poder calorífico de similitud al de la madera y a otros desechos de la parte agrícola, ya que posee celulosa y sílice, por tal motivo en algunos caso tiene como usos la parte doméstica.



Figura 02. El pellet: tamaño y forma.

Fuente: (Querebalú y Herrera, 2018, p. 10)

Sobre las teorías de las variables estudio, tenemos sobre el torque de la compactación de la cascarilla de arroz tenemos que:

Para Fernández (2016, p. 25), el Torque se define como el Momento de esa fuerza, respecto al eje de giro de cigüeñal, es decir, es el producto de la fuerza  $F$  por su distancia  $d$  al eje de giro, es decir:

$$\text{Torque } (T) = \text{Fuerza } (f) \times \text{Distancia } (d)$$

Siendo:

$D$  : Radio de giro

Para Fernández (2016, p. 18), la compactación con las operaciones a medida de tener una densidad en las masas para lograr la disminución del espacio vacío entre ellas y dentro de sus partículas.

Los factores que afectan directamente al ser compactada de la merma de arroz son la temperatura y la humedad. Para el proceso de compactado debe tener un grado adecuado, de lo contrario presentaría dificultades en el proceso (Cabezas, 2009, p. 54).

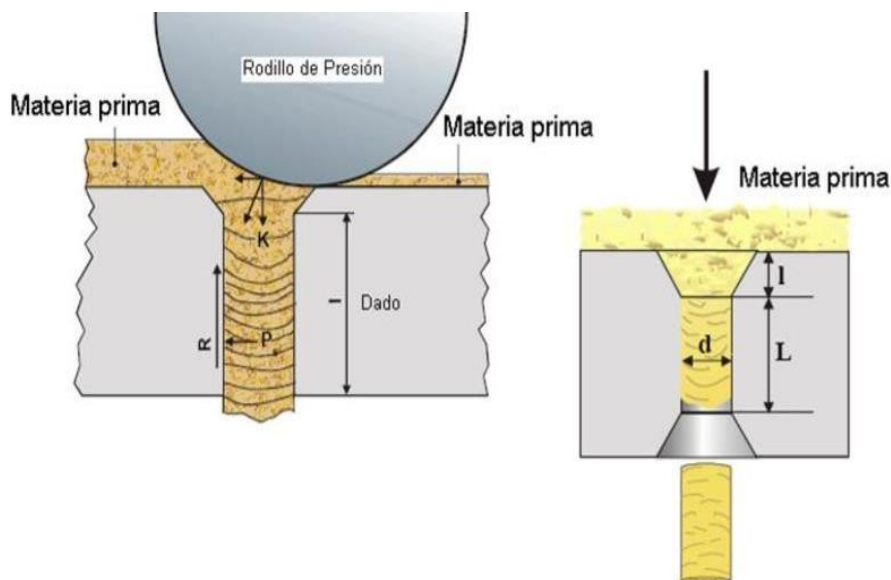


Figura 03. Principio de funcionamiento de una compactadora extrusora y la relación de compresión.

Fuente: (Querebalú y Herrera, 2018, p. 18)



La Relación de Compresión como principio de funcionamiento de la maquina compactadora es relacionar los diámetros de los orificios con los espesores efectivos de las compresiones. (Fernández, 2016, p. 22).

$$\text{Relación de Compresión} = R_c = \frac{d}{(L + 2I)}$$

Dónde:

$d$  : Diámetro del agujero (m).

$L$  : Longitud del agujero (m).

$I$  : Longitud del avellanado cónico (m).

La Fuerza de Fricción ( $R$ ), es la fuerza que se opone al deslizamiento del pellet pre formado (Fernández, 2016, p. 22).

$$R = \mu \times P_s \times d \times L < |K|$$

Dónde:

$\mu$  : Coeficiente de Fricción

$L$  : Longitud del agujero (m)

$P_s$  : Presión de las paredes (N/m<sup>2</sup>)

$d$  : Diámetro del agujero (m)

$K$  : Fuerza de presión del rodillo (N)

Para la compactación de la pajilla de arroz es el encargado de comprimirlo en los agujeros que contienen las matrices circulares planas, la presión la ejerce unos rodillos. A este método de compresiones genera fuerzas y una presión en dentro del dado, estas dependerán de los diferentes métodos que se analizarán en el desarrollo.

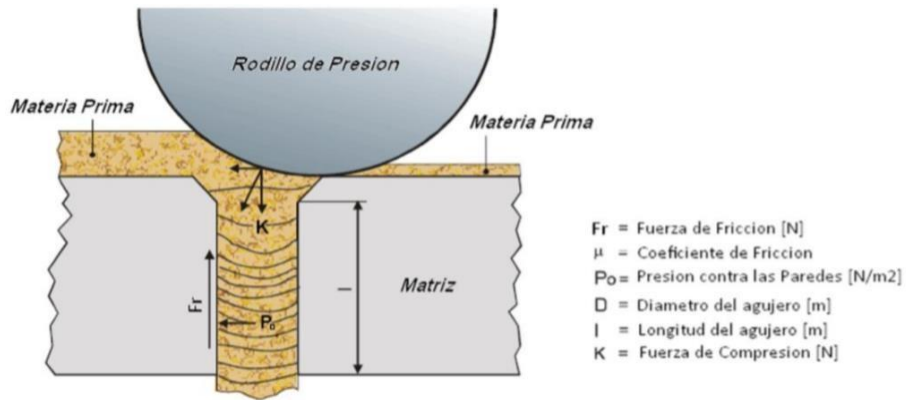


Figura 04. Fuerza de Compactación de la merma o pajilla de arroz.

Fuente: (Querebalú y Herrera, 2018, p. 60)

Cabeza (2009, p. 60), manifiesta que para hallar las presiones que compactan la cascarilla o pajilla de arroz con tal modo que comprimen la cascarilla dentro de los dados de esa matriz, estas funciones las clasifican en materiales y deformaciones que produce la expulsión de la materia.

$$PRESIÓN_{RODILLO} = Y_f \times \varepsilon_x$$

Dónde:

$Y_f$ : Esfuerzo de fluencia promedio de la merma durante la deformación

$Y_f$ : 60 MPa

$\varepsilon_x$ : Deformación de Extrusión

Estas deformaciones en extrusiones dependerán de las relaciones de compresión y los ángulos avellanados que puedan contar con agujeros en las matrices. Entonces, estos valores los hallaremos a continuación. (Querebalú y Herrera, 2018, p. 61).

$$\varepsilon_x = a + [b \times \ln(Rc)]$$

Donde a y b son constantes empíricas para el ángulo del dado del extrusor compactador

**Tabla 02.** Constantes empíricas para el ángulo del dado.

Para un ángulo de (50° - 60°)		Para un ángulo de (30° - 45°)	
a	0.8 – 0.9	a	0.7 – 0.78
b	1.2 – 1.5	b	1 – 1.1

Fuente: (Fernández, 2016, p. 32)

Para el cálculo de la fuerza de compactación del rodillo ( $F_k$ ) con respecto al dado de la máquina de pallets, las fuerzas que se aplicaran en el rodillo encima del dado de las marices planas. Esta fuerza de compactación del rodillo se puede desarrollar mediante la expresión matemática:

$$F_k = \text{presión}_{\text{Rodillo}} \times \text{área}_{\text{Dado}}$$

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y Diseño de investigación**

Con respecto al tipo de investigación, se trata de una investigación aplicada debido a que se está proponiendo la aplicación de teorías concernientes al torque mecánico que desarrollan las máquinas extrusoras y analizar su efecto en las mismas.

Asimismo, es una investigación del tipo descriptivo, porque se deberá medir y describir los niveles en los que la variable independiente tiene efecto en la compactación de la cascarilla de arroz. También la investigación es del tipo explicativa, debido a que explica cómo se comporta la variable independiente y el efecto que produce sobre la compactación de la cascarilla de arroz.

El diseño de investigación es experimental, debido a que va a manipular deliberadamente la variable independiente para determinar el efecto del torque sobre la compactación en un extrusor de cascarilla de arroz.

#### **3.2. Variables y Operacionalización**

##### **3.2.1. Variable Independiente.**

Torque

##### **3.2.2. Variable Dependiente.**

Compactación de cascarilla de arroz de un extrusor.

##### **3.2.3. Operacionalización de variables.**

La matriz de Operacionalización de variables se encuentra en el anexo 03.

#### **3.3. Población, muestra y muestreo**

##### **3.3.1. Población.**

Para este tema de investigación la población abarca la cascarilla de arroz

producida en los molinos de la provincia de Ferreñafe.

### **3.3.2. Muestra.**

La muestra estará constituida por la cascarilla de arroz producida en el molino Señor de la Justicia S.A.C.

### **3.3.3. Muestreo.**

Para poder obtener las muestras que se utilizan los métodos de muestreos no probabilísticos ya que las muestras no se eligieron de manera aleatoria, sino de manera seleccionando en relación los accesos.

## **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

### **3.4.1. Técnicas de Recolección de Datos.**

Las técnicas a utilizar son las siguientes:

#### **Observación directa**

Se observó en forma detallada el funcionamiento del extrusor de cascarilla de arroz y posteriormente poder llevar a cabo las mediciones, las mismas, que fueron anotadas en un formato para su respectivo análisis.

#### **Revisión de documentos**

Se refiere a la lectura y su respectivo análisis de documentos bibliográficos, investigaciones anteriores, revistas científicas, entre otros, acerca del tema tratado en este trabajo de investigación. Que permitió recoger información necesaria para el desarrollo de este proyecto de investigación

### **3.4.2. Instrumentos de Recolección de Datos.**

Los instrumentos a utilizar en la presente investigación son:

#### **Ficha de registro de cantidad producida diaria de cascarilla de arroz**

En esta ficha se elaboró un cuadro para anotar los datos diarios de la

producción de cascarilla y analizar su evolución en el periodo determinado de tiempo.

### **Ficha de análisis de documentos**

Se empleó para registrar la documentación académica y científica de otros autores que han desarrollado temas semejantes al proyecto. Que fueron recopiladas y analizadas para apoyo en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

### **Validez**

Para minimizar errores con respecto a la realización de mediciones los instrumentos fueron calibrados por personal especializado quienes lo certificaron.

La validez fue dada por especialistas en la materia (ingeniero mecánico electricista), teniendo en cuenta mediante un instrumento que recolecte la data, des esta manera los aspectos en metodología mismos concernientemente a la elaboración de un análisis del efecto del torque en el consumo de potencia y compactación de cascarilla de arroz de un extrusor en el molino Señor de la Justicia S.A.C.

### **Confiabilidad**

La toma y registro de datos fueron recogidos por medio de los instrumentos de medición debidamente calibrados, el autor garantiza que los mismos son lecturas genuinas y garantizan la confiabilidad de los mismos y que permitieron obtener resultados que reflejan la realidad del proceso en estudio.

## **3.5. Procedimientos**

Para iniciar a recolectar los datos de realizo coordinaciones con el gerente del molino SEÑOR DE LA JUSTICIA S.A.C, para lo cual el investigador respeto el horario que se otorgó para poder dar inicio a la recolección de

datos.

La recolección de datos se realizó usando las fichas de registro de cantidad producida diaria de cascarilla de arroz como instrumento de recolección de datos (ver anexo 04), evidenciando que existe volúmenes grandes de cascarilla de arroz que son desechadas y quemadas.

También se utilizó las fichas de análisis de documentos (ver anexo 05), en la cual se registró la documentación académica y científica de otros autores que han desarrollado temas semejantes al proyecto.

### **3.6. Métodos de análisis de datos**

Los valores de los registros obtenidos fueron procesados a través del programa Excel mediante tablas y diagramas de flujos, para tal efecto se aplicará la prueba estadística a un nivel de confiabilidad al 5%.

Se elaboraron las respectivas gráficas que el estudio necesita que muestren la relación entre torque y compactación.

Para este tipo lo analizamos en la cascarilla de arroz donde se obtiene datos exactos como son las propiedades mecánicas de la pajilla de arroz.

Deductivo, se analizó, estudio y examino los distintos trabajos de investigación, papers, artículos científicos, tesis, revistas científicas, etc., que hablen del procedimiento de compactación de la pajilla de arroz y a la vez, del diseño de la maquina compactadora de pajilla de arroz.

Se llevó revisiones detalladas con normativas encontradas por medio de tipos de maquinarias, antecedentes y sobre todo en cuestión de la problemática de este proyecto investigativo donde se compara con tipos de informes similares.

Para este método se realizó observaciones de forma precisa y directa por la cantidad, utilización y desperdicio de esta cascarilla en la molinera de arroz Señor de la Justicia S.A.C. con el fin de la obtención de métodos que

diagnostiquen de manera eficiente la cascarilla que sobra en este proceso.

### **3.7. Aspectos éticos**

El presente trabajo de investigación se respetó la propiedad intelectual de los autores de la bibliografía revisada, citando sus investigaciones y publicaciones. Con respecto a los resultados se respetó la privacidad de los autores, es decir, la información obtenida será propiedad del mismo y no será divulgada para ningún otro fin.



## IV. RESULTADOS

### 4.1. Caracterizar las propiedades mecánicas de la cascarilla de arroz con la finalidad de obtener módulo de compresibilidad.

En la tabla 3 se aprecian las características físicas de la cascarilla de arroz siendo estos valores para la humedad se tiene un 24.5 % teniendo para esto como propiedades mecánicas utilizadas en el presente trabajo de investigación la humedad, la resistencia a la flexión y las cenizas provocadas por la pajilla de arroz.

**Tabla 03.** *Propiedades Físicas de la cascarilla de arroz.*

Propiedades	Valor
Humedad (%)	24.5%
Densidad real (g/cm <sup>3</sup> )	1.02 g/cm <sup>3</sup>
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	0.115
Espacio poroso total (% vol.)	92.7
Capacidad de aireación (% vol.)	79.5
Volumen de agua (% vol.)	13.2

Fuente: (Fernández, 2016, p. 35)

### **Determinación de la humedad de la cascarilla de arroz**

#### **Materiales utilizados**

- 1 balanza
- 1 capsula como recipiente 1 estufa

#### **Procedimiento realizado para la determinación de la humedad de la cascarilla de arroz**

- Se pesó 10 gramos de muestra en un recipiente previamente tarado.

- Se anotó su peso como H1.
- Se colocó a secar la muestra en la estufa aproximadamente a 110 °C por 10 minutos.
- Se volvió a pesar nuevamente identificando H2.
- Se utilizó la expresión matemática:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{H1 - H2}{H1} \times 100$$

**Tabla 04.** Datos experimentales para % humedad en la cascarilla de arroz.

Peso de muestra en gramos	Peso de masa inicial H1	Peso de masa final H2
10	10	7.53

Fuente: Elaboración propia

Entonces tenemos:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{10 - 7.53}{10} \times 100$$

$$\% \text{ Humedad} = 24.7 \%$$

### **Determinación de la Densidad de la cascarilla de arroz**

#### **Materiales utilizados**

- 1 balanza
- 1 picnómetro de volumen de 100 ml

#### **Procedimiento Realizado para la determinación de la Densidad de la cascarilla de arroz**

- Se pesó el picnómetro vacío y se registró como P1.
- Se llenó el picnómetro con la muestra hasta el borde superior, colocar la

tapa; pesar el conjunto e identificar su peso como P2.

- Se utilizó la expresión matemática:

$$Densidad = \frac{P2 - P1}{100}$$

**Tabla 05.** Datos experimentales para la obtención de la densidad de cascarilla de arroz.

Volumen Picnómetro Vacío	Peso de masa inicial en gramos P1 (picnómetro vacío)	Peso de masa final en gramos P2 (picnómetro lleno de material de muestra)
100 ml	25.6 gramos	127.6 gramos

Fuente: Elaboración propia

Entonces tenemos:

$$Densidad = \frac{127.6 - 25.6}{100}$$

$$Densidad = \frac{102}{100}$$

$$Densidad = 1.02 \frac{g}{cm^3} = \frac{Kg}{L}$$

### **Determinación del % Cenizas de la cascarilla de arroz**

Materiales utilizados

- 1 balanza
- 1 crisol
- Mufla

**Procedimiento Realizado para la determinación el porcentaje de cenizas de la cascarilla de arroz**

- Se secó una cantidad aproximada de 30 g de cascarilla de arroz utilizando el mismo procedimiento que se utilizó para la determinación de la humedad de la cascarilla de arroz.
- Se pesó solo 20 gramos de la muestra secada en un crisol siendo este nuestro valor  $P_o$ .
- Se calcino la muestra pesada a 1100 °C por el tiempo de 1 hora. Se pesó la muestra calcinada y se registró como  $P_f$ .
- Se utilizó la expresión matemática:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{P_o - P_f}{P_o} \times 100$$

**Tabla 06.** *Datos experimentales para la obtención de % cenizas de la pajilla de arroz.*

Peso de muestra en gramos	Peso de masa inicial en gramos $P_o$	Peso de masa final en gramos $P_f$
20 gramos	20 gramos	19.52 gramos

Fuente: Elaboración propia

Entonces tenemos:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{20 - 19.52}{20} \times 100$$

$$\% \text{ Cenizas} = 2.4 \%$$

**Tabla 07.** *Propiedades mecánicas de la cascarilla de arroz obtenidas.*

Propiedades	Valor
Humedad (%)	24.7%
Densidad real (g/cm <sup>3</sup> )	1.02 g/cm <sup>3</sup>
% Cenizas	2.4%

Fuente: Elaboración propia

#### **4.2. Habilitar los mecanismos y probetas de prueba para el desarrollo de las pruebas experimentales de acuerdo a la norma vigente**

Los mecanismos o procedimientos para realizar el desarrollo de las pruebas experimentales de compactación son:

- Se utilizó 34.7g de muestras que contiene 100% de cascarilla de arroz, cada una se compactaran en la prensa con molde incluido a presione de 170 – 200 – 210 – 235 – 250 Pa.
- Se colocó la muestra pesada sobre el molde y proceder a prensar.
- Se retiró la muestra compactada del molde.
- Se procedió a pesar la muestra compactada.
- Se procedió a realizar los cálculos de Torque.

Los materiales utilizados para el procedimiento experimental de Compactación son:

- 1 balanza
- Moldes para la Compactación
- 1 prensa Mecánica
- Recipientes para pesar muestra
- Cascarilla de arroz



*Figura 05.* Moldes de Briquetas de diferente tamaño usados para los ensayos de compactación.

Fuente: propia

#### 4.3. Realizar pruebas de compactación de las probetas, registrando las mediciones del torque

Para las pruebas de compactación realizadas se tuvo lo siguiente:

El molde de compactación tiene las siguientes dimensiones:

- Longitud = 60 cm
- Diámetro interior = 11.40 cm
- Diámetro exterior = 12.00 cm

Se utilizó 34.7 g de muestras que contiene 100% de cascarilla de arroz, cada una se compactaran en la prensa con molde incluido a presione de 170 – 200 – 210 – 235 – 250 Pa.

##### Prueba de compactación a 170 Pa de presión

- Se colocó 34.7 gramos de cascarilla de arroz y se procedió a compactar.
- Se retiró la muestra compactada del molde.
- Se procedió a pesar la muestra compactada teniendo para ello 32.70 gramos.

**Tabla 08.** *Datos experimentales con respecto a la masa inicial y masa compactada a 170 Pa de presión.*

Peso de muestra Inicial	Peso de muestra compactada	Disminución de peso por proceso de compactación	Diámetro interior del molde
34.7 g	32.70 g	2.00 g	11.40 cm

Fuente: Elaboración propia

##### Cálculo de la fuerza de compactación

Se tiene que la presión de compactación aplicada a la muestra experimental

es de 170 Pa entonces se tiene:

$$F = \frac{P}{A}$$

Tenemos:

$$F_K = P_C \times A_C$$

$F_K$  = Fuerza de Compactación en N

$$P_C = \text{Presión de Compactación} = 170 \text{ Pa} = 170 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$A_C$  = Area de Compactación

$$A_C = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

$$A_C = \frac{3.1416 \times 129.96 \text{ cm}^2}{4}$$

$$\therefore A_C = 102.070 \text{ cm}^2$$

$$A_C = 102.070 \text{ cm}^2 \times \frac{1 \text{ m}^2}{10^4 \text{ cm}^2}$$

$$\therefore A_C = 0.0102 \text{ m}^2$$

Entonces

$$F_K = 170 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 0.0102 \text{ m}^2$$

$$F_K = 1.734 \text{ N}$$

### **Cálculo del Torque**

La prueba se realizó con una Prensa mecánica con un brazo metálico de accionamiento de 47 cm de longitud.

$$\text{Torque} = \text{Fuerza de Compactación} \times \text{distancia de accionamiento}$$



$$\text{Torque} = 1.734 \text{ N} \times 47 \text{ cm} \times \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}}$$

$$\text{Torque} = 0.815 \text{ Nm}$$

**Tabla 09.** *Datos experimentales de compactación a 170 Pa de presión.*

Peso de muestra Inicial	34.70 g
Peso de muestra compactada	32.70 g
Disminución de peso por proceso de compactación	2.00 g
Diámetro interior del molde	11.40 cm
Presión	170 Pa
Tiempo de Compactación	13 s
Fuerza de compactación	1.734 N
Torque	0.815 Nm

Fuente: Elaboración propia.

### **Prueba de compactación a 200 Pa de presión**

- Se colocó 34.7 gramos de cascarilla de arroz y se procedió a compactar.
- Se retiró la muestra compactada del molde.
- Se procedió a pesar la muestra compactada teniendo para ello 32.20 gramos.

**Tabla 10.** *Datos experimentales con respecto a la masa inicial y masa compactada a 200 Pa de presión.*

Peso de muestra inicial	Peso de muestra compactada	Disminución de peso por proceso de compactación	Diámetro interior del molde
34.7 g	32.20 g	2.50 g	11.40 cm

Fuente: Elaboración propia.

## Cálculo de la fuerza de compactación

Se tiene que la presión de compactación aplicada a la muestra experimental es de 200 Pa entonces se tiene:

$$F = \frac{P}{A}$$

Tenemos:

$$F_K = P_C \times A_c$$

$$P_C = \text{Presión de Compactación} = 200 \text{ Pa} = 200 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$A_c = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

$$A_c = \frac{3.1416 \times 129.96 \text{ cm}^2}{4}$$

$$\therefore A_c = 102.070 \text{ cm}^2$$

$$A_c = 102.070 \text{ cm}^2 \times \frac{1 \text{ m}^2}{10^4 \text{ cm}^2}$$

$$\therefore A_c = 0.0102 \text{ m}^2$$

Entonces

$$F_K = 200 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 0.0102 \text{ m}^2$$

$$F_K = 2.04 \text{ N}$$

## Cálculo del Torque

La prueba se realizó con una Prensa mecánica con un brazo metálico de accionamiento de 47 cm de longitud.

$$\text{Torque} = \text{Fuerza de Compactación} \times \text{distancia de accionamiento}$$

$$\text{Torque} = 2.04 \text{ N} \times 47 \text{ cm} \times \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}}$$

$$\text{Torque} = 0.959 \text{ Nm}$$

**Tabla 11.** *Datos experimentales de compactación a 200 Pa de presión.*

Peso de muestra Inicial	34.70 g
Peso de muestra compactada	32.20 g
Disminución de peso por proceso de compactación	2.50 g
Diámetro interior del molde	11.40 cm
Presión	200 Pa
Tiempo de Compactación	13 s
Fuerza de compactación	2.04 N
Torque	0.959 Nm

Fuente: Elaboración propia.

**Prueba de compactación a 210 Pa de presión.**

- Se colocó 34.7 gramos de cascarilla de arroz y se procedió a compactar.
- Se retiró la muestra compactada del molde.
- Se procedió a pesar la muestra compactada teniendo para ello 32.10 gramos.

**Tabla 12.** *Datos Experimentales con respecto a la masa inicial y masa compactada a 210 Pa de presión.*

Peso de muestra Inicial	Peso de muestra compactada	Disminución de peso por proceso de compactación	Diámetro interior del molde
34.7 g	32.10 g	2.60 g	11.40 cm

Fuente: Elaboración propia.

## Cálculo de la fuerza de compactación

Se tiene que la presión de compactación aplicada a la muestra experimental es de 210 Pa entonces se tiene:

$$F = \frac{P}{A}$$

Tenemos:

$$F_K = P_C \times A_c$$

$$P_C = \text{Presión de Compactación} = 210 \text{ Pa} = 210 \frac{N}{m^2}$$

$$A_C = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

$$A_C = \frac{3.1416 \times 129.96 \text{ cm}^2}{4}$$

$$\therefore A_C = 102.070 \text{ cm}^2$$

$$\therefore A_C = 0.0102 \text{ m}^2$$

Entonces

$$F_K = 210 \frac{N}{m^2} \times 0.0102 \text{ m}^2$$

$$F_K = 2.142 \text{ N}$$

## Cálculo del Torque

La prueba se realizó con una Prensa mecánica con un brazo metálico de accionamiento de 47 cm de longitud.

*Torque = Fuerza de Compactación x distancia de accionamiento*

$$\text{Torque} = 2.142 \text{ N} \times 47 \text{ cm} \times \frac{1\text{m}}{100 \text{ cm}}$$

$$\text{Torque} = 1.007 \text{ Nm}$$

**Tabla 13.** *Datos experimentales de compactación a 210 Pa de presión.*

Peso de muestra inicial	34.70 g
Peso de muestra compactada	32.10 g
Disminución de peso por proceso de compactación	2.60 g
Diámetro interior del molde	11.40 cm
Presión	210 Pa
Tiempo de compactación	13 s
Fuerza de compactación	2.142 N
Torque	1.007 Nm

Fuente: Elaboración propia.

#### **Prueba de compactación a 235 Pa de presión**

- Se Colocó 34.7 gramos de cascarilla de arroz y se procedió a compactar.
- Se retiró la muestra compactada del molde.
- Se procedió a pesar la muestra compactada teniendo para ello 31.90 gramos.

**Tabla 14.** *Datos Experimentales con respecto a la masa inicial y masa compactada a 235 Pa de presión.*

Peso de muestra Inicial	Peso de muestra compactada	Disminución de peso por proceso de compactación	Diámetro interior del molde
34.7 g	31.90 g	2.80 g	11.40 cm

Fuente: Elaboración propia.

## Cálculo de la fuerza de compactación

Se tiene que la presión de compactación aplicada a la muestra experimental es de 235 Pa entonces se tiene:

$$F = \frac{P}{A}$$

Tenemos:

$$F_K = P_C \times A_c$$

$$P_C = \text{Presión de Compactación} = 235 \text{ Pa} = 235 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$A_C = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

$$\therefore A_C = 102.070 \text{ cm}^2$$

$$\therefore A_C = 0.0102 \text{ m}^2$$

Entonces

$$F_K = 235 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 0.0102 \text{ m}^2$$

$$F_K = 2.397 \text{ N}$$

## Cálculo del Torque

La prueba se realizó con una Prensa mecánica con un brazo metálico de accionamiento de 47 cm de longitud.

*Torque = Fuerza de Compactación x distancia de accionamiento*

$$\text{Torque} = 2.397 \text{ N} \times 47 \text{ cm} \times \frac{1\text{m}}{100 \text{ cm}}$$

$$\text{Torque} = 1.127 \text{ Nm}$$

**Tabla 15.** *Datos experimentales de compactación a 235 Pa de presión.*

Peso de muestra Inicial	34.70 g
Peso de muestra compactada	31.90 g
Disminución de peso por proceso de compactación	2.80 g
Diámetro interior del molde	11.40 cm
Presión	235 Pa
Tiempo de Compactación	13 s
Fuerza de compactación	2.397 N
Torque	1.127 Nm

Fuente: Elaboración propia.

### **Prueba de compactación a 250 Pa de presión**

- Se colocó 34.7 gramos de cascarilla de arroz y se procedió a compactar.
- Se retiró la muestra compactada del molde.
- Se procedió a pesar la muestra compactada teniendo 31.86 gramos.

**Tabla 16.** *Datos Experimentales con respecto a la masa inicial y masa compactada a 250 Pa de presión.*

Peso de muestra Inicial	Peso de muestra compactada	Disminución de peso por proceso de compactación	Diámetro interior del molde
34.7 g	31.86 g	2.84 g	11.40 cm

Fuente: Elaboración propia

### **Cálculo de la fuerza de compactación**

Se tiene que la presión de compactación aplicada a la muestra experimental es de 250 Pa entonces se tiene:

$$F = \frac{P}{A}$$

Tenemos:

$$F_K = P_C \times A_c$$

$$P_C = \text{Presión de Compactación} = 250 \text{ Pa} = 250 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$A_C = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

$$\therefore A_C = 102.070 \text{ cm}^2$$

$$\therefore A_C = 0.0102 \text{ m}^2$$

Entonces

$$F_K = 250 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 0.0102 \text{ m}^2$$

$$F_K = 2.55 \text{ N}$$

### Cálculo del Torque

La prueba se realizó con una Prensa mecánica con un brazo metálico de accionamiento de 47 cm de longitud.

*Torque = Fuerza de Compactación x distancia de accionamiento*

$$\text{Torque} = 2.55 \text{ N} \times 47 \text{ cm} \times \frac{1\text{m}}{100 \text{ cm}}$$

$$\text{Torque} = 1.199 \text{ Nm}$$

**Tabla 17.** Datos experimentales de compactación a 250 Pa de presión.

Peso de muestra Inicial	34.70 g
Peso de muestra compactada	31.86 g
Disminución de peso por proceso de compactación	2.84 g
Diámetro interior del molde	11.40 cm



Presión	250 Pa
Tiempo de Compactación	13 s
Fuerza de compactación	2.55 N
Torque	1.199 Nm

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 18 encontramos un resumen de las diferentes presiones que se aplicaron de manera experimental en relación a los ítems que se mencionan a continuación, para así poder tener un panorama más claro de todos los valores estudiados en esta investigación.

**Tabla 18.** *Resultados de las pruebas de compactación a distintas presiones de compactación en Pa.*

Ítems	Datos experimentales a presiones de:				
	170 Pa	200 Pa	210 Pa	235 Pa	250 Pa
Peso de muestra Inicial	34.70 g	34.70 g	34.70 g	34.70 g	34.70 g
Peso de muestra compactada	32.70 g	32.20 g	32.10 g	31.90 g	31.86 g
Disminución de peso por proceso de compactación	2.00 g	2.50 g	2.60 g	2.80 g	2.84 g
Diámetro interior del molde	11.40 cm	11.40 cm	11.40 cm	11.40 cm	11.40 cm
Tiempo de compactación	13 s	13 s	13 s	13 s	13 s
Fuerza de compactación	1.734 N	2.04 N	2.142 N	2.397 N	2.55 N
Torque	0.815 Nm	0.959 Nm	1.007 Nm	1.127 Nm	1.199 Nm

Fuente: Elaboración propia.

**4.4. Realizar un análisis estadístico para validar los resultados experimentales del torque versus Fuerza de compactación, mediante uso de hojas de cálculo.**

En este objetivo para determinar los datos del torque fue necesario hallar como se muestra en la Tabla 19 la presión en Pascales (Pa) y del torque en Newton Metros (Nm), teniendo los datos se realiza un análisis estadístico para extraer las muestras y así tener datos experimentales y se pueda realizar a escala superior, para ello se utilizó lo siguiente:

**Media:** esto servirá para determinar el punto medio en las diferentes muestras experimentales que tenemos.

**Varianza:** con esta medida de dispersión lograremos determinar según los diferentes tipos de muestra, para tener un panorama ya sea para nuestra muestra y luego la escalaremos en grandes cantidades de compactación para la pajilla de arroz.

**Desviación Estándar:** utilizaremos para determinar la variación o dispersión en un conjunto de datos recopilados con las pruebas tanto de compactación como de torque.

Del mismo modo para hallar la fuerza de compactación es necesario tener los valores como se muestra en la tabla 20 la presión en Pascales (Pa) y la fuerza de compactación en Newton (N).

**Para el torque:**

Los resultados experimentales son:

**Tabla 19.** *Resultados experimentales de torque a distintas presiones.*

Presión en Pa	Datos experimentales de torque
170	0.815 Nm
200	0.959 Nm

210	1.007 Nm
235	1.127 Nm
250	1.199 Nm

Fuente: Elaboración propia

### **Análisis estadístico**

$X_i$
0.815
0.959
1.007
1.127
1.199

Fuente: Elaboración propia

Entonces hallamos:

$$\sum_{i=1}^N X_i = 0.815 + 0.959 + 1.007 + 1.127 + 1.199$$

$$\therefore \sum_{i=1}^N X_i = 5.107$$

También se sabe que el número de datos es 5 entonces:

$$\therefore n = 5$$

Hallando la media:

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{n}$$

$$\mu = \frac{5.107}{5}$$

$$\therefore \mu = 1.0214$$

El promedio de la capacidad de giro que tiene una fuerza aplicada sobre el

extrusor para realizar movimiento es de 1.0214 Nm

Hallando la varianza:

$X_i$	$\mu$	$X_i - \mu$	$(X_i - \mu)^2$
0.815	1.0214	-0.2064	0.04260
0.959	1.0214	-0.0624	0.00389
1.007	1.0214	-0.0144	0.00021
1.127	1.0214	0.1056	0.01115
1.199	1.0214	0.1776	0.03154
$\sum_{i=1}^N X_i = 5.107$			$\sum_{i=1}^N (X_i - \mu)^2 = 0.08939$

Fuente: Elaboración propia

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \mu)^2}{n}$$

$$\sigma^2 = \frac{0.08939}{5}$$

$$\therefore \sigma^2 = 0.0179$$

Hallando la desviación estándar

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2}$$

$$\sigma = \sqrt{0.0179}$$

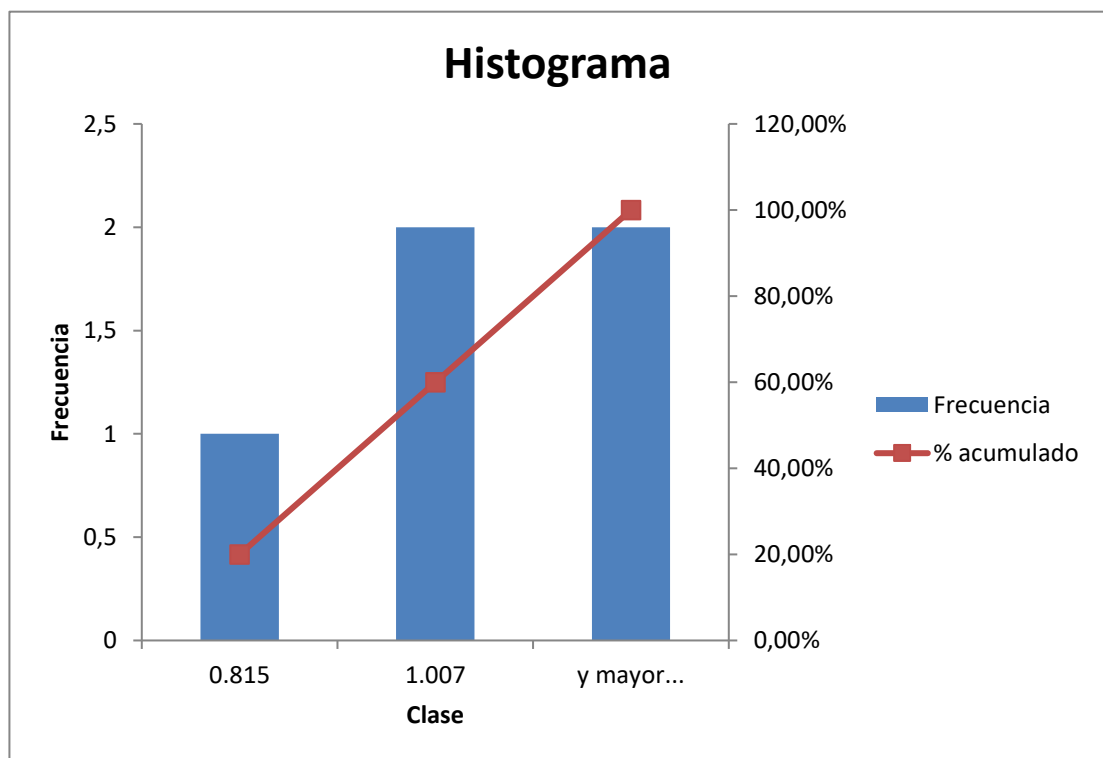
$$\sigma = 0.134$$

La desviación estándar con respecto a su media es de 0.134 en promedio.

En promedio, la capacidad de giro que tiene una fuerza aplicada sobre el extrusor para realizar movimiento se desvía de la media aproximadamente 0.134 Nm, lo que significa que los datos no están muy dispersos.

Clase	Frecuencia	% acumulado
0.815	1	20.00%
1.007	2	60.00%
Y mayor...	2	100.00%

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

### Para la Fuerza de Compactación:

Los resultados experimentales son:

**Tabla 20.** Resultados experimentales de fuerzas de compactación a distintas presiones.

Presión en Pa	Datos experimentales de fuerzas de compactación en N
170	1.734

200	2.040
210	2.142
235	2.397
250	2.550

Fuente: Elaboración propia

### **Análisis estadístico**

$X_i$
1.734
2.040
2.142
2.397
2.550

Entonces hallamos:

$$\sum_{i=1}^N X_i = 1.734 + 2.040 + 2.142 + 2.397 + 2.550$$

$$\therefore \sum_{i=1}^N X_i = 10.863$$

También se sabe que el número de datos es 5 entonces:

$$\therefore n = 5$$

Hallando la media:

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{n}$$

$$\mu = \frac{10.863}{5}$$

$$\therefore \mu = 2.1726$$

La fuerza de compactación en los 5 experimentos tiene un promedio de 2.1726N

Hallando la varianza:

$X_i$	$\mu$	$X_i - \mu$	$(X_i - \mu)^2$
1.734	2.1726	-0.4386	0.1924
2.040	2.1726	-0.1326	0.0176
2.142	2.1726	-0.0306	0.0009
2.397	2.1726	0.2244	0.0504
2.550	2.1726	0.3774	0.1424
$\sum_{i=1}^N X_i$ = 10.863			$\sum_{i=1}^N (X_i - \mu)^2$ = 0.4037

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \mu)^2}{n}$$

$$\sigma^2 = \frac{0.4037}{5}$$

$$\therefore \sigma^2 = 0.08074$$

Hallando la desviación estándar

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2}$$

$$\sigma = \sqrt{0.08074} \rightarrow \sigma = 0.2841$$

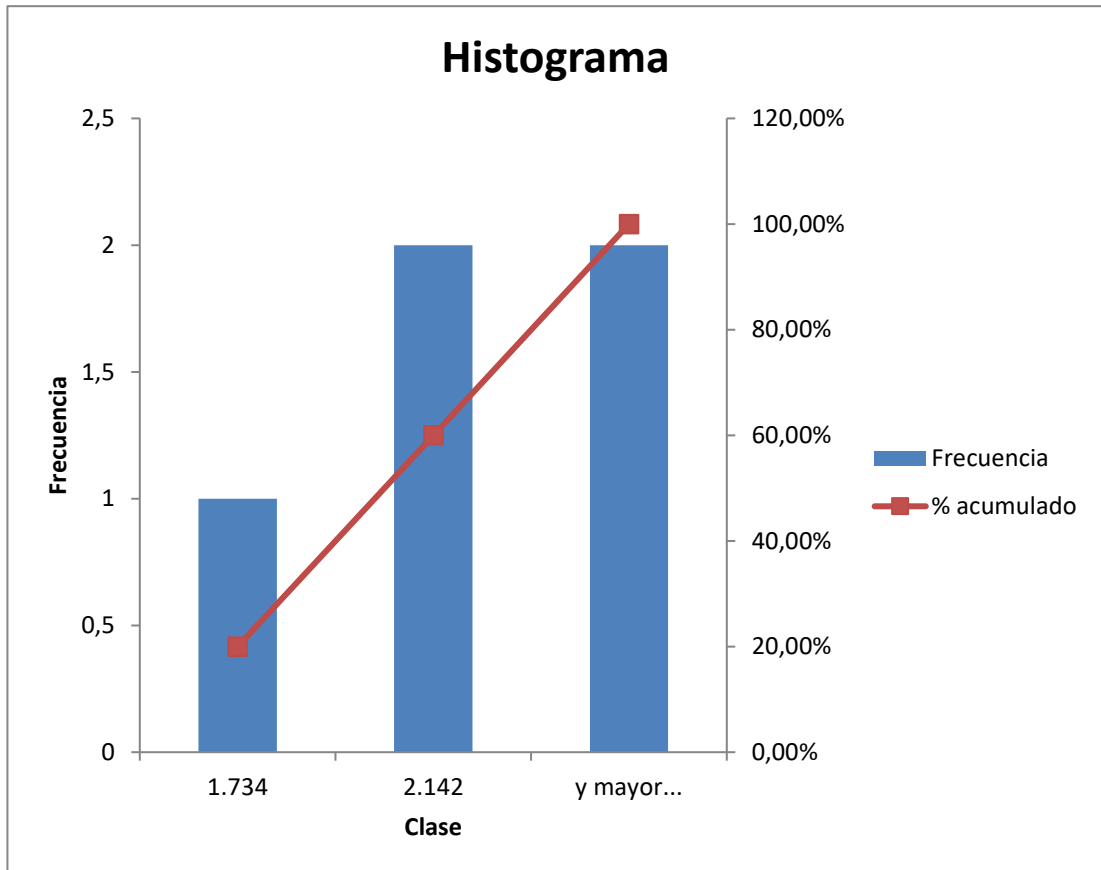
La desviación estándar con respecto a su media es de 0.2841 en promedio.

En promedio, la fuerza de compactación se desvía de la media aproximadamente 0.2841 N, lo que significa que los datos no están muy dispersos.

Clase	Frecuencia	% acumulado
1.734	1	20.00%

2.142	2	60.00%
Y mayor...	2	100.00%

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 21. Datos del análisis estadístico.**

Ítem	Número de datos ( $n$ )	Media ( $\mu$ )	Varianza ( $\sigma^2$ )	Desviación estándar ( $\sigma$ )
Torque	5	1.0214	0.0179	0.134
Fuerza de compactación	5	2.1726	0.08074	0.2841

Fuente: Elaboración propia

Análisis Estadístico con la utilización del Paquete IBM SPSS 22, para verificar los estadígrafos de concentración, estadígrafos de dispersión,



análisis de regresión, simple y múltiple, análisis de covarianza, y pruebas paramétricas de significancia de la muestra (Con que limite de confianza y margen de error, la muestra de datos secundarios, obtenidos, representa al universo trabajado)

Definición de las variables con las cuales se trabajó:

	Nombre	Tipo	Anchura	Decimales	Etiqueta	Valores	Perdidos	Columnas	Alineación	Medida	Rol
1	PRESION	Númérico	8	0		Ninguna	Ninguna	8	Derecha	Desconocido	Entrada
2	FUERZA	Númérico	8	4		Ninguna	Ninguna	8	Derecha	Desconocido	Entrada
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21											
22											
23											
24											
25											
26											
27											
28											
29											

Figura 06. Valores con los cuales se trabajó.

Con los siguientes rangos de valores, para cada una de las variables

	PRESION	FUERZA	var	var	var	var	var	var	var	var	var	var	var	var	var	var	var	var
1	170	1,7340																
2	200	2,0400																
3	210	2,1420																
4	235	2,3970																
5	250	2,5500																
6																		
7																		
8																		
9																		
10																		
11																		
12																		
13																		
14																		
15																		
16																		
17																		
18																		
19																		
20																		
21																		
22																		
23																		
24																		
25																		
26																		
27																		

Figura 07. Rango de valores con los cuales se trabajó.

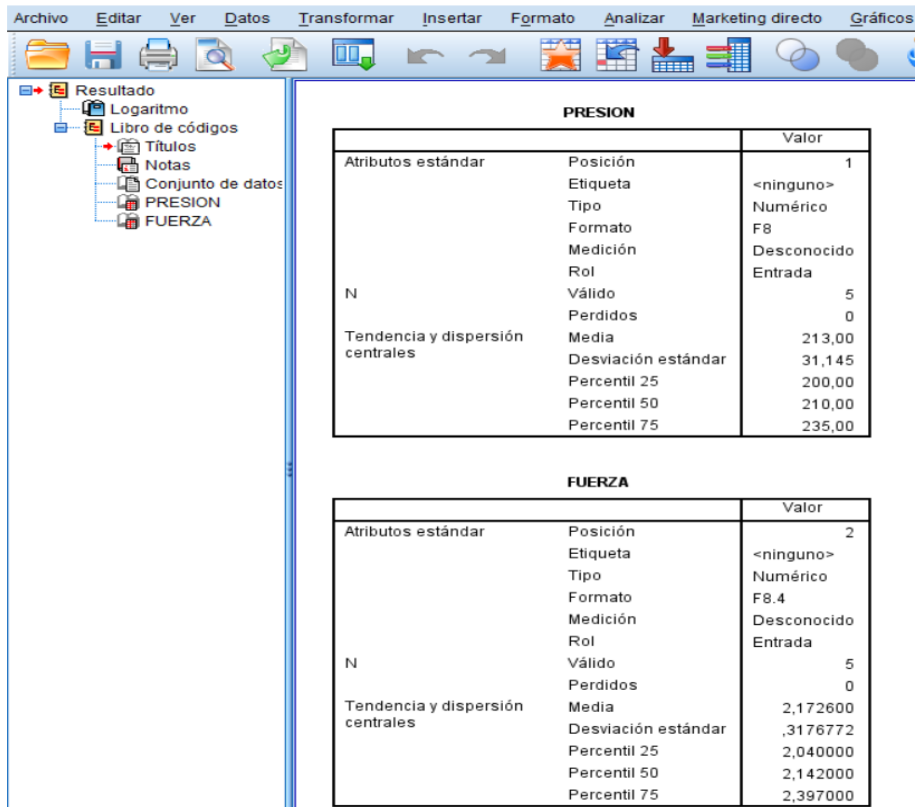


Figura 08. Libro de códigos de las variables.

Las tablas cruzadas de las variables utilizadas fueron:

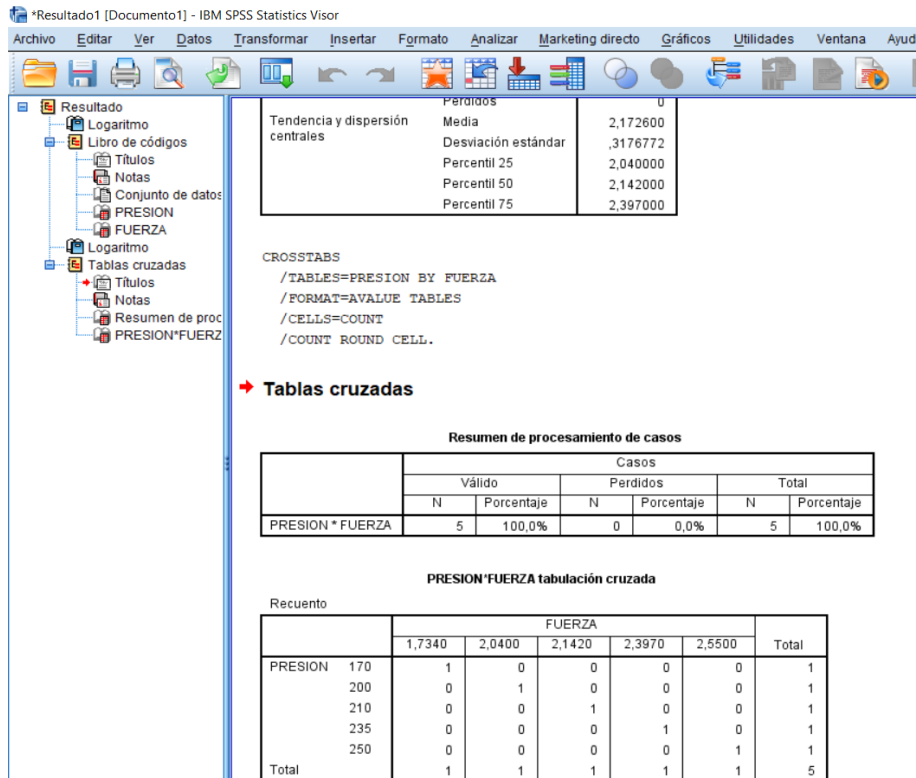


Figura 09. Tablas cruzadas según reporte SPSS 22.

En cuanto a la prueba T y el análisis unidireccional

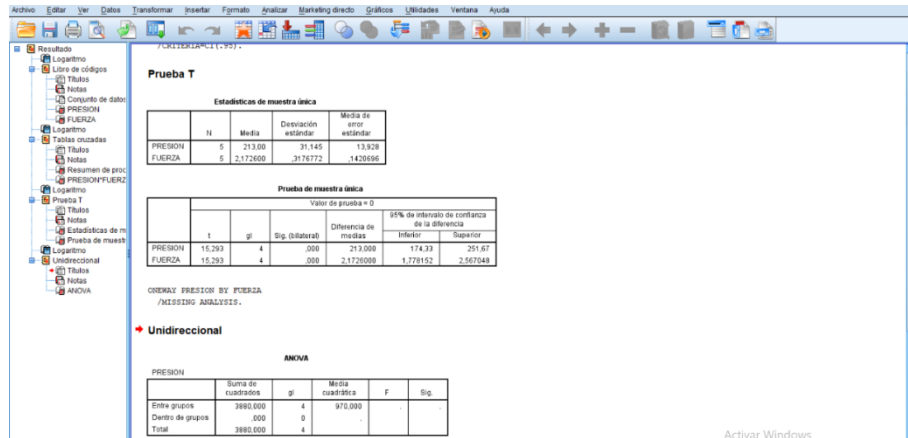


Figura 10. Prueba T de Student y análisis ANOVA.

En cuanto al análisis de correlación simple y correlación paramétrica, tenemos lo siguiente:

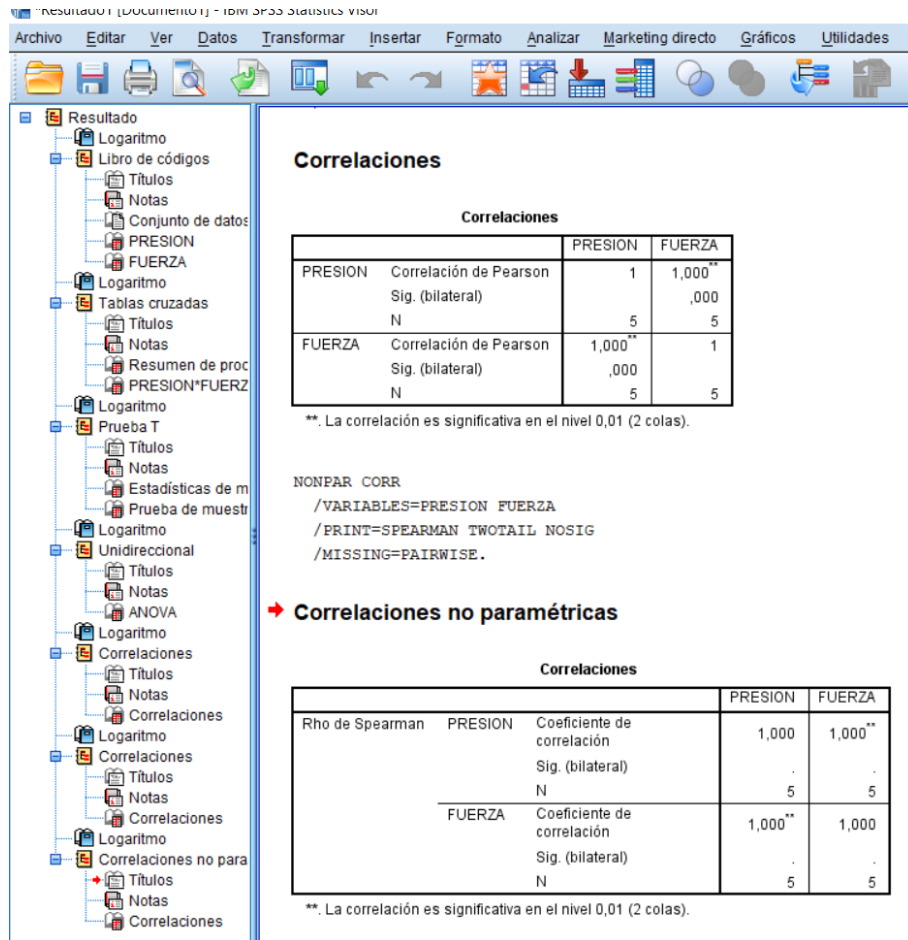


Figura 11. Correlaciones de Pearson y de Spearman.

En cuanto a las modelaciones lineales automatizadas, tenemos que:

**Modelación lineal automatizada**

**Advertencias**

adp: No se realizará la combinación supervisada porque no hay entradas categóricas.

**Resumen de procesamiento de casos**

	N	Porcentaje
Incluido	5	100,0%
Excluido	0	0,0%
Total	5	100,0%

**Resumen del modelo**

Objetivo	P
Preparación de datos automática	A
Método de selección de modelos	P
criterio de información	

El criterio de información se utiliza para modelos. Los modelos con valores de información menores se ajustan mejor. No se han seleccionado efectos. El modelo incluye sólo la interceptación.

Peor

Figura 12. Modelación Lineal Automatizada.

En cuanto a las correlaciones, debemos de indicar:

**Correlaciones**

**Correlaciones**

		PRESION	FUERZA
PRESION	Correlación de Pearson	1	1,000**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	5	5
FUERZA	Correlación de Pearson	1,000**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	5	5

\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas).

NONPAR CORR  
/VARIABLES=PRESION FUERZA  
/PRINT=SPEARMAN TWOTAIL NOSIG  
/MISSING=PAIRWISE.

**Correlaciones no paramétricas**

**Correlaciones**

		PRESION	FUERZA
Rho de Spearman	PRESION	Coefficiente de correlación	1,000
		Sig. (bilateral)	,000
		N	5
FUERZA		Coefficiente de correlación	1,000**
		Sig. (bilateral)	,000
		N	5

\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas).

Figura 13. Correlaciones simple y paramétricas.

En cuanto a las pruebas no paramétricas, tenemos lo siguiente:

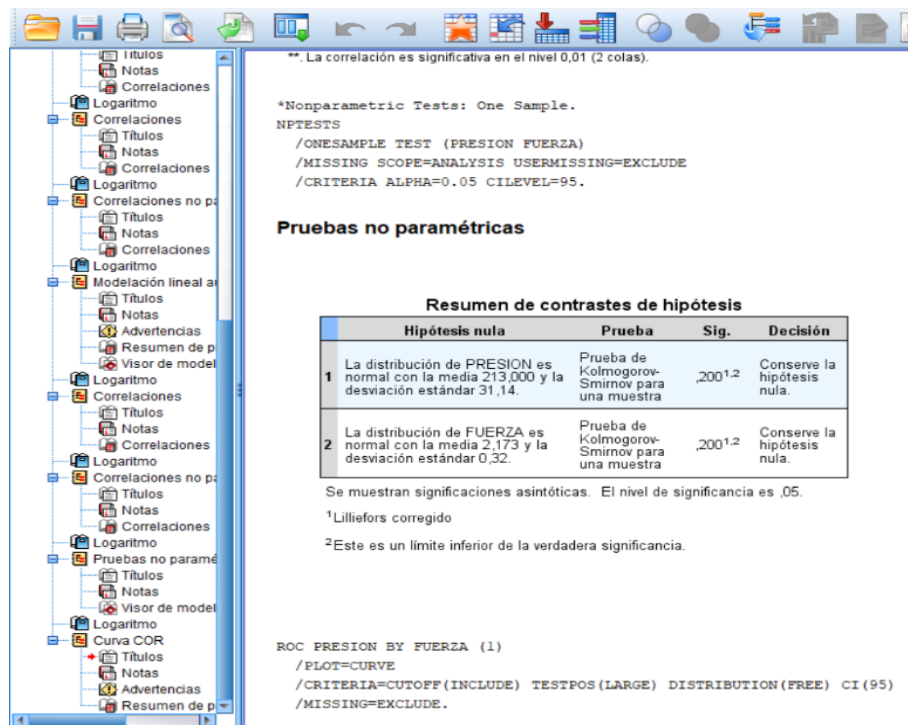


Figura 14. Pruebas de contraste de hipótesis.

En cuanto a la variación de la curva COR, se tuvo que:

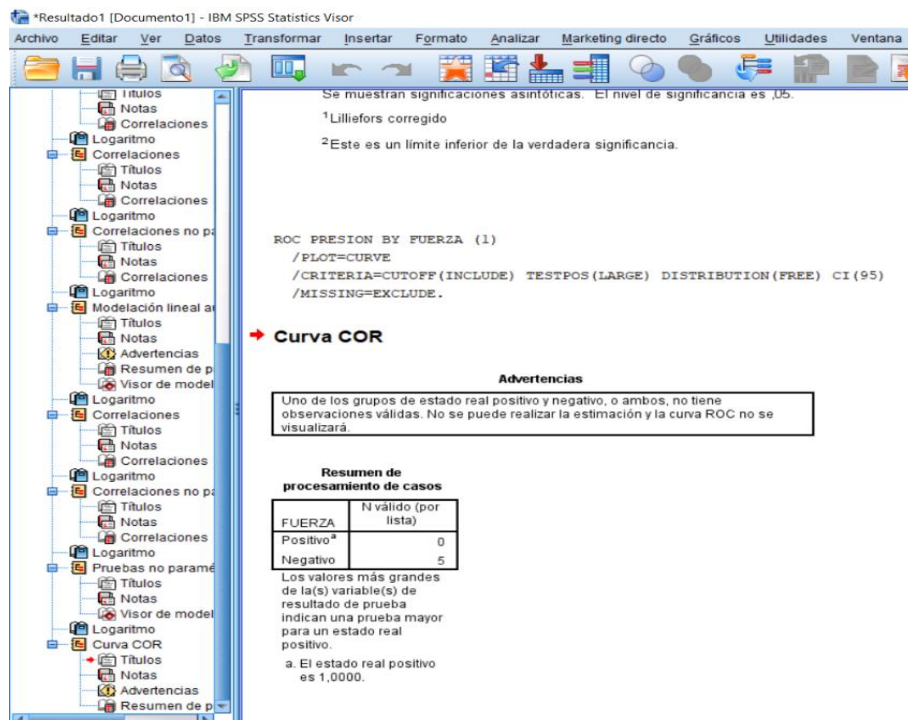


Figura 15. Variación de la curva COR.

## V. DISCUSIÓN

Se manifiesta que uno de los problemas es que al generar cascarilla de arroz todos los días y en grandes cantidades produce su acumulación; por lo que, si es que no se realiza alguna acción para su eliminación o aprovechamiento puede traer grandes inconvenientes con respecto al desorden en su almacenamiento

En el presente trabajado de investigación se determinó la caracterización de las propiedades mecánicas de la cascarilla de arroz obteniendo un porcentaje del 24.7% de humedad, Densidad real de 1.02 g/cm<sup>3</sup> y un cálculo de 2.4% de cenizas así mismo se tuvo en cuenta las siguientes presiones: 170, 200, 210, 235, 250 Pa,

Una de las limitaciones que tuvimos al momento de realizar los cálculos de las propiedades mecánicas de la cascarilla de arroz y del cálculo de las fuerzas de compactación son las constantes usadas en las fórmulas que mayormente trabajan con densidad, esfuerzos y otros datos de la biomasa empleada.

Por ejemplo la merma es una materia prima que no cuenta con datos de esfuerzos o propiedades mecánicas que se puedan encontrar en alguna base teórica, por ese motivo es que se tomaron los moldes para las pruebas de compactación a diferentes presiones aplicadas a la masa de la pajilla formada, para el tema de la densidad, y para algunas propiedades mecánicas calculadas se tuvieron que tomar masas iniciales sin tener un concepto técnico de cuanto debería de ser la masa inicial para el inicio de las pruebas escogiendo para ello 10 gramos para la determinación de las propiedades mecánicas y 34.7 gramos para las pruebas de compactación determinando que para una presión de 170 Pa se obtuvo una fuerza de compactación de 1.735 N, para 200 Pa se obtuvo 2.04 N.

Así mismo para una presión de 210 Pa se obtuvo 2.397 N de fuerza de compactación y por ultimo para una presión de 250 Pa se obtuvo un valor de 2.55 de fuerza de compactación en comparación con lo que manifiesta en su investigación donde diseño sistemas para compactar biomasa de la merma de arroz con el fin de producir briquetas para usarlas como combustible manifiesta que la falta de equipamiento especializado para el tratamiento de la cascarilla de arroz y el aserrín que se producía en todo el proceso de producción del arroz conlleva a

tener como objetivo principal el cual se obtuvo 17,8 % de contenido de humedad, 2,7% de contenido de cenizas y un 1,15 Kg /L de densidad. Así mismo que compacto la biomasa de la pajilla de arroz la realizaban por fuerza y empuje mediante un sistema hidráulico teniendo para ello diferentes muestras las se aplicaron presiones de 170 Pa, 200 Pa, 210 Pa, 235, Pa y 250 Pa obteniendo para diferentes fuerzas de compactación.

<b>Propiedades</b>	Investigación actual	Cabezas (2015)
	<b>Valor</b>	<b>Valor</b>
Humedad (%)	24.7%	17.8%
Densidad Real (g/cm <sup>3</sup> )	1.02 kg/L	1.15 kg/L
% Cenizas	2.4%	2.7%

Fuente: Elaboración propia

<b>Ítems</b>	<b>Datos experimentales a presiones de:</b>				
	<b>170 Pa</b>	<b>200 Pa</b>	<b>210 Pa</b>	<b>235 Pa</b>	<b>250 Pa</b>
Fuerza de compactación (Investigación actual)	1.734 N	2.04 N	2.142 N	2.397 N	2.55 N
Fuerza de compactación Cabezas (2015)	0.98 N	2.35 N	2.75 N	3.53 N	3.92 N

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, Rivera y Alcázar (2013, p.15) Manifiesta que, en la molinera, el almacenamiento de la cascarilla de arroz es extremadamente voluminoso, esto conlleva a que, al no eliminarse en un periodo establecido, lograría una obstrucción en los equipos que descascaran el arroz, eso causaría graves problemas en las maquinarias y periodos de tiempo que se dejaría de producir.

Se concluyó que se optará por la fabricación de las máquinas compactadoras de cascarilla de arroz con su caracterización de manera específica que requiere la molinera, para lo cual es indispensable que la maquina compactadora de pajilla se instale en la descarga de la descascaradora para el mejor aprovechamiento de los recursos y también la fijación de un registrador de parámetros como torque para el mejor control de su funcionamiento.

Se manifiesta que uno de los problemas es que al producir pajilla de arroz durante varios periodos de tiempo y en gran cantidad, iría acumulándose, esto se debe a que realizan acciones para eliminarlos o aprovecharlos de lo contrario causaría muchos inconvenientes con respecto al desorden en su almacenamiento es por la que en el presente trabajo de investigación se realiza una caracterización de las propiedades mecánicas de la cascarilla de arroz obteniendo un porcentaje del 24.7% de humedad, Densidad real de 1.02 g/cm<sup>3</sup> y un cálculo de 2.4% de cenizas, luego se realizan diferentes pruebas de compactación para de esta manera observar cual es el comportamiento de la masa de prueba con respecto a la fuerza de compactación aplicada en distintas presiones de compactación en tal sentido se apoya lo que manifiesta Rivera y Alcázar (2013, p.15), en su trabajo de investigación.

<b>Propiedades</b>	Investigación actual	Rivera y Alcázar (2013)
	<b>Valor</b>	<b>Valor</b>
Humedad (%)	24.7%	21.4%
Densidad Real (g/cm <sup>3</sup> )	1.02 g/cm <sup>3</sup>	1.16 g/cm <sup>3</sup>
% Cenizas	2.4%	2.1%

Fuente: Elaboración propia

Para lo cual se manifiesta que los valores de humedad, densidad y porcentaje de ceniza varían, pero no son variaciones tan considerables rescatando de estos resultados es que la evaluación realizada por ambos actores se aplica a las mismas propiedades mecánicas de la cascarilla de arroz antes de realizar los cálculos y pruebas experimentales.



Así mismo, Querebalú y Herrera (2018, p. 32), tuvo como objetivo principal el diseño de maquinarias que politizan en torno a las mermas de arroz con capacidades de hasta 200kg.h para la empresa mencionada, lo cual usaban los materiales como bio combustibles, concluyó también que lograron una determinación en productos diarios de mermas aumentando a 2000kg.h por medio de tablas de producción que obtienen desde el interno, esta maquinaria emplearía 240kg.h de la merma que se arroja por los procesos de la molienda y bota de manera eficiente 200kg.h de pellets.

Sobre las teorías de las variables estudio, tenemos sobre la Cascarilla de Arroz que es definida como un desecho que se obtiene posterior al proceso de pulido donde se logra la obtener arroz para que pueda consumir la gente.

Discusión:

Una de las limitaciones que tuvimos al momento de realizar los cálculos de las propiedades mecánicas de la cascarilla de arroz y del cálculo en la fuerza que debe comprimir en cada una de las pruebas, estas se usan de manera constante en las ecuaciones que gobiernan las densidades, esfuerzos y demás datos en aplicaciones con biomasa, la cascarilla de arroz no contaba con teorías que la relaciones a sus propiedades mecánicas por ellos tomamos los moldes para las pruebas de compactación a diferentes presiones aplicadas a la masa de la pajilla formada, para el tema de la densidad, y para algunas propiedades mecánicas calculadas se tuvieron que tomar masas iniciales sin tener un concepto técnico de cuanto debería de ser la masa inicial para el inicio de las pruebas escogiendo para ello 10 gramos para la determinación de las propiedades mecánicas y 34.7 gramos para las pruebas de compactación.

Ítems	Datos experimentales a presiones de:				
	170 Pa	200 Pa	210 Pa	235 Pa	250 Pa
Peso de muestra Inicial	34.70 g	34.70 g	34.70 g	34.70 g	34.70 g
Peso de muestra compactada	32.70 g	32.20 g	32.10 g	31.90 g	31.86 g

---

Disminución de peso por proceso de compactación	2.00 g	2.50 g	2.60 g	2.80 g	2.84 g
---	--------	--------	--------	--------	--------

---

Fuente: Elaboración propia

Con esto datos nos lleva a preguntarnos si ¿la forma de compactar mediante un análisis de datos y muestras realizadas es la mejor opción? o construir un equipo que compacte a gran escala solo con los datos de la pajilla de arroz, o tal vez no sea necesario compactarla solo reutilizarla en otras actividades.

## VI. CONCLUSIONES

1. Se determinó las propiedades mecánicas de la cascarilla de arroz siendo estas 24.7% de humedad utilizando para ello 10 gramos de cascarilla de arroz, Densidad real de 1.02 g/cm<sup>3</sup> utilizando 102 gramos de muestra y un cálculo de 2.4% de cenizas con una muestra aproximada de 30 gramos de cascarilla de arroz.
2. Se realizaron las pruebas de compactación en las que se utilizó una muestra de 34.7 gramos que contiene 100% de cascarilla de arroz, cada una de ellos se procedió a compactarlas en la prensa con molde de longitud igual a 60 cm, diámetro interior de 11.40 cm y diámetro externo de 12.00 cm a presiones de 170 – 200 – 210 – 235 – 250 Pa respectivamente.
3. Se determinaron los valores del torque para sus presiones correspondientes siendo estas. Para una presión de 170 Pa es de 0.815 Nm, para una presión de 200 Pa es de 0.959 Nm como también para una presión de 210 el torque es de 1.007 Nm, para una presión de compactación de 235 Pa se tiene un torque de 1.127 Nm y por último para una presión de 250 Pa el torque aplicado en la prueba de compactación es de 1.199 Nm.
4. Del análisis estadístico realizado a los datos experimentales de torque y fuerza de compactación, se tiene que en promedio según los datos experimentales el torque es de 1.0214 Nm, con una varianza de 0.0179 y La desviación estándar con respecto a su media es de 0.134 lo cual nos indica que los datos no se encuentran muy dispersos en promedio. mismo comprobamos que la fuerza de compactación Así en los 5 experimentos obtuvo una media de 2.1726 N, con una varianza de 0.08074 y La desviación estándar con respecto a su media es de 0.2841 en promedio. con estos datos que permita estudiar y determinar tanto en torque como fuerza de compactación en grandes cantidades, o a escalas mayores.

## VII. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda complementar esta investigación realizando un estudio de las propiedades caloríficas de la cascarilla de arroz determinando si este puede utilizarse como combustible en diferentes procesos industriales y domésticos.
2. se recomienda que se aplique las empresas tomen como referencia esta investigación al momento de hacer un plan de tratamiento de la pajilla de arroz, evitando gran acumulación de pajilla abarcando una gran área, que los costos de almacenamiento y transporte para ser retirada, estos tienen un alto costo y un riesgo latente de incendios.
3. Se recomienda que, si la molinera desea vender la cascarilla, esto será dependiente de cuanta cascarilla produce, debido a que el costo tiene que competir con otros molinos y ser más accesible en relación a los derivados del petróleo.
4. Se recomienda realizar las pruebas de humedad, densidad y de porcentaje de cenizas a muestras ya compactadas determinando de esta manera las cantidades de humedad que se están liberando a distintas presiones de compactación como también la resistencia a la flexión de la masa compactada.

## REFERENCIAS

AGUIRRE, Freddy y COSTILLA, Néstor. Propuesta de una Briqueta Ecológica utilizando cascarilla y polvillo de arroz. Tesis (Título en ingeniería industrial). Trujillo: Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI, 2017. Disponible en <http://repositorio.uct.edu.pe/handle/123456789/278>

ALCÁZAR, Daniel, CARRASCO, Segundo, DÍAZ, Ángel, RIVERA, Geovana, RODRÍGUEZ, Luis y ROJAS, Raúl. Mejora de la productividad mediante la compactación de cascarilla de arroz y la venta del subproducto en la empresa Molinos Los Ángeles. Trabajo de investigación. Piura: Universidad de Piura, 2013. Disponible en <https://hdl.handle.net/11042/1736>

BALTUNO, Edwin. Diseño de una máquina compactadora de latas de bebidas de aluminio. Tesis (Título en ingeniería mecánica). Lima: Pontifica Universidad Católica Del Perú, 2013. Disponible en <http://hdl.handle.net/20.500.12404/4950>

BAJAÑA, Jaime y López, Cintia. Design and construction of a compactor cans and PET. Tesis (Título en Ingeniería industrial). Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador, 2016. Disponible en <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13386/1/UPS-GT001750.pdf>

BAPTISTA, Pilar, FERNÁNDEZ, Carlos y HERNÁNDEZ, Roberto. Metodología de la investigación. 6.a ed. México D.F: McGraw-Hill/Interamericana Editores, 2014. 600 pp.

ISBN: 9781456223960

Cabezas, Irene. Diseño de un sistema de compactación de biomasa de cascarilla de arroz y serrín, en la producción de bloques sólidos combustibles (BSC). Tesis (Título de Ingeniería Química). Ecuador: Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, 2009. Disponible en <https://1library.co/document/qmj6w75q-diseno-sistema-compactacion-cascarilla-aserrin-produccion-solidos-combustibles.html>

CAMACHO, Adriana y MENA, María. Diseño y fabricación de un ladrillo ecológico como material sostenible de construcción y comparación de sus propiedades mecánicas con un ladrillo tradicional. Tesis (Título en ingeniería civil). Quito:

Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 2018. Disponible en <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/14548/TESIS%20FINAL%20Adriana%20Camacho-Mar%C3%ADaJos%C3%A9%20Mena.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CENGEL, Yunus y GHAJAR, Afshin. Transferencia de calor y masa. Fundamentos y aplicaciones. 4.a ed. México: McGraw-Hill/Interamericana Editores, 2011. 922 pp. ISBN: 9786071505408

CHIAVENATO, Idalberto. Administración de recursos humanos. 5.a ed. Santafé de Bogotá: McGraw-Hill/Interamericana Editores, 2005. 721 pp. ISBN: 9584100378

COAGUÍLA, Hipólito y TIRADO, Gabriel. Diseño de un sistema de control semiautomático para una compactadora horizontal oleohidráulica de cascarillas de arroz. Tesis (Título en ingeniería mecatrónica). Lima: Universidad Tecnológica del Perú, 2018. Disponible en: [http://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/UTP/1545/1/H%C3%ADpolito%20Coagu%C3%ADla\\_Trabajo%20de%20Suficiencia%20Profesional\\_T%C3%ADtulo%20Profesional\\_2018.pdf](http://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/UTP/1545/1/H%C3%ADpolito%20Coagu%C3%ADla_Trabajo%20de%20Suficiencia%20Profesional_T%C3%ADtulo%20Profesional_2018.pdf)

COBA, Alejandro y LEÓN, Pablo. Diseño y construcción de máquina compactadora de alimento para ganado de engorde, 150 Kg/h. Tesis (Título de ingeniero mecánico). Sangolquí: Escuela Politécnica del ejército, 2006. Disponible en <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/598/T-ESPE-014417.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CUNALATA, Carlos. Diseño y análisis estructural de un prototipo de compactadora de chatarras de aluminio para el reciclaje. Tesis (Título en ingeniería electromecánica). Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi, 2011. Disponible en <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/1051>

ECHEVARRIA, Manuel, LÓPEZ, Orlando. Caracterización energética de la cascarilla de arroz para su aplicación en la generación de energía termoeléctrica. Tesis (Título en ingeniería mecánica). Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2010. Disponible en <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2058>

ENRÍQUEZ, Gilberto. El ABC del alumbrado y las instalaciones eléctricas en baja tensión. 2ª ed. México D.F.: Editorial Limusa S.A., 2006. 351 pp.

ISBN: 9681860500

DEMERA, Santiago y ROMERO, Bogar. Evaluación del uso de los residuos de cascarilla (*Oryza sativa* L.) como agregado en bloques para la construcción. Tesis (Título en Ingeniería en medio ambiente). Calceta: Escuela superior politécnica agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, 2018. Disponible en <http://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/807/1/TTMA5.pdf>

FERNÁNDEZ, Alcibiades. Propuesta De Diseño De Compactadora De Cascarilla De Arroz Para Mejorar Eficiencia En La Productividad Del Molino Semper S.A.C – Lambayeque. Tesis (Título en Ingeniería mecánica eléctrica). Chiclayo: Universidad César Vallejo, 2016. Disponible en <https://hdl.handle.net/20.500.12692/17261>

GARCÍA, B. Planeación De La Capacidad De Producción. México: Editorial Trillas, 2010.

GONZÁLEZ, M. Morteros ligeros de cáscara de arroz. IV congreso nacional de ingeniería civil. Lima, Perú, 1- 10, noviembre 2009. HEIZER, JAY. 2012. Dirección de la producción y de operaciones: Decisiones Estratégicas. Madrid: Pearson Education.

MEDINA, Samuel. Diseño de una máquina compactadora de botellas de plástico. Tesis (Título en ingeniería mecánica). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2012. Disponible en <http://hdl.handle.net/20.500.12404/1655>

METODOLOGÍA de la investigación cuantitativa - cualitativa y redacción de la tesis por Humberto Ñaupas [et al.]. 5.a ed. Bogotá: Ediciones de la U, 2018. 562 pp.

ISBN 9789587628760

NAJAR, Carlos y ÁLVAREZ, José. Mejoras en el proceso de producción y modernización mediante sustitución y tecnologías limpias”. Arequipa: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2007. Disponible en <https://doi.org/10.15381/idata.v10i1.6210>

OROZCO, Eduard (2016) "Plan de mejora para aumentar la productividad en el área de producción de la empresa Confecciones Deportivas Todo Sport. Chiclayo – 2015". Chiclayo: Universidad Señor de Sipán. Disponible en <http://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/2312>

PISCOYA, Guillermo. Diseño de prensa de cascarilla de arroz de 1.5 ton/h para su compactación en el molino Sudamérica S.A.C. Tesis (Título en ingeniería mecánica eléctrica). Chiclayo: Universidad César Vallejo, 2019. Disponible en <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/44708>

SALDAÑA, Juan. Resistencia a la compresión y permeabilidad de mortero sustituyendo el cemento en 10% y 20% por polvo de cáscara de huevo y ceniza de cáscara de arroz. Tesis (Título en ingeniería civil). Chimbote: Universidad San Pedro, 2018. Disponible en [http://repositorio.usanpedro.edu.pe/bitstream/handle/USANPEDRO/8028/Tesis\\_59552.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.usanpedro.edu.pe/bitstream/handle/USANPEDRO/8028/Tesis_59552.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

PLANELLS, A. El problema con la producción de arroz, intervención perniciosa. La Prensa, 06 de febrero de 2014. Disponible en: [https://imprensa.prensa.com/opinion/problema-produccion-arroz-Annette-Planells\\_0\\_3862113839.html](https://imprensa.prensa.com/opinion/problema-produccion-arroz-Annette-Planells_0_3862113839.html)

PIEDRA, Sthefania. Mejoramiento del control de la etapa de pulido mediante el análisis de regresión de las variables que inciden en el proceso de pilado de arroz. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral. Disponible en <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/11925>

QUEREBALU, José y HERRERA, Mario. Diseño de una máquina procesadora de pellets en base a merma de arroz con capacidad de 200 Kg/H, para la empresa ESCALY S.R.L. – Lambayeque. Pimentel: Universidad Señor de Sipán, 2018. Disponible en <https://core.ac.uk/download/pdf/270313596.pdf>

SERRANO, Tomas, BORRACHERO, Victoria, MONZÓ, José y PAYÀ, Jordi. Morteros aligerados con cascarilla de arroz: Diseño de mezclas y evaluación de propiedades [en línea]. 2012. [fecha de consulta 15 de agosto de 2020]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49624958016>. ISSN: 0012-7353.



SHIROSE, K. TPM Team Guide, 1995. Nueva York: Ediciones Productivity Press.

SUZIK, T. TPM in Process Industries, 2004. Nueva York: Productivity Press.

TESÉN, Luis. Diseño de una prensa hidráulica horizontal de 300 Tm para mejorar el montaje y desmontaje de piezas mecánicas en el taller Metal Mecánica Industrial. Tesis (Título de ingeniero mecánico electricista). Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, 2019. Disponible en <http://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/UNPRG/8378/BC-4779%20TESEN%20BRAVO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

TORRELL, F., (2010). TPM en un Entorno Lean Management. España: Profit.

TORRES, Natalia. Diseño de un sistema domótico para el monitoreo de consumo de energía en el hogar. Tesis (Título en Ingeniería de sistemas y computación). Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. Disponible en <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/7322/6298T693.pdf?sequence=1>

REÁTEGUI, Luis. Máquina briquetadora para la producción de briquetas de cascarilla de arroz en la empresa Molinera Cumbasillo de Tarapoto, 2018. Tesis (Título en ingeniería mecánica eléctrica). Tarapoto: Universidad César Vallejo, 2019. Disponible en <https://hdl.handle.net/20.500.12692/36976>

TORRES, Walter y ALVARADO, Carlos. Creación e implementación de una industria arroceras con tecnología de punta en el Cantón Simón Bolívar. Tesis (Título en Ingeniería comercial). Ecuador: Universidad Estatal del Milagro. Disponible en <http://repositorio.unemi.edu.ec/handle/123456789/1710>

VALVERDE, Agustín, SARRIA, Bienvenido, MONTEAGUDO Y. y JOSÉ P. Análisis comparativo de las características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz [en línea]. 2007, XIII (37), 255-260 [fecha de consulta 19 de julio de 2020]. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84903743>

ISSN: 0122-1701.

## ANEXOS

### Anexo 01. Matriz de operacionalización de variables

Variables de estudio	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	Escala de medición
Variable independiente:  Torque	Se define como el momento de una fuerza, respecto al eje de giro para actuar sobre una carga. (Gonzales y Tejada, 2013, p. 9)	Es la capacidad de giro que tiene una fuerza aplicada sobre el extrusor para realizar el movimiento.	Fuerza  Diámetro	Newton  metros	Dinamómetro  Wincha
Variable dependiente:  Compactación de cascarilla de arroz	Es la disminución del volumen de materiales teniendo como objetivo principal reducir el tamaño para un mejor almacenaje. (Acosta, 2019, p.6)	Es el proceso de aumentar la densidad de la cascarilla de arroz mediante la aplicación de fuerzas externas	Masa  Volumen	Kilogramo  Metros cúbicos	Balanza

## Anexo 02. Instrumentos de recolección de datos

### Ficha de producción diaria de cascarilla de arroz

Días	Prod. Turno "A"	Prod. Turno "B"	Prod. Total	Observaciones	Firma del encargado
Lunes					
Martes					
Miércoles					
Jueves					
Viernes					
Sábado					
Domingo					
Producción semanal			Total		
En kilos					
En toneladas					

\_\_\_\_\_  
Jefe de Área

**Ficha de revisión de documentos**

**1. Información bibliográfica**

**Autor:**

**Año del documento:**

**Editorial:**

**2. Información del documento revisado**

**Título:**

**Páginas revisadas:**

**Ubicación del documento revisado:**

**Fecha y hora de consulta:**

**3. Datos a recolectar**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---