

**Extracción de aceite contenido en el salvado de arroz mediante el proceso de extrusión con regulación de variables como temperatura, humedad, y presión, además de la fijación de parámetros de funcionamiento de la maquina extrusora de la universidad de Ibagué.**

**Camilo Andres Amézquita Ruiz**

**Programa de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de Ibagué  
Ibagué, Noviembre 15 de 2018**

**Extracción de aceite contenido en el salvado de arroz mediante el proceso de extrusión con regulación de variables como temperatura, humedad, y presión, además de la fijación de parámetros de funcionamiento de la maquina extrusora de la Universidad de Ibagué.**

**Camilo Andrés Amézquita Ruiz**

**Trabajo asistencia de investigación presentada como requisito para optar al  
título de  
INGENIERO MECÁNICO**

**Director: Ph D. Héctor Mauricio Hernández Sarabia**

**Programa de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de Ibagué  
Ibagué, Noviembre 15 de 2018**

## TABLA DE CONTENIDO

|  |    |
|--|----|
| 1. PROYECTO A DESARROLLAR.....                             | 8  |
| 2. RESUMEN.....  | 9  |
| 3. INTRODUCCIÓN.....                                       | 10 |
| 4. OBJETIVOS.....  | 12 |
| 4.1 Objetivo general .....                                 | 12 |
| 4.2 Objetivos específicos .....                            | 12 |
| 5. JUSTIFICACION.....                                      | 13 |
| 6. ESTADO DEL ARTE.....                                    | 15 |
| 7. MARCO TEÓRICO .....                                     | 18 |
| 7.1 Antecedentes de la temática: .....                     | 18 |
| 7.2 Terminología Básica y consideraciones teóricas .....   | 19 |
| 7.3 Variables del proceso.....                             | 25 |
| 7.4 Terminología de cálculo .....                          | 27 |
| 8. DISEÑO DE INVESTIGACION .....                           | 30 |
| 9. DISEÑO CONCEPTUAL Y ADECUACIONES MAQUINA EXTRUSORA..... | 35 |
| 9.1 Conceptualización fundamental de diseño.....           | 35 |
| 9.1.1 Identificación de las funciones necesarias.....      | 35 |
| 9.1.2 Análisis funcional.....                              | 36 |
| 9.1.3 Generación e integración de conceptos .....          | 37 |
| 9.1.4 Generación detallada del producto.....               | 38 |
| 10. CARACTERIZACIÓN Y ADECUACIONES .....                   | 40 |
| 10.1 Descripción general inicial .....                     | 40 |
| 10.2 Descripción general Actual .....                      | 41 |
| 10.2.1 Sistema de extrusión.....                           | 41 |
| 10.2.2 Sistema de agitación .....                          | 44 |
| 10.2.3 Sistema de vapor .....                              | 44 |
| 10.2.4 Sistema Eléctrico.....                              | 45 |
| 10.2.5 Ergonomía.....                                      | 48 |
| 11. ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA .....   | 49 |
| 11.1 Instrumentación utilizada .....                       | 49 |
| 11.2 Metodología y resultados.....                         | 52 |
| 11.2.1 Contenido de humedad .....                          | 52 |

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 11.2.2 | Contenido de cenizas .....                                    | 53  |
| 11.2.3 | Cantidad de aceite total.....                                 | 54  |
| 11.2.4 | Índice de acidez .....  | 59  |
| 12.    | EVALUACIÓN E INCIDENCIA DE VARIABLES.....                     | 61  |
| 12.1   | Instrumentación utilizada .....                               | 61  |
| 12.2   | Metodología y resultados .....                                | 62  |
| 12.2.1 | Evaluación inicial.....                                       | 62  |
| 12.2.2 | Evaluación durante la extracción.....                         | 87  |
| 12.2.3 | Extracción de aceite con hexano.....                          | 93  |
| 13.    | EVALUACIÓN DE INDICADORES ENERGÉTICOS Y CONSUMO DE VAPOR..... | 96  |
| 14.    | PARAMETROS DE FUNCIONAMIENTO DE LA MAQUINA EXTRUSORA....      |     |
| 14.1   | Definición de las fases de funcionamiento .....               | 98  |
| 14.2   | Diagrama de flujo.....  | 101 |
| 15.    | ANÁLISIS DE RESULTADOS .....                                  | 102 |
| 16.    | CONCLUSIONES.....   | 105 |
| 17.    | TRABAJOS FUTUROS .....  | 107 |
| 18.    | REFERENCIAS.....  | 108 |

## LISTA DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 1.</b> Valor nutricional del arroz colombiano .....   | 19 |
| <b>Tabla 2.</b> Balance de subproductos del arroz.....   | 22 |
| <b>Tabla 3.</b> Composición del salvado de arroz en el Tolima según su variedad .....  | 23 |
| <b>Tabla 4.</b> Objetos de estudio de la investigación.....  | 32 |
| <b>Tabla 5.</b> Cantidad de ensayos prueba N°2 .....   | 33 |
| <b>Tabla 6.</b> Diseño Factorial de ensayos.....   | 34 |
| <b>Tabla 7.</b> Función por subsistemas .....  | 38 |
| <b>Tabla 8.</b> Resultados Humedad primer ejemplar.....  | 52 |
| <b>Tabla 9.</b> Resultados humedad tercer ejemplar .....   | 53 |
| <b>Tabla 10.</b> Resultados humedad segundo ejemplar.....  | 53 |
| <b>Tabla 11.</b> Resultados contenido cenizas primer ejemplar.....   | 54 |
| <b>Tabla 12.</b> Resultados contenido de cenizas segundo ejemplar .....  | 54 |
| <b>Tabla 13.</b> Valores primera prueba en la centrifuga .....   | 56 |
| <b>Tabla 14.</b> Valores primera prueba en el rotavapor.....   | 57 |
| <b>Tabla 15.</b> Resultados contenido de aceite primera prueba.....  | 57 |
| <b>Tabla 16.</b> Valores segunda prueba en la centrifuga.....  | 57 |
| <b>Tabla 17.</b> Valores segunda prueba en el rotavapor .....  | 58 |
| <b>Tabla 18.</b> Resultados contenido de aceite segunda prueba .....   | 58 |
| <b>Tabla 19.</b> Valores tercera prueba en la centrifuga .....   | 58 |
| <b>Tabla 20.</b> Valores tercera prueba en el rotavapor.....   | 59 |
| <b>Tabla 21.</b> Resultados contenido de aceite tercera prueba.....  | 59 |
| <b>Tabla 22.</b> Ejemplar 1 índice de acidez .....   | 60 |
| <b>Tabla 23.</b> Ejemplar 2 índice de acidez .....   | 60 |
| <b>Tabla 24.</b> Resultado ensayos 1 y 2.....  | 64 |
| <b>Tabla 25.</b> Diferencia de temperaturas promedio ensayo 1 y 2.....   | 66 |
| <b>Tabla 26.</b> Resultado ensayos 3 y 4.....  | 68 |
| <b>Tabla 27.</b> Resultado ensayos 5 y 6.....  | 69 |
| <b>Tabla 28.</b> Resultado ensayos 7 y 8.....  | 70 |
| <b>Tabla 29.</b> Diferencias de temperatura ensayos al 50% de ajuste del dado .....  | 71 |
| <b>Tabla 30.</b> Diferencias de temperatura ensayos al 100% de ajuste del dado .....   | 72 |
| <b>Tabla 31.</b> Resultado ensayo 9 .....  | 75 |
| <b>Tabla 32.</b> Resultado ensayo 10 .....   | 76 |
| <b>Tabla 33.</b> Resultado ensayo 11 .....   | 77 |
| <b>Tabla 34.</b> Diferencias de temperatura alcanzadas a diferentes aperturas de la válvula y con el motor principal apagado ..... | 81 |
| <b>Tabla 35.</b> Resultado ensayos 12, 13 y 14.....  | 83 |
| <b>Tabla 36.</b> Resultados ensayos 15, 16 y 17 .....  | 85 |
| <b>Tabla 37.</b> Resultado ensayo 18 .....   | 88 |
| <b>Tabla 38.</b> Resultado ensayo 20 .....   | 89 |
| <b>Tabla 39.</b> Resultado ensayo 22 .....   | 91 |
| <b>Tabla 40.</b> Resultado ensayo 24 .....   | 91 |
| <b>Tabla 42.</b> Resultado ensayo 26 .....   | 94 |
| <b>Tabla 43.</b> Resumen resultados de extracción de aceite .....  | 94 |
| <b>Tabla 44.</b> Resultados de consumo energético .....  | 96 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 45.</b> Consumo de vapor..... | 97 |
|--|----|

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Ilustración 1.</b> Esquema sistema de extrusión .....                   | 11 |
| <b>Ilustración 2.</b> Composición del grano de arroz.....                  | 20 |
| <b>Ilustración 3.</b> Salvado de arroz .....                               | 23 |
| <b>Ilustración 4.</b> Sistema extrusor de alimentos .....                  | 24 |
| <b>Ilustración 5.</b> Distribución factores y niveles .....                | 31 |
| <b>Ilustración 6.</b> Método de caja negra.....                            | 36 |
| <b>Ilustración 7.</b> Método de caja gris .....                            | 37 |
| <b>Ilustración 8.</b> Cuadro de integración de conceptos.....              | 37 |
| <b>Ilustración 9.</b> Diseño sistema general SW .....                      | 38 |
| <b>Ilustración 10.</b> Diagrama esquemático maquina extrusora.....         | 39 |
| <b>Ilustración 11.</b> Máquina Extrusora antes de las modificaciones ..... | 40 |
| <b>Ilustración 12.</b> Estado actual máquina extrusora .....               | 41 |
| <b>Ilustración 13.</b> Sistema de extrusión SW .....                       | 42 |
| <b>Ilustración 14.</b> Conjunto superior de extrusión.....                 | 43 |
| <b>Ilustración 15.</b> Tornillo sin fin .....                              | 43 |
| <b>Ilustración 16.</b> Sistema de agitación SW .....                       | 44 |
| <b>Ilustración 17.</b> Sistema de vapor SW.....                            | 45 |
| <b>Ilustración 18.</b> Vista frontal caja del sistema eléctrico .....      | 46 |
| <b>Ilustración 19.</b> Sistema eléctrico SW .....                          | 46 |
| <b>Ilustración 20.</b> Motor de agitación.....                             | 47 |
| <b>Ilustración 21.</b> Motor principal.....                                | 48 |
| <b>Ilustración 22.</b> Mufla eléctrica. ....                               | 49 |
| <b>Ilustración 23.</b> Balanza digital Ohaus .....                         | 50 |
| <b>Ilustración 24.</b> Centrifuga.....                                     | 50 |
| <b>Ilustración 25.</b> Rotavapor.....                                      | 51 |
| <b>Ilustración 26.</b> Instrumentación básica de laboratorio.....          | 51 |
| <b>Ilustración 27.</b> Muestras de aceite extraído en el rotavapor. ....   | 56 |
| <b>Ilustración 28.</b> Pirómetro digital .....                             | 61 |
| <b>Ilustración 29.</b> Especificaciones pirómetro INFRARED .....           | 61 |
| <b>Ilustración 30.</b> Analizador de humedad MS-70.....                    | 62 |
| <b>Ilustración 31.</b> Aperturas de la válvula de vapor .....              | 63 |
| <b>Ilustración 32.</b> Ajustes del dado extrusor.....                      | 63 |
| <b>Ilustración 33.</b> Tornillo sin fin con zonas de temperatura.....      | 64 |
| <b>Ilustración 34.</b> Medición de temperatura en el cono extrusor .....   | 89 |
| <b>Ilustración 35.</b> Muestras de aceite obtenido ensayo 20.....          | 90 |
| <b>Ilustración 36.</b> Ajuste real del dado extrusor.....                  | 92 |
| <b>Ilustración 37.</b> Textura de la hojuela según la pasada.....          | 95 |

## LISTA DE GRAFICAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Gráfica 1.</b> Temperaturas promedio del tornillo sin fin ensayo 1 y 2 .....  | 67 |
| <b>Gráfica 2.</b> Temperatura promedio del tornillo sin fin con ajuste del dado en 100% y en función de la apertura de la válvula de vapor ..... | 73 |
| <b>Gráfica 3.</b> Temperatura promedio del tornillo sin fin con ajuste del dado en 50% y en función de la apertura de la válvula de vapor .....  | 74 |
| <b>Gráfica 4.</b> Temperatura del valle en función de la apertura de la válvula de vapor con el motor ppal apagado .....                         | 78 |
| <b>Gráfica 5.</b> Temperatura del cono en función de la apertura de la válvula de vapor con el motor ppal apagado .....                          | 79 |
| <b>Gráfica 6.</b> Temperatura promedio del tornillo sin fin en función de la apertura de la válvula de vapor con el motor ppal apagado .....     | 80 |
| <b>Gráfica 7.</b> Temperatura promedio con apertura de vapor al 25% comparación motor principal encendido o apagado.....                         | 81 |
| <b>Gráfica 8.</b> Temperatura promedio del salvado en función del tiempo y con apertura al 25% de la válvula de vapor.....                       | 84 |
| <b>Gráfica 9.</b> Humedad promedio del salvado en función del tiempo y con apertura al 25% de la válvula de vapor .....                          | 85 |
| <b>Gráfica 10.</b> Temperatura promedio del salvado en función del tiempo y con apertura al 50% de la válvula de vapor.....                      | 86 |
| <b>Gráfica 11.</b> Humedad promedio del salvado en función del tiempo y con apertura al 50% de la válvula de vapor .....                         | 87 |
| <b>Gráfica 12.</b> Temperatura del cono de extrusión en función del tiempo y el tipo de ensayo.....  | 93 |

## 1. PROYECTO A DESARROLLAR

El autor tiene como requerimiento para obtener el título de Ingeniero Mecánico realizar una investigación sobre un tema que sea de su interés. Por tal motivo, se desarrolla el siguiente proyecto del cual, ya se tiene una base o antecedente elaborado por John Mauricio Gutiérrez estudiante de Ingeniería Mecánica, hoy egresado de la Universidad de Ibagué. Mediante esa investigación se obtuvo como resultado la consecución de aceite en el salvado de arroz, teniendo en cuenta variables del proceso como: temperatura del salvado de arroz, humedad del salvado en la alimentación y presión en la extrusión. Sin embargo, se requiere que el proceso de obtención de aceite se realice con mayor eficiencia, por lo que el autor de este documento despliega una serie de herramientas que van en busca de la optimización del proceso.

## 2. RESUMEN

En el presente informe se expone todo lo referente a una investigación realizada en la universidad de Ibagué, la cual consiste principalmente en el análisis del proceso de extracción de aceite el cual se obtiene a partir del salvado del arroz mediante el proceso de extrusión. Dicha investigación es ejecutada bajo cuatro pilares importantes del diseño metodológico los cuales son metodología exploratoria, metodología experimental, análisis estadístico y presentación de resultados

Es necesario resaltar que todo este proceso nace de una antecedente importante y es que, la universidad de Ibagué ya contaba con una maquina extrusora de la cual se obtenía aceite de salvado pero de forma ineficiente ya que los gastos en energía y materia prima eran muy elevados en función de la cantidad de aceite obtenido. Debido a lo anterior nacen ciertas preguntas de investigación alrededor del tema como: ¿de qué manera se puede obtener mayor cantidad de aceite por cada kilogramo de salvado ingresado a la maquina haciendo el proceso más eficiente?, ¿Qué papel juegan algunas de las variables del proceso como lo son la humedad, la temperatura y la presión durante la extracción?

Posterior al planteamiento de las preguntas de investigación se hace la pertinente búsqueda de información acerca del tema en general, para lo cual se tienen en cuenta diferentes estudios realizados, se lleva a cabo el marco teórico general y se plantea la hipótesis de investigación. Esto último conlleva a una serie de intervenciones a la máquina, lo que consiste en agregar y modificar ciertos componentes del sistema de extracción.

Luego de realizadas las adecuaciones físicas mencionadas con anterioridad se efectúa un diseño experimental de tipo factorial que ayuda a relacionar las variables de estudio (Temperatura, humedad y presión que resultan de la interacción de los diferentes sistemas de la maquina entre esos agitación y extrusión) y a determinar la cantidad de ensayos necesarios que en este caso es igual a 26. Ensayos que se realizan gracias a la colaboración del Molino Unión - Sede: Zona Industrial El Papayo Ibagué, quienes proveen del salvado de arroz necesario.

Al finalizar la investigación se hace el respectivo análisis de datos y se fijan los parámetros de funcionamiento de la maquina extrusora y se logra extraer aceite crudo contenido en el salvado de arroz. La extracción de mayor rendimiento se realiza con salvado el cual ingresó al sistema con una humedad del 8.9% y una temperatura de 21,9°C. La velocidad de extrusión fue de 134,9rpm, la de agitación igual a 15 rpm. El proceso de extrusión se realizó durante 90 minutos y consistió en 3 pasadas del salvado donde el tornillo alcanzó una temperatura máxima de 106°C. La cantidad de aceite extraída fue de 6,1ml/kg de salvado extruido sin la adición de solventes.

### 3. INTRODUCCIÓN

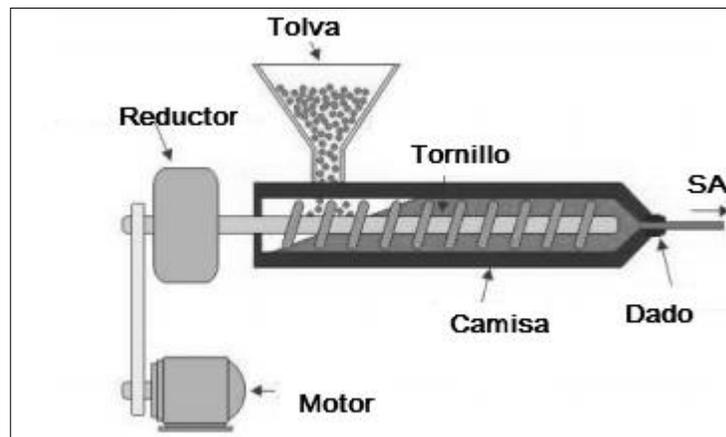
En total, más de 100 países en el mundo producen arroz, actualmente en Colombia el arroz cumple un papel económico y social muy importante siendo este el tercer producto agrícola más significativo del país ya que representa alrededor del 13% del área cosechada y el 10 % de la producción agrícola nacional. [1] Este alimento, el arroz, del cual se produce hoy por hoy alrededor de 2000 toneladas totales en el país y particularmente en la región tolimense una quinta parte de esa cifra, brinda grandes posibilidades en cuanto a los subproductos que se pueden obtener de él; ya que para que sea posible obtener granos brillantes de arroz comestible se requiere un procesamiento, llamado molienda o pulido, en el que se separa el salvado y la cáscara del arroz del grano.

El salvado de arroz es una excelente fuente de minerales, proteínas y aceite comestible de alto valor funcional, debido a que contiene una considerable cantidad de ácidos grasos insaturados como el linolenico, linoleico y oleico (15-20 %), proteínas (12-16 %), fibra dietética (23-28 %), cenizas (7-10 %), vitaminas como el complejo B y E (el alfa-tocoferol, tocotrienoles y gamma-Oryzanol) [2] Según Fedearroz el salvado de arroz obtenido de las variedades, cimarrón barinas, Fedearroz 50 y Fedearroz 60 constituyen una fuente nutrientes con alto valor para la salud humana debido a su alto contenido graso, fibra dietaria y proteínas y uso potencial en el mercado colombiano es importante en la producción de aceites o en la fortificación de alimentos a nivel industrial. Además, por ser fuente de antioxidantes con una mezcla única de tocotrienoles, tocoferoles y Oryzanol en algunos casos más alta que los reportados a nivel internacional, se sugiere su uso en alimentos funcionales o inclusive su exportación.

El Salvado tiene una vida útil muy corta (aprox. 6 horas) donde pierde gran parte su calidad, normalmente este se somete a un proceso de estabilización, ya sea térmico, usando ácidos o enzimas adecuadamente, para con esto poder aumentar su vida útil sin afectar la calidad final de sus componentes nutricionales y saludables. [3] Dentro de los métodos térmicos, la extrusión se destaca por su simplicidad de acción y posibilidad de continuar el proceso y extraer aceite a partir del salvado de arroz extrusado.

Para inhibir la acción de la lipasa sobre los ácidos grasos, y principalmente para la extracción de aceite, el método de extrusión que se aprecia en la Ilustración 1 es uno de los recomendados ya que durante éste proceso el salvado es transportado por un tornillo sin fin helicoidal que alcanza temperaturas elevadas entre 85 °C y 110°C, que se producen por la fricción con la cápsula o camisa del extrusor, liberándose vapor e inhibiendo la acción de las lipasas. [4]

**Ilustración 1.** Esquema sistema de extrusión



Fuente. Universidad nacional del litoral [5]

En el proceso de extrusión las características de la masa que fluye dentro del extrusor y sus propiedades finales dependen de su composición tales como humedad, materia grasa, fibra, almidón, proteína, sales, emulsionantes y del diseño particular que provoca mayor o menor interacción partícula-partícula. Definidas las condiciones de extrusión que son: relación de compresión del tornillo, velocidad de rotación, diámetro del dado extrusor y nivel de temperatura a controlar, tanto en la zona de la camisa como del dado y el material a extrudir con granulometría, temperatura, humedad adecuada y tiempo de residencia. [6]

El salvado contiene entre 17 y 22 % de aceite que puede ser extraído y que convenientemente refinado constituye un valioso producto para la alimentación humana. [7]

Investigaciones además han demostrado que el aceite resultante del salvado de arroz es fuente de fitosteroles principalmente Gama Oryzanol que tiene la capacidad de reducir el colesterol y prevenir por ende las deficiencias cardiovasculares. Todos los beneficios antes mencionados hicieron también que países como Japón se convirtiera en un importante productor y consumidor del aceite de salvado de arroz. Precisamente es Japón donde más se ha investigado el gama Oryzanol, utilizándolo desde las décadas de 1950 y 1960 para tratar la ansiedad y hoy en día se mencionan sus propiedades para aliviar síntomas menopáusicos, para tratar la reestenosis, además de la propiedad ya mencionada de reducir los niveles de colesterol.

## 4. OBJETIVOS

### 4.1 Objetivo general

- Extraer aceite contenido en el salvado de arroz mediante el proceso de extrusión, evaluando y regulando variables como: temperatura del tornillo sin fin, humedad del salvado de arroz y presión de extrusión en la maquina extrusora de la universidad de Ibagué.

### 4.2 Objetivos específicos

- Evaluar la incidencia que tiene la modificación de las variables de humedad del salvado, temperatura del tornillo sin fin y distancia del dado extrusor, en el rendimiento del proceso, expresado como la cantidad de aceite crudo (kg) extraído por cantidad de salvado de arroz (kg) alimentado durante el proceso de extrusión.
- Establecer parámetros fijos de funcionamiento de la máquina extrusora de la universidad de Ibagué en donde se obtenga el mayor rendimiento de extracción. Los parámetros a determinar son: Flujo de vapor a utilizar, Velocidad del sin fin y distancia del dado extrusor.

## 5. JUSTIFICACION

Según el DANE La producción nacional de arroz mecanizado en paddy verde para 2017 estuvo por encima de las 2.000 toneladas. Lo cual posiciona al arroz como el tercero de mayor producción en Colombia después del café y el maíz. En donde el departamento del Tolima cumple un importante papel en este gremio, siendo uno de los mayores productores aportando alrededor de 400.000 toneladas de este cereal por año. [1] Este producto agrícola permite la obtención de derivados como el salvado de arroz, sub producto que se desaprovecha actualmente en la industria debido a la falta de tecnología implementada al sector arrocero. Vale resaltar que el Precio del Salvado ronda alrededor de los 400 pesos/Kg, y se usa mayormente en la producción de alimento para animales [8]

Gracias a lo anterior se requiere la aplicación de procesos en la industria como el de extrusión que ayuda a la extracción de aceites naturales. Mediante este proceso se puede dar un aprovechamiento al salvado de arroz ya que este tipo de cereal es considerado alimento básico integral el cual representa una rica fuente de vitaminas, minerales, carbohidratos, grasas, aceites y proteínas [9]. Los cereales integrales (granos con salvado, y germen) han recibido considerable atención en las últimas décadas debido a que presentan una mezcla única de componentes bioactivos como fitoquímicos, antioxidantes y otras sustancias como fitoesteroles (Gamma Oryzanol) [10]. Además el consumo regular de granos integrales está asociado con la disminución del riesgo de enfermedades cardiovasculares, diabetes, cáncer de colon y obesidad.

Cabe resaltar que la obtención de aceite proveniente básicamente del salvado de arroz en el país y sobre todo, en el departamento del Tolima, se facilita debido a la gran producción que se tiene de esta materia prima. Ya que El salvado de arroz está constituido por parte de la almendra harinosa, la capa de aleurona y el germen que se obtiene del pulido y refinamiento de este, el cual representa el orden del 10% del peso del grano [11].

Basado en lo anterior se ve la necesidad de llevar a cabo en la universidad de Ibagué el desarrollo de este proceso de extracción de aceite de salvado teniendo como base la existencia de una maquina extrusora en el laboratorio de combustión, la cual requiere un análisis de su proceso, sus variables fundamentales y una adecuación de componentes necesarios los cuales faciliten el estudio y por ende la búsqueda de la optimización del proceso de obtención de aceite crudo de salvado.

## 6. ESTADO DEL ARTE

El aceite de salvado de arroz es extensamente consumido alrededor del mundo en países como Japón, China, Corea, India, Taiwán, Tailandia, y Pakistán, siendo India y Tailandia los principales productores de aceite de salvado de arroz con 225.000 toneladas de aceite al año [12], la utilización del aceite ha aumentado considerablemente en los países occidentales, debido, a su potencial nutricional, cuyos componentes más importantes incluyen tocoferoles, tocotrienoles y la fracción de  $\gamma$ -orizanol [13].

Varios estudios realizados en animales y humanos han demostrado que la ingesta de ácidos grasos saturados eleva el colesterol total, en particular las lipoproteínas de baja densidad (LDL), mientras que los ácidos grasos insaturados reducen los LDL [14]. La atención en el aceite de arroz se centra principalmente a su adecuada proporción de ácidos grasos saturados e insaturados, y por el alto nivel de bioactivos [12], el aceite de salvado de arroz tiene propiedades de reducir los niveles de colesterol sanguíneo, reducir el nivel de agregación de placas en las arterias, además de presentar acción anti carcinogénica [15].

El proceso de extracción del salvado de arroz (SA) origina el aceite de arroz crudo, que posee compuestos indeseables como los ácidos grasos libres, como lo son, los fosfatídeos, hidrocarburos, aldehídos, y cetonas. Estos compuestos interfieren negativamente en la estabilidad oxidativa y la calidad final del aceite. Por eso para transformarlo en un producto estable, nutritivo y con sabor agradable, el aceite se somete al proceso de refinación [16]. Seguido a la extracción se da el proceso de refinación de los aceites, este puede realizarse por dos métodos denominados como refinado químico o físico. El refinado químico incluye como etapas principales la degustación, neutralización, blanqueamiento, deceración y desodorización [17]. El proceso de refinación física contempla estas etapas, con excepción de la etapa de neutralización. En la etapa de neutralización o refinado químico, la soda cáustica se añade al aceite y a través de la saponificación ocurre la remoción de los ácidos grasos libres, residuos de metales y pigmentos. La borra se elimina por

centrifugación y el aceite neutro es conducido para la remoción de jabones residuales.

El aceite de arroz ha sido refinado industrialmente, más comúnmente por el proceso químico; sin embargo, este proceso genera pérdidas considerables de aceite neutro, de 18 a un 22% [18]. Las pérdidas de aceite neutro en la desacidificación química del aceite de arroz son considerablemente mayores en comparación con otros aceites vegetales con contenidos similares de ácidos grasos libres. Esto se ha relacionado con el efecto sinérgico de las ceras con la fracción de  $\gamma$ -orizanol. Además de las elevadas pérdidas de aceite neutro, el refinado químico provoca una gran producción de jabón y de residuos que generan contaminación ambiental [19]. Por eso, varios autores han propuesto la utilización del refinado físico para aceites con altos niveles de ácidos grasos libres. El proceso de refinación física utiliza vapor seco al vacío para eliminar los ácidos grasos libres, los cuales son removidos por destilación. Se estima una pérdida de aproximadamente 80 a 90% de  $\gamma$ -orizanol por el proceso de refinación química, mientras que en el proceso de refinación física esta pérdida sería inferior al 10%, debido a que el  $\gamma$ -orizanol no se destila junto con los ácidos grasos libres [20]. Sin embargo, la desacidificación a través del proceso de refinación física no es tan eficaz como la del refinado químico (alcalino), además suele provocar el oscurecimiento del aceite [21], [22].

El principal problema que se presenta en la extrusión de salvado de arroz (SA), es que este tiene un corto tiempo de vida útil aproximadamente de 6 horas para una estabilización sin pérdidas significativas de vitaminas y otros nutrientes químicos, según la investigación realizada por Beatriz Guevara Guerrero y Alejandro Fernández Quintero [23], esto se debe principalmente a la rancidez hidrolítica producida por la actividad enzimática de las lipasas, por su parte, Benjamín Escamilla-Castillo, sostiene que esta rancidez enzimática, produce un rápido deterioro de los lípidos presentes [24] es decir, un incremento de ácidos grasos libres, lo cual limita la aplicación y el uso potencial que puede tener el salvado de arroz (SA) en cuanto al desarrollo de nuevos productos para la dieta humana. Para

lograr la inactivación de las enzimas lipasas o estabilización del salvado de arroz (SA), se han propuesto diferentes métodos como lo es el de Escamilla-Castillo, con la modificación del PH y tratamientos químicos [24], el almacenamiento del salvado de arroz (SA) a bajas temperaturas por parte de Kumar [25], el empleo de microondas empleado por Chaparro [26], el calentamiento óhmico planteado por Lakkakula [27], y el proceso de extrusión con tornillo simple utilizado en la investigación de Martin [28].

## 7. MARCO TEÓRICO

### 7.1 Antecedentes de la temática:

Uno de los antecedentes principales de esta temática fue desarrollado por el ingeniero John Mauricio Gutiérrez egresado de la Universidad de Ibagué, quien desarrolló una serie de prácticas y evaluaciones a la máquina extrusora que de igual manera se pretende examinar en este informe. A continuación se exponen algunos de los resultados y sugerencias que este ingeniero propone y que son de vital importancia en el avance de esta investigación, ya que es teoría base y un punto de partida importante.

- En la extrusión en húmedo es de gran importancia conseguir que el producto a procesar esté bien molido, que podamos regular la temperatura de las diferentes secciones del proceso para conseguir la máxima calidad nutritiva del producto, y que el agua y el vapor sean adecuados para conseguir el nivel de humedad necesario, la presión y la superficie de apertura de la matriz idónea para que el producto salga con la máxima calidad.
- En el proceso de extracción de aceite, se hacen varias pasadas de la misma harina, lo que indica que la harina debe estar caliente previamente antes de ingresar a la tolva, para evitar utilizar la misma.
- El porcentaje de humedad más óptimo registrado fue de 15 %, puesto que se extrae aceite.
- El rendimiento de extracción no es favorable puesto que para 9 Kg de harina preparada se extrajo 20 ml de aceite.
- Para poder extraer aceite sin reprocesar la harina se debe alargar la longitud del tornillo e ingresar la harina humidificada en una temperatura alta, teniendo en cuenta que la carcasa central del tornillo debe estar precalentada.
- Las modificaciones de la máquina son útiles para trabajos y rediseños futuros puesto que se logra extraer aceite de una máquina que no está originalmente diseñada para extraer aceite de las harinas y además tiene más de 50 años.

Trabajos futuros:

- Extracción de aceite de arroz con mayor porcentaje de rendimiento
- Modificación de la camisa del tornillo para mayor optimización en el proceso
- Sistema de humidificación y calentamiento de la harina pre extruida
- Modificación de velocidades del tornillo en la extrusión de salvado de arroz

- Mayor flujo de material en el sistema de extracción con modificación en la longitud de la camisa del tornillo.

## 7.2 Terminología Básica y consideraciones teóricas

### - Arroz:

Se ha considerado como una de las plantas más antiguas, razón por la cual se ha dificultado establecer con exactitud la época en que el hombre inició su propagación. La literatura China hace mención de él, 3 mil años antes de Cristo donde consideraban el inicio de la siembra de arroz como una ceremonia religiosa importante que estaba reservada a su emperador. Tampoco ha sido posible establecer con exactitud de donde vino cuándo llegó el arroz al hemisferio Occidental. Algunos afirman que Cristóbal Colón en su segundo viaje en 1493, trajo semillas pero no germinaron. El historiador Fray Pedro Simón, en 1961 afirma que en el valle del Magdalena en Colombia hubo siembras en 1580, en área de Mariquita (Tolima). EN el municipio de Prado se cultivó hace 300 años y en 1778 lo introdujeron los Jesuitas a San Jerónimo (Antioquía). En la **Tabla 1** se aprecia el valor nutricional del arroz colombiano.

**Tabla 1.** Valor nutricional del arroz colombiano

| <b>VALOR NUTRICIONAL DEL ARROZ</b> |               |                 |
|------------------------------------|---------------|-----------------|
|                                    | <b>BLANCO</b> | <b>INTEGRAL</b> |
| CALORIAS                           | 359           | 341             |
| HUMEDAD                            | 12.2%         | 11.5%           |
| PROTEINAS                          | 7.8%          | 8.6%            |
| GRASA                              | 0.4%          | 1%              |
| CARBOHIDRATOS                      | 78.8%         | 77%             |
| FIBRA                              | 0.3%          | 0.8%            |
| CENIZAS                            | 0.5%          | 1.1%            |
| <b>MINERALES</b>                   |               |                 |
| CALCIO                             | 9 mg          | 10 mg           |
| FOSFORO                            | 140 mg        | 380 mg          |
| HIERRO                             | 0.8%          | 2.0%            |
| <b>VITAMINAS</b>                   |               |                 |
| TIAMINA                            | 0.07%         | 0.25%           |
| RIBOFLAVINA                        | 0.03%         | 0.06%           |
| NIACINA                            | 1.3%          | 5.3%            |

Fuente. Fedearroz

Es uno de los tres cereales que más se consume en el grano, principalmente como grano entero. El arroz es la semilla de la planta *Oryza sativa*. Se trata de un cereal considerado como alimento básico en muchas culturas, en especial la cocina asiática, así como en algunas partes de América Latina. El arroz es el segundo cereal más cultivado en el mundo, después del maíz. Debido a que el maíz es producido con otros muchos propósitos que el del consumo humano directo, se puede decir que el arroz es el cereal más importante en la alimentación humana, y que contribuye de forma muy efectiva al aporte de energía de la dieta humana actual. El arroz es responsable del aporte calórico de una quinta parte de las calorías consumidas en el mundo por los seres humanos (Smith, 1998).

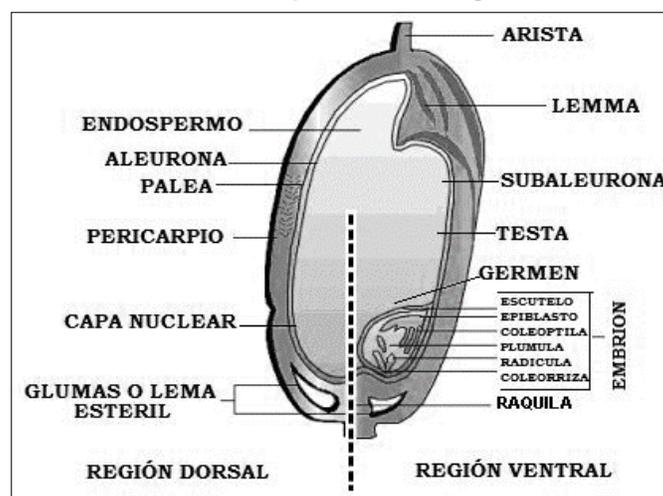
Los tejidos que lo conforman difieren en estructura, composición y función. Las variedades de arroz se clasifican de acuerdo a sus características físicas especialmente su longitud, forma o tamaño o de acuerdo a sus propiedades para la cocción, que tiene como parámetro la temperatura de gelificación.

En el arroz se distinguen bien la parte ventral, donde se encuentra el germen y la parte dorsal; el pericarpio está envuelto por un denso tejido celulósico-fibroso (cascarilla que representa entre el 20 y 22% del peso del grano recién cosechado) en la que se distinguen 2 componentes: la lemma y la palea. Lo anterior se puede observar claramente en la **Ilustración 2** la cual exhibe la composición del grano de arroz en general.

**Cáscara.** Es una capa dura que protege el grano. Se compone de la lemma y la palea. Por su alto contenido de silicio limita su uso especialmente como materia orgánica para incorporar al suelo.

Tienen muy bajo contenido de nutrientes. Sin embargo tiene una gran capacidad aislante, una buena conductividad térmica y un alto contenido de minerales, lo cual permite su uso en la industria de jabones, lijas, revestimientos y otros.

**Ilustración 2.** Composición del grano de arroz



Fuente. Universidad Nacional Autónoma De México

**Pericarpio.** Una vez al grano se le elimine la cascara durante el proceso de molinería, se convierte en arroz moreno, siendo su parte más externa el pericarpio, que representa en promedio el 2% del peso del grano moreno. En el proceso industrial esta parte también se elimina convirtiéndose en el salvado o harina, utilizada como materia prima para la industria de concentrados para animales.

**Endospermo.** Está compuesto por la capa de aleurona y el endospermo propiamente dicho. Su peso puede representar el 80% del grano del arroz.

-Capa aleurona. Es la capa externa del endospermo, compuesta por gránulos de almidón y un cierto contenido de proteínas y grasas.

-Endospermo blanco. Compuesto básicamente de gránulos de almidón. Desde el punto de vista industrial es la parte que se comercializa como arroz blanco, para el cual se han establecido normas de calidad. Contiene, además azúcares, grasas, fibra cruda y materia orgánica

**Germen.** Se une con el endospermo que consiste en la capa de aleuronas y el endospermo amiláceo. La lemma y la pálea, con sus estructuras asociadas, constituyen la cáscara, y pueden retirarse mediante la aplicación de una presión giratoria.

El embrión se encuentra en el lado ventral de la espiguilla, junto al lema. El resto de la cariósida está ocupado por el endospermo amiláceo, adyacente al embrión se encuentra un punto llamado ojo, que marca el punto de inserción de la cariósida a la pálea.

En el proceso industrial se elimina el germen, convirtiéndose en harina. Pesa aproximadamente un 3% del total del grano. [30]

#### - **Procesamiento del Arroz:**

Antes de la molienda, el arroz paddy verde pasa por etapas de limpieza donde se eliminan diversas impurezas como arenilla, paja, elementos metálicos, etc.

Luego, durante el descascarillado, se hace circular el arroz entre dos rodillos de caucho que giran en sentidos opuestos, con diferente velocidad. Posteriormente, se hace pasar por una corriente de aire que separa las cascarillas o glumas, más livianas que el arroz.

Seguidamente el arroz descascarillado pasa a un seleccionador donde se separan los pocos granos con cáscara, recirculándolos para su reproceso.

A continuación, el arroz se somete a fricción entre discos donde se elimina el salvado. Esta etapa se conoce como blanqueo. Finalmente, el grano pasa a la etapa de pulido donde sufre un rozamiento intensivo que hace que los granos se blanqueen y pulan. Una corriente de aire atraviesa el grano enfriándolo y separando el salvado. Éste es recogido, junto con el germen, en cernedores planos.

La cáscara de arroz supone aproximadamente el 20 % del arroz paddy y es, por su volumen, el mayor subproducto de la industria arrocera. Debido a su

baja densidad aparente, su simple almacenamiento y transporte constituyen un problema grave.

Es un residuo lignocelulósico, con una proporción muy alta de fibras y de cenizas ricas en sílice, así como un importante contenido de pentosanas. Es un producto abrasivo, de bajo valor nutritivo para el que se han buscado aplicaciones a gran escala. Su mayor uso es como combustible para la misma instalación de molienda.

Otro de los subproductos de importancia es el salvado, que se obtiene junto con el germen. Representa solo el 8 % en peso del arroz paddy pero contiene las  $\frac{3}{4}$  partes del total de su aceite. Además de aceite comestible, es fuente de proteínas y otros nutrientes, lo que eleva su uso potencial. Tiene una cantidad importante de vitaminas y minerales.

Las materias grasas del salvado de arroz, una vez separadas del grano, se alteran con rapidez y el refinado ya no se hace rentable, por eso el aceite comestible no se ha extendido todavía. Solamente en grandes instalaciones molineras podría ser rentable la instalación de sistemas de extracción y estabilización de aceite de salvado de arroz.

En la **Tabla 2** se aprecian los diferentes subproductos del arroz durante su procesamiento.

**Tabla 2.** Balance de subproductos del arroz

| <b>BALANCE DE SUBPRODUCTOS</b> |                        |
|--------------------------------|------------------------|
| <b>Fracción</b>                | <b>Rendimiento (%)</b> |
| Arroz Cascara                  | 100                    |
| Arroz Blanco                   | 55 - 65                |
| Cascarilla                     | 16 - 21                |
| Salvado                        | 5 - 12                 |
| Germen                         | 1.25 - 2.25            |
| Granos Partidos                | 5 - 15                 |

Fuente. alimentosargentinos.gob.ar

#### - **Salvado de arroz:**

Para un adecuado aprovechamiento del salvado, es necesario realizar un proceso de estabilización. Este consiste en una extrusión a temperaturas cercanas a 100° C, en la cual se inactivan las enzimas, el producto adquiere plasticidad y se aglomera y granula para luego enfriarlo rápidamente. Las dos enzimas clave, cuya inactivación debe vigilarse, son las lipasas y las peroxidasas del salvado. Como estas últimas son más termorresistentes, su actividad residual se usa como índice de estabilización. La actividad enzimática residual depende de la temperatura y duración del tratamiento y de la humedad del salvado. El salvado así tratado es un producto estable que puede almacenarse y transportarse, del cual pueden obtenerse, en forma rentable, aceite y un residuo rico en fibra de gran valor comercial en alimentación animal y humana. La extracción de aceite se realiza a través de técnicas convencionales, con solvente hexano.

### Ilustración 3. Salvado de arroz



Fuente. Gastronomía & Cía.

También se encuentran en desarrollo nuevas tecnologías como la extracción con CO<sub>2</sub> supercrítico. El aceite de salvado de arroz obtenido de la extracción con solventes posee color oscuro, alta acidez y alto contenido de fosfatidos razón por la cual debe ser convenientemente refinado. Además el salvado contiene entre 17 y 22 % de aceite que puede ser extraído (ver **Tabla 3**) y que convenientemente refinado constituye un valioso producto para la alimentación humana.

**Tabla 3.** Composición del salvado de arroz en el Tolima según su variedad

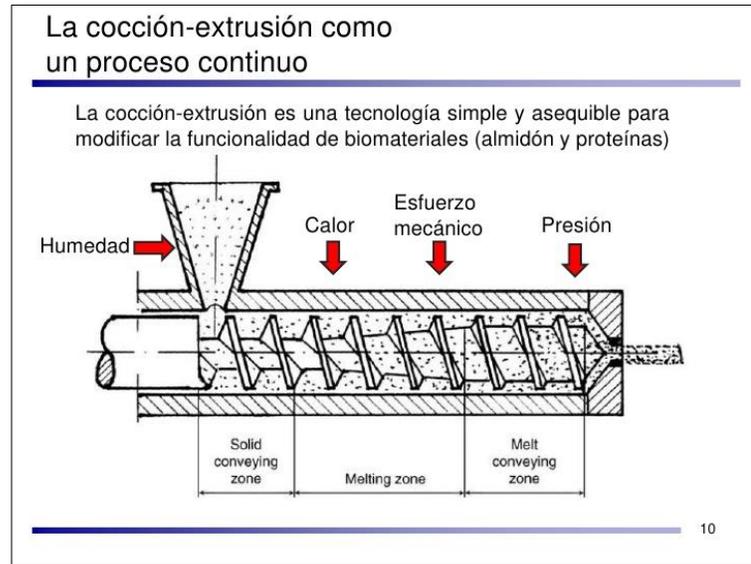
| Parámetro<br>(g/100 g<br>DM) | Variedad |        |       |       |
|------------------------------|----------|--------|-------|-------|
|                              | RBF60    | RBC304 | RBF50 | RBM   |
| Humedad                      | 10,65    | 11,04  | 12,5  | 11,48 |
| Ceniza                       | 12,08    | 12,26  | 12,58 | 9,47  |
| Aceite Crudo                 | 21,09    | 23,44  | 21,28 | 22,15 |

Fuente. Ing. Mauricio Hernández [31]

#### - Extrusión:

Hace referencia a forzar un material a través de un orificio. Para fines prácticos se dice que la extrusión de alimentos es un proceso en el que un material (grano, harina o subproducto) es forzado a fluir, bajo una o más de una variedad de condiciones de mezclado, calentamiento y cizallamiento, a través de un dado/boquilla diseñado para dar forma o expandir los ingredientes. Los objetivos del proceso de extrusión son principalmente cocción, pasteurización, expansión, reducción de humedad, homogeneización, reestructuración y extracción. Como se aprecia en la **Ilustración 4** [32]

#### Ilustración 4. Sistema extrusor de alimentos



Fuente. Rommy N. Suñiga [33]

#### - Extrusores:

Todos los extrusores consisten de un tornillo o tornillos que transporta los ingredientes premezclados a través de un cilindro. A pesar de que esta máquina sea de tornillo simple o doble. Se aplican varios principios generales: Los tornillos generalmente están suspendidos solamente desde el final del mecanismo de transmisión del cilindro, y se apoya sobre el producto final de la salida. Debido a ello los esfuerzos más grandes y el desgaste del tornillo y el cilindro tienen lugar en la salida y estas partes son las que primero necesitan restauración y sustitución. Pero los tornillos completos y el cilindro de incluso extrusores comerciales de tamaño pequeño son pesados y difíciles de transportar, aunque también existen los tornillos segmentados o de diferentes pasos.

En los sistemas de extrusión tanto las características del material como el diseño de la tolva influyen sobre el transporte de sólidos en esta parte de la máquina. Es mejor una tolva con la sección circular que una tolva con la sección cuadrada o rectangular ya que la compresión y el material es diferente en algunas zonas de la forma de la tolva. Las tolvas de sección circular ejercen una compresión gradual sobre el material mientras que la sección cuadrada ejerce una compresión poco uniforme, pudiendo provocar que el material se detenga. Además, pueden tomarse precauciones como agregar un sistema vibratorio que ayude a eliminar el puente formado y los agitadores integrados para evitar que el material se deposite y consolide.

El tornillo o husillo consiste en un cilindro largo rodeado por un filo helicoidal. El tornillo es una de las partes más importantes ya que contribuye a realizar las funciones de transportar, calentar y mezclar el material. La estabilidad del

proceso y la calidad del producto que se obtiene dependen en gran medida del diseño del tornillo. Los parámetros más importantes en el diseño del tornillo son su longitud (L), diámetro (D), el ángulo del filete ( $\theta$ ) y el paso de rosca (w).

Existen algunos tipos de extrusoras como son las extrusoras multitornillo. En el mismo sentido, se encuentra una gran variedad de medios de comunicación. Las extrusoras de dos tornillos presentan posibilidades que a menudo se superan en gran medida a un solo tornillo. Entre las ventajas que se presentan se incluye una buena capacidad de mezclado y un buen control del tiempo de residencia y distribución. Algunas desventajas de estas extrusoras son su precio, superior al tornillo único. [5]

#### - **Estabilización:**

Los procesos de estabilización más adecuados son aquellos donde se atacan directamente las enzimas causantes del deterioro del salvado, se han estudiado muchos procesos de estabilización con tratamientos químicos, calóricos y controlando la humedad de las muestras, los cuales han dado algunos resultados prometedores [3]

#### - **Extracción de Aceite:**

La extracción de aceite de harina de arroz no es diferente de la extracción de otros aceites vegetales, salvo en la preparación previa, siendo los métodos utilizados el de solvente y el de prensado. El método de extracción por solvente, utiliza hexano como sustancia donde se disuelve el aceite del producto preparado, separando el aceite de la torta y luego se refina. El contenido graso de las tortas residuales de éste proceso no supera el 0,5 %. El método de prensado, consiste en triturar el producto para extraer por presión mecánica el aceite, dejando una torta con mayor nivel graso que el método de solvente. El prensado puede hacerse con una prensa hidráulica o por extrusión. La presión por prensado es un método discontinuo que arroja una torta con un contenido graso residual del 6 al 12 %. La extracción por extrusión es un método continuo efectuado por tornillo doble o sencillo en el que la torta contiene algo más de 4% de grasa residual y es un proceso en caliente que somete a la masa a temperaturas de entre 90°C y 120°C. Aunque el método por solvente es el más empleado para producción a escala industrial, implica la mezcla temporal con químicos tóxicos particularmente el hexano que con su volatilidad requiere un manejo adecuado para prevenir explosiones o incendios.

### 7.3 Variables del proceso

#### - **Humedad:**

Hace referencia a la cantidad de agua que posee determinado alimento. Todos los alimentos, cualquiera que sea el método de industrialización a que hayan sido sometidos, contienen agua en mayor o menor proporción.

- **Temperatura:**

La temperatura de un cuerpo es una medida de su estado relativo de calentamiento o enfriamiento. [34]

- **Presión:**

Se entiende como el cociente entre la componente normal de la fuerza sobre una superficie y el área de dicha superficie. [35]

- **Densidad:**

Magnitud referida a la cantidad de masa contenida en un determinado volumen, y puede utilizarse en términos absolutos o relativos. [36]

- **Aceite:**

Producto de origen animal o vegetal, o sus mezclas cuyos componentes principales son glicéridos de los ácidos grasos, pudiendo contener otras sustancias en proporciones menores. [37]

- **Acidez:**

La acidez es la cualidad de un ácido. Pueden presentar características tales como sabor agrio, liberación de hidrógeno, o pH menor que 7 (a 25°C).

- **Contenido de cenizas:**

Es una medida del total de minerales presentes en un alimento. "Contenido de minerales": Es la medida de la cantidad de componentes inorgánicos específicos, como Ca, Na, K, Cl entre otros. Es el producto de la eliminación del material orgánico y agua. [38]

- **Poder calórico:**

Es la cantidad de calor que entrega un kilogramo, o un metro cúbico, de combustible al oxidarse en forma completa. [39]

- **Entalpia:**

Es la cantidad de energía de un sistema termodinámico que éste puede intercambiar con su entorno. [39]

- **Flujo volumétrico:**

Volumen de fluido entrante o saliente que atraviesa una sección dada por unidad de tiempo. [40]

- **Peso:**

Es la fuerza con la que la gravedad de la Tierra o de cualquier otro cuerpo celeste atrae a los cuerpos que están en sus proximidades. Cuanto mayor sea la masa de un cuerpo tanto mayor será su peso. [40]

- **Calor:**

Equivale a la energía calorífica que contienen los cuerpos la temperatura es la medida del contenido de calor de un cuerpo. [34]

- **Potencia real o activa:**

Es aquella cuando el producto del voltaje y la corriente es positivo, es aquella potencia disponible para realizar un trabajo. Se mide en Watts. [41]

#### 7.4 Terminología de cálculo

- **Calor del salvado:**

**Ecuación 1**

$$Q_s = M_s \cdot C_p \cdot \Delta_t$$

Donde,

$Q_s =$  Calor del salvado

$M_s =$  Masa de salvado

$C_p =$  Poder calorico del salvado

$\Delta_t =$  Diferencia de temperatura

- **Calor del vapor**

**Ecuación 2**

$$Q_v = M_v \cdot \Delta_h \quad .$$

Donde,

$Q_v =$  Calor del vapor

$M_v =$  Masa de vapor

$\Delta_h =$  Diferencia de entalpias

- **Consumo de vapor:**

**Ecuación 3**

$$Q_v = Q_s \quad .$$

$$M_v \cdot \Delta_h = M_s \cdot C_p \cdot \Delta_t$$

$$M_v = \frac{M_s \cdot C_p \cdot \Delta_t}{\Delta_h}$$

- **Consumo de energía eléctrica o potencia activa:**

Ecuación 4

$$P = \sum V \cdot \sum I \cdot \cos\varphi$$

Donde,

$P =$  Potencia activa

$V =$  Voltaje

$I =$  Corriente

$\cos\varphi =$  Factor de potencia

$\varphi =$  Angulo de fase

- **Porcentaje de humedad:**

Ecuación 5

$$\%W = \frac{P_i - P_f}{P_i} \cdot 100$$

Donde,

$\%W =$  Porcentaje de humedad

$P_i =$  Peso inicial de la muestra

$P_f =$  Peso final de la muestra

- **Contenido de cenizas:**

Ecuación 6

$$ash = \frac{m_f}{m_i} * 100$$

Donde,

$ash =$  Porcentaje de cenizas

$m_i =$  Peso inicial de la muestra

$m_f =$  Peso final de la muestra

- **Índice de acidez**

Ecuación 7

$$AV = \frac{56.1 * T * V}{m}$$

Donde,

$AV:$  Índice de acidez

*T: Normalidad del NaOH*

*V: Volumen de NaoH (ml)*

*m: Porcion de aceite en masa (gr)*

$$AV = \frac{56.1 * 0.1 * 3.5}{0.741}$$

$$AV = 26.516$$

- **Temperatura promedio del tornillo sin fin :**

**Ecuación 8**

$$T_{prom} = T_v + T_c$$

Donde,

*T<sub>prom</sub> = Temperatura promedio*

*T<sub>v</sub> = Temperatura en el valle*

*T<sub>c</sub> = Temperatura en el cono*

- **Presión de extrusión:**

**Ecuación 9**

$$P = F/A$$

Donde,

*P = Presion de extrusion*

*F = Fuerza*

*A = Area*

## 8. DISEÑO DE INVESTIGACION

En esta sección se plantean las tareas y ensayos necesarios a realizar para lograr un correcto desarrollo del estudio. Se decide separar el diseño de investigación en 3 fases:

**Fase I:** Conceptualización de diseño e intervención física

**Fase II:** Análisis y caracterización de la materia prima

**Fase III:** Determinación de ensayos mediante diseño factorial.

En primer lugar y antes de involucrarnos directamente con el proceso de extracción y basados en los antecedentes encontrados, se desarrolla la **Fase I**, en donde, se plantea una serie de modificaciones a la maquina extrusora que involucra algunos cambios en sus componentes y la adición de nuevos elementos importantes. Lo anterior se realiza haciendo uso de herramientas de diseño como los son:

- Identificación de las funciones necesarias
- Análisis funcional
- Generación e integración de conceptos
- Generación detallada del producto
- Modificaciones físicas

Las anteriores se explican a lo largo de este informe y de forma detallada.

Luego de lo anterior se lleva acabo el desarrollo de la **Fase II**. Se hace necesario igualmente realizar una serie de análisis físicos y químicos a la materia prima que es el objeto fundamental de investigación, en este caso el salvado de arroz. Dentro de los análisis que se sugieren se encuentran:

- Contenido de Humedad
- Cantidad de cenizas
- Cantidad de aceite total
- Índice de acidez

Cabe resaltar que los análisis físicos y químicos mencionados anteriormente se realizan bajo la normatividad técnica colombiana respectiva.

Finalmente y en cuanto a las **Fase III**, es allí donde se determinan la cantidad de ensayos necesarios en donde se involucran todas las variables de estudio presentes en el proceso de extracción y se planifican los procedimientos a realizar.

A continuación se explica el diseño utilizado junto con sus variables de entrada y los objetos de estudio o variables de salida. En este caso el diseño seleccionado es el Diseño de investigación factorial

## Diseño de investigación factorial

En ocasiones, el experimentador está interesado en estudiar el efecto sobre la variable respuesta de varios factores. En estos casos la alternativa a la experimentación clásica, en la que se estudia el efecto de cada factor en experimentos independientes, es el diseño factorial.

El término “experimento factorial” o “arreglo factorial” se refiere a la constitución de los tratamientos que se quieren comparar. Diseño de tratamientos es la selección de los factores a estudiar, sus niveles y la combinación de ellos.

En cuanto al diseño factorial de dos factores consiste en experimentar con todos los tratamientos que se obtienen al combinar cada nivel de un factor con los niveles del otro.

En general, si existen dos factores de interés, el primero con  $K$  niveles y el segundo con  $J$  niveles distintos, el conjunto de datos del diseño factorial se resume en la **Ilustración 5** del tipo:

**Ilustración 5.** Distribución factores y niveles

|          |     | FACTOR 1 |          |     |          |
|----------|-----|----------|----------|-----|----------|
|          |     | 1        | 2        | ... | $K$      |
| FACTOR 2 | 1   | $y_{11}$ | $y_{21}$ | ... | $y_{K1}$ |
|          | 2   | $y_{12}$ | $y_{22}$ | ... | $y_{K2}$ |
|          | ⋮   | ⋮        | ⋮        | ... | ⋮        |
|          | $J$ | $y_{1J}$ | $y_{2J}$ | ... | $y_{KJ}$ |

Fuente. José Gabriel Palomo Sánchez

Se selecciona el diseño factorial debido a que brinda a la investigación:

- Eficiencia ya que con menos experimentos se estiman los efectos con la misma precisión.
- Mayor información, pues con la experimentación clásica no se exploran todas las combinaciones de los niveles de los factores.

- Mayor rango de validez de las conclusiones.

En la **Tabla 4** se aprecia la lista de Constantes, variables de entrada y variables de salida que se estudian en este informe.

**Tabla 4.** Objetos de estudio de la investigación

| OBJETOS DE ESTUDIO                       |                                   |                     |
|--|-----------------------------------|---------------------|
| CONSTANTES                               | VARIABLES DE ENTRADA              | VARIABLES DE SALIDA |
| -Velocidad angular del tornillo sin fin. | -Distancia del dado extrusor.     | -Tiempo             |
| -Velocidad angular del agitador.         | -Apertura de la válvula de vapor. | -Temperatura        |
|  | -Cantidad de Salvado.             | -Humedad            |
|  |                                   | -Cantidad de aceite |
|  |                                   | -Presión            |

Fuente. Autor

Basados en la anterior tabla se empieza a aplicar el diseño factorial a los diferentes objetos de estudio y se empiezan a determinar los diferentes ensayos que se observan en la Tabla 5 **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** de la forma como se explica enseguida.

Se dividen los ensayos en dos secciones, mediciones iniciales y extracción de aceite

En este caso se tienen **Factores** que hacen referencia a las variables de entrada en el proceso y **Niveles** que se refieren a los valores que posee cada uno de los factores, por ejemplo:

En la prueba N° 2 Se tienen dos factores o variables de entrada denominadas **A** y **B** que representan la distancia del dado extrusor y la apertura de la válvula de vapor respectivamente. Cada uno de esos factores posee a sus vez niveles es decir la distancia del dado extrusor posee dos niveles que son, 50% de ajuste y 100% de ajuste; y en el caso de la apertura de la válvula de vapor posee tres niveles que son, 25% , 50% y 100% de apertura de la válvula.

En busca de determinar la cantidad de ensayos a realizar para estudiar la interacción de las anteriores variables, solo es necesario multiplicar el número de niveles de A con el número de niveles de B, es decir en el caso de la prueba N° 2 se tiene un total de 6 ensayos. Esto se puede observar fácilmente en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Cantidad de ensayos prueba N°2

| <b>PRUEBA N°2</b>       |                        |                             |
|-------------------------|------------------------|-----------------------------|
|                         | <b>Factores</b>        |                             |
|                         | A (Distancia del dado) | B (Apertura de la válvula ) |
| <b>Niveles</b>          | 50%                    | 25%                         |
|                         | 100%                   | 50%                         |
|                         |                        | 100%                        |
| <b>Total niveles</b>    | <b>DOS</b>             | <b>TRES</b>                 |
| <b>Total de Ensayos</b> | <b>2x 3 =6 (SEIS)</b>  |                             |

Fuente. Autor

De la forma en que se calculó el número de ensayos para la prueba N°2 y siguiendo el mismo tratamiento, se determina el número de ensayos total durante la investigación. Después de realizado el proceso para las pruebas iniciales junto con las pruebas durante la extracción, se obtiene un total de 35 ensayos a realizar; ensayos que brindan la información suficiente para realizar un análisis estadístico de datos lo cual aporta información primordial a la investigación; El consolidado de ensayos se encuentra en la **Tabla 6**.

Tabla 6. Diseño Factorial de ensayos

|                                 | Prueba N° | Ensayos Maquina Extrusora  | Variables (Factores) | Objetos de estudio / Variables   | Niveles A        | Niveles B | Número de ensayos |
|---------------------------------|-----------|--|----------------------|--|------------------|-----------|-------------------|
| Medición inicial                | 1         | Medición de Temperatura del tornillo sin fin en dos puntos, la cual va en función de la distancia del dado , trabajo en vacío  | A                    | Distancia del dado , Punto del tornillo, Tiempo, Temperatura   | 2                | 1         | 2                 |
|                                 | 2         | Medición de Temperatura del tornillo sin fin en dos puntos, la cual va en función de la distancia del dado de extrusión y en presencia de vapor trabajo en vacío   | A,B                  | Distancia del dado , apertura de la válvula de vapor, Punto del tornillo , Tiempo, Temperatura del salvado, temperatura del tornillo       | 2                | 3         | 6                 |
|                                 | 3         | Medición de Temperatura del tornillo sin fin en el cono, la cual va en función de la apertura de la válvula de vapor trabajo en vacío y a velocidad angular de extracción nula   | A,B                  | Apertura de la válvula de vapor, Punto del tornillo , Tiempo, Temperatura del salvado, temperatura del tornillo                            | 1                | 3         | 3                 |
|                                 | 4         | Medición humedad y temperatura del salvado durante la agitación en función de la cantidad de flujo de vapor y la cantidad de salvado   | A,B                  | Cantidad de salvado, Flujo de vapor, humedad del salvado, Tiempo, Temperatura del salvado  | 2                | 3         | 6                 |
| Extracción de Aceite simple     | 5         | Medición de Temperatura del tornillo sin fin en dos puntos y cantidad de aceite obtenida, las cuales va en función de la distancia del dado de extrusión y la cantidad de salvado  | A,B                  | Distancia del dado , Cantidad de salvado, Tiempo, Temperatura del salvado, temperatura del tornillo, cantidad de aceite                    | 2                | 2         | 4                 |
|                                 | 6         | Medición de Temperatura del tornillo sin fin en el cono y cantidad de aceite obtenida, las cuales va en función de la distancia del dado de extrusión y la cantidad de salvado la cual varía su humedad debido a la presencia de vapor | A,B                  | Cantidad de salvado, Distancia del dado, Tiempo, Temperatura del salvado, temperatura del tornillo, cantidad de aceite                     | 2                | 2         | 4                 |
| Extracción de aceite con hexano | 7         | Medición de Temperatura del tornillo sin fin en el cono y cantidad de aceite obtenida, las cuales van en función de la cantidad de hexano utilizado en la extracción.  | A,B                  | Cantidad de salvado, Distancia del dado, Tiempo, Temperatura del salvado, temperatura del tornillo, cantidad de hexano, cantidad de aceite | 1                | 1         | 1                 |
|                                 |           |  |                      |  | Total de Ensayos |           | 26                |

Fuente. Autor

## **9. DISEÑO CONCEPTUAL Y ADECUACIONES MAQUINA EXTRUSORA**

### **9.1 Conceptualización fundamental de diseño**

En esta sección del informe se exponen algunas de las herramientas utilizadas para determinar las modificaciones que se deben realizar a la máquina, basados en conceptos fundamentales de diseño que relacionan variables de entrada, variables de salida y la teoría que antecede este estudio.

#### **9.1.1 Identificación de las funciones necesarias**

Dentro de las funciones principales que debe cumplir el sistema se encuentra la de aumentar el porcentaje de humedad y la temperatura de la materia prima que recibe, lo cual según los antecedentes mejora las cualidades de la harina de arroz al momento de ser extruidas y que da como resultado una mayor cantidad de aceite extraído. Para lograr lo anterior se plantea la instalación de una flauta de vapor conectada directamente a la tolva de recibo (lugar donde se mantiene el salvado de arroz por un corto lapso de tiempo). La flauta de vapor mencionada debe estar conectada a un sistema de tubería de vapor con su respectivo aislamiento, medidores de presión, válvulas de paso y las pertinentes válvulas de purga para los condensados.

De acuerdo a los antecedentes de la temática se llega la conclusión de que el proceso requiere igualmente de un sistema de agitación, este debe permitir que se mezcle el Salvado de arroz durante el tiempo de residencia en la tolva, generando una composición de harina homogénea con el vapor que se le agrega; adicional a esto el sistema de agitación debe mejorar el ingreso de la misma hacia la cámara del tornillo sin fin. Dentro de las exigencias del proceso se tiene que el agitador instalado sea fabricado de un material inoxidable que a su vez se encuentre acoplado a un motoreductor trifásico que se pueda conectar a la línea de 220v con la que ya cuenta la máquina.

Debido a que la máquina extrusora solo cuenta con un motor principal el cual se encuentra acoplado directamente a la conexión de 220v, se requiere la instalación de un sistema eléctrico que cuente con una parada de emergencia, interruptores y luces indicadoras que involucren el encendido independiente del motor principal y el del motor de agitación. Lo anterior con todas las conexiones de seguridad adecuadas.

Finalmente se requieren adecuaciones de movilidad y ergonomía que mejoren estos ámbitos del sistema en general, debido a esto se solicita la instalación de ruedas en la parte inferior de la maquina las cuales brinden un fácil movimiento al sistema al momento que se requiera; dichas ruedas deben contar con el método de frenado pertinente y que resistan la carga suficiente. Además es de importancia agregar un componente de escaleras que faciliten el ingreso de materia prima a la maquina por parte del operario.

### 9.1.2 Análisis funcional

En esta sección se presentan métodos para planificar las tareas que llevara a cabo la máquina, las funciones que realizaran sus componentes y la forma como se llevaran a cabo. Dicho en otras palabras, se encuentra sintetizada dicha solución en forma de conceptos, expresados en forma de esquemas.

#### - Método caja negra

Este método tiene en cuenta entradas y salidas. Estos parámetros de entrada reflejan los medios con los cuales obtendremos las salidas o sea los resultados esperados, para el caso particular y de forma principal se desea obtener aceite por medio de una materia prima que surge del proceso de elaboración del arroz. Este método se muestra en la **Ilustración 6**.

**Ilustración 6.** Método de caja negra

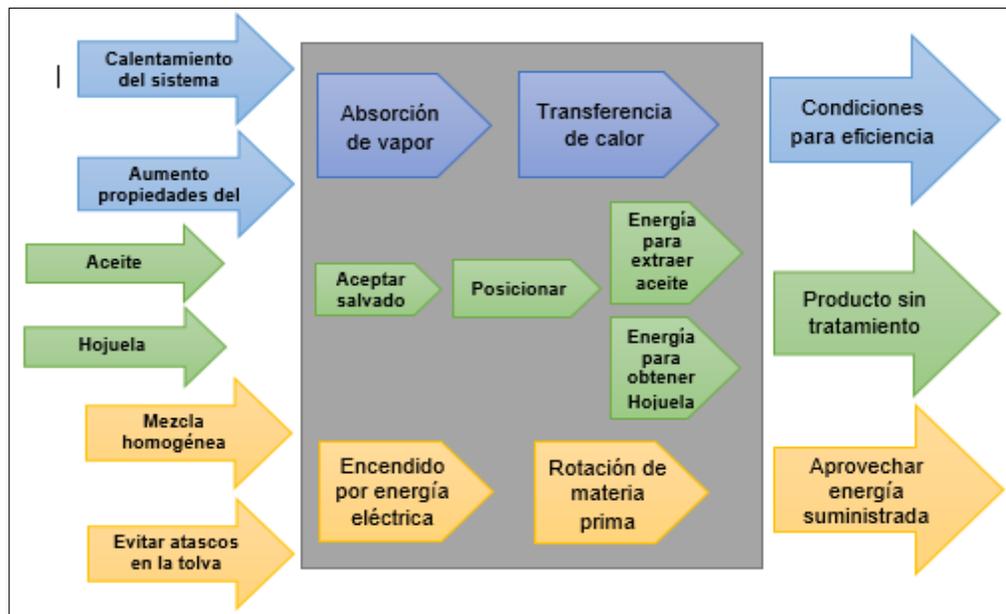


Fuente. Autor

#### - Método caja gris

Este método relaciona los resultados esperados de la caja gris y la función a realizar para concebir tal logro, el cual se tiene como resultado de la operación. Este se muestra en la Ilustración 7.

**Ilustración 7. Método de caja gris**

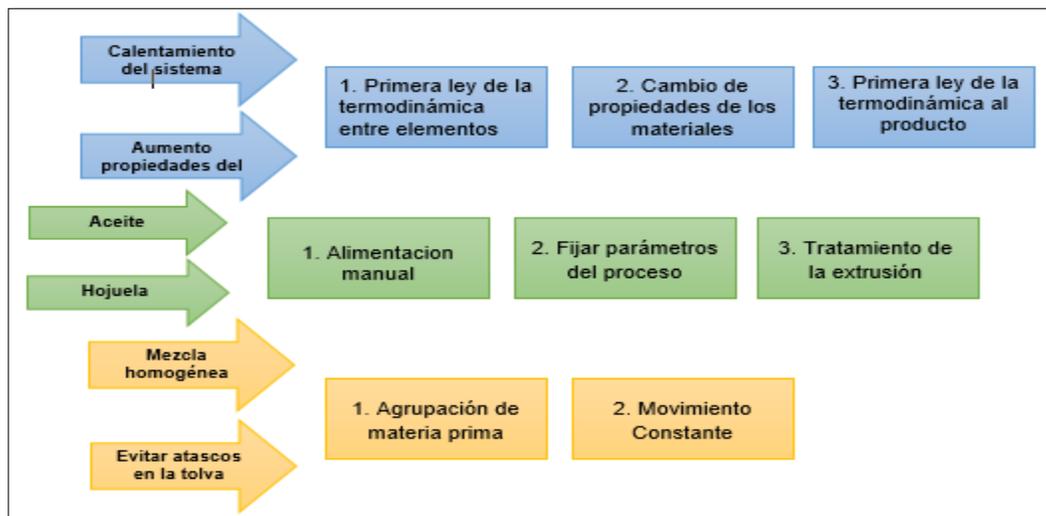


Fuente. Autor

### 9.1.3 Generación e integración de conceptos

Seguidamente, se procede a esquematizar las funciones que llevara a cabo la máquina. La metodología utilizada se denomina árbol de clasificación de conceptos donde se tienen en cuenta los medios para la elaboración del proyecto. Además, se recalca el procedimiento a seguir para lograr las labores a realizar. El caso tratado en esta investigación se aprecia en la Ilustración 8.

**Ilustración 8. Cuadro de integración de conceptos**



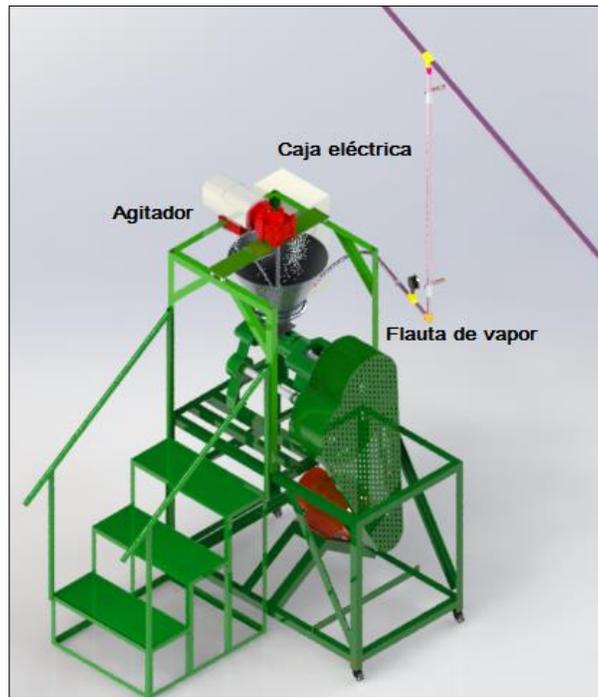
Fuente. Autor

### 9.1.4 Generación detallada del producto

#### Diseño a nivel del sistema

El modelo diseñado mostrado en la Ilustración 9, cumple en gran parte con las exigencias y necesidades de la investigación. Los principales componentes que se encuentran en contacto con el alimento estarían fabricados de materiales inoxidables, ya que, se trabajaría con vapor de agua.

**Ilustración 9.** Diseño sistema general SW



Fuente. Autor

El diseño a nivel del sistema es de tipo arquitectura modular, exactamente seccional-modular, donde las funciones están bien definidas para cada subsistema, de igual manera están limitados a una sola acción. Para el caso particular, se muestra en la Tabla 7 los subsistemas con su respectiva función.

**Tabla 7.** Función por subsistemas

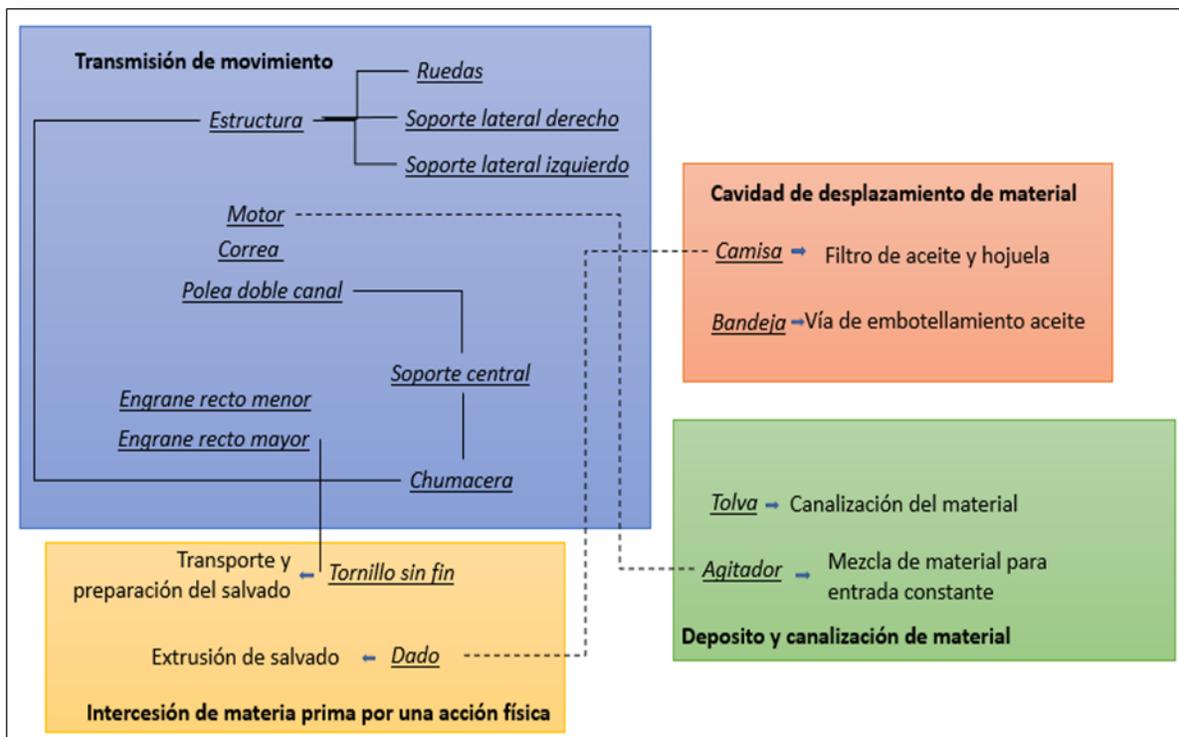
| FUNCIÓN POR SUBSISTEMAS              |                      |                        |
|--------------------------------------|----------------------|------------------------|
| Subsistema                           | Componente principal | Función                |
| Recibidor y canalizador del material | Tolva                | Entrada de material    |
| Mezclador del material               | Agitador             | Homogenizar mezcla     |
| Transmisión de movimiento            | Tornillo sin fin     | Transporte de material |

|   |                     |                        |
|---|---------------------|------------------------|
| Afectación de materia prima por acción física | Dado                | Obtención del producto |
| Cavidad de desplazamiento del producto        | Camisa              | Salida de material     |
| Transmisiones                                 | Engranajes y poleas | Reducción de velocidad |

Fuente. Autor

El diseño a nivel de sistema comprende la realización del diagrama esquemático de la extrusora. Esta se divide en subconjuntos mencionados anteriormente, estos mismos se subdividen en componentes que realizan una función principal, la cual se plasma en la **Ilustración 10**. De igual manera, estos subconjuntos se comunican entre sí por medio de los componentes señalados con líneas punteadas.

**Ilustración 10.** Diagrama esquemático maquina extrusora



Fuente. Autor

## 10. CARACTERIZACIÓN Y ADECUACIONES

La universidad de Ibagué cuenta con una máquina extrusora a la cual durante el desarrollo de esta investigación se le realizaron diferentes adecuaciones y mejoras que comprendían la instalación de nuevos componentes, todo en busca de una optimización del proceso de extracción de aceite contenido en el salvado de arroz.

### 10.1 Descripción general inicial

En la **Ilustración 11**. Se aprecia una fotografía general de la maquina extrusora que a inicios del presente año y antes de realizada la adecuación e instalación de nuevos componentes, solo contaba con dos sistemas importantes que se explicaran a continuación los cuales son el sistema de extrusión y un simple sistema eléctrico.

**Ilustración 11.** Máquina Extrusora antes de las modificaciones



Fuente. Autor

El sistema de extrusión de la máquina para extracción de aceite básicamente cuenta con dos elementos clave al momento de su funcionamiento estos son denominados el dado cónico extrusor y tornillo sin fin de triple paso este último movido por un motor trifásico de 9 HP a través de una transmisión por poleas y bandas, la cual al mismo tiempo posee una reducción de velocidad angular extra por medio de transmisión piñón – rueda, la cual va directamente ensamblada al tornillo sin fin. Cabe resaltar que el sistema anteriormente mencionado no se vio afectado pese a las adecuaciones posteriores realizadas a la máquina.

En cuanto al sistema eléctrico se puede decir que anteriormente tomaba la energía eléctrica de la red a 220 V por medio de una red trifásica hasta el motor principal, la

cual únicamente contaba con un interruptor trifásico tipo riel de hasta 32 amperios por línea para encender o apagar dicho motor.

## 10.2 Descripción general Actual

En esta sección se exponen las diferentes adecuaciones que se le realizan a la máquina extrusora con el fin que propone la investigación. La adecuación de la máquina afecta principalmente el sistema eléctrico pero adicional a esto se hace instalación completa del sistema de agitación y el sistema de vapor que se explican detalladamente en los siguientes párrafos. Es necesario mencionar que el sistema de extrusión siendo el principal, no se vio afectado por las modificaciones.

Con el fin de crear un registro acerca de la máquina en general y sus componentes en detalle el autor de este escrito realiza un diseño mediante la herramienta de diseño asistido por computador Solidworks. Gracias a este instrumento es posible obtener los planos del objeto de estudio y sus componentes más importantes de forma detallada. Además estos ayudan fácilmente al reemplazo o la fabricación de los componentes de la máquina ya que existe un registro de sus medidas esenciales.

Los planos anteriormente mencionados se encuentran en los anexos de este informe junto con las fichas técnicas de sus componentes más importantes.

### Ilustración 12. Estado actual máquina extrusora



Fuente. Autor

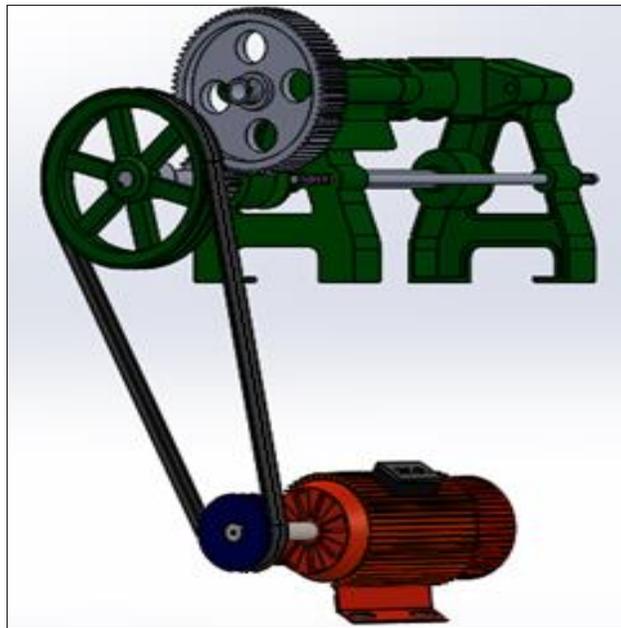
#### 10.2.1 Sistema de extrusión

El sistema de extrusión comprende principalmente todos los componentes que hacen posible la compresión por dado de la materia prima que es transportada por el tornillo sin fin hasta el troquel extrusor.

El sistema inicia desde un árbol de potencia que sale del motor principal hacia una polea conductora (con una velocidad angular de 1795 rpm), esta polea a su vez va conectada mediante un sistema de bandas con una polea conducida de mayor diámetro, haciendo que ocurra una reducción de velocidad angular (reduciéndola a un valor de 505.2 rpm). La polea conducida anteriormente mencionada, va ensamblada sobre un árbol de potencia el cual tiene a lo largo de su longitud un piñón el cual engrana perfectamente con una rueda dentada de mayor diámetro siendo esto una transmisión por engrane que reduce igualmente la velocidad hasta 134,94 rpm. Cabe resaltar que las anteriores medidas de velocidad angular se realizan haciendo uso de un tacómetro digital ut372 de la marca UNIT.

En la **Ilustración 13** se observa el diseño en CAD del sistema de extrusión con todos sus componentes esenciales. La parte superior de este sistema se compone de tres cuerpos fijos fabricados en fundición gris (se podría considerar como el cuerpo de la maquina); en donde descansan la camisa, el tornillo sin fin, el dado extrusor y el tornillo de ajuste posterior.

**Ilustración 13.** Sistema de extrusión SW



Fuente. Autor

En la

**Ilustración 14** se pueden ver y diferenciar las tres partes principales del conjunto de extrusión. El número **1** es el tornillo sin fin el cual por medio de un ajuste cuña-cuña recibe el movimiento rotatorio; el número **2** señala el dado extrusor el cual posee su ajuste por medio de la superficie roscada la cual ingresa en el cuerpo medio de color verde que se encuentra igualmente roscado y por último se puede ver en el número **3** la camisa de extrusión, compuesta por 16 barras de acero las

cuales se organizan rodeando el tonillo extrusor de forma longitudinal, pero dejando un espaciamento de un milímetro, espacio por donde sale el aceite crudo que se obtiene en el proceso.

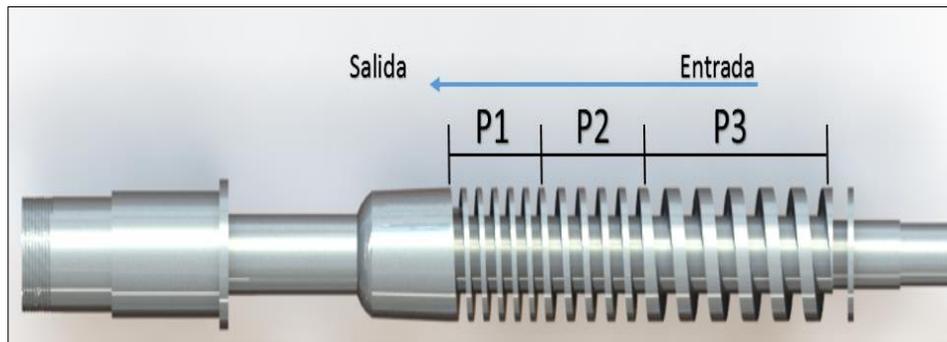
**Ilustración 14.** Conjunto superior de extrusión



Fuente. Autor

Para entender mejor el proceso de extracción entramos a analizar el tornillo sin fin que se ve en la **Ilustración 15**. Este componente de la maquina extrusora es un tornillo que posee 3 diferentes pasos, es decir tres zonas de arrastre de materia prima con diferentes medidas de espaciamento entre crestas de la rosca con el fin de ir aumentando la presión del sistema. Con valores de  $P1= 10,42\text{mm}$ ,  $P2=9\text{mm}$  y  $P3=21\text{mm}$ .

**Ilustración 15.** Tornillo sin fin



Fuente. Autor

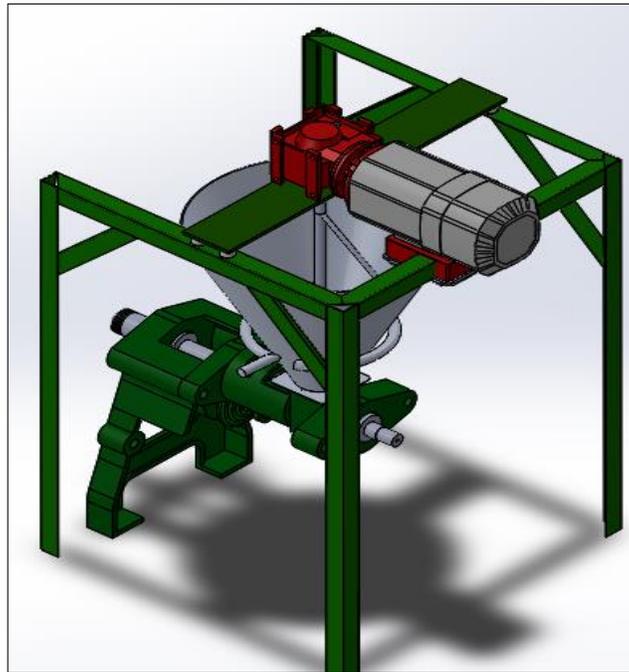
Básicamente el salvado entra en contacto con el tonillo en la parte que se señala como valle en la ilustración que se muestra en la **Ilustración 33**. A medida que el tornillo gira el salvado se va desplazando hacia sus otras dos zonas y va experimentando un aumento en la presión y en la fricción que tiene con la camisa. El incremento de presión y a su vez el de temperatura tanto de la materia prima como de la maquina en cuestión, estos se ven maximizados una vez el salvado entra en contacto con el cono extrusor donde existe un espaciamento mínimo (el cual oscila entre 1 – 3 mm) lo cual provoca la separación del aceite y la hojuela que

sale por la parte posterior del dado. Vale mencionar que el dado posee al igual que el tornillo, forma cónica y que el espaciamiento entre ellos se regula gracias al roscado exterior del dado.

### 10.2.2 Sistema de agitación

El sistema de agitación que se instala en la máquina, se compone inicialmente de una estructura a base de perfiles de acero angular de 38mm de ancho y 900 mm de longitud. Dicha estructura soporta una platina de 10cm de ancho y 7mm de espesor sobre la cual descansa el motor reductor de agitación. Vale la pena mencionar que el ensamble de la estructura angular y la platina se hace por medio de tornillos y resortes lo cual absorbe las vibraciones producidas por la extrusión y que podrían afectar el motoreductor. ‘

**Ilustración 16.** Sistema de agitación SW



Fuente. Autor

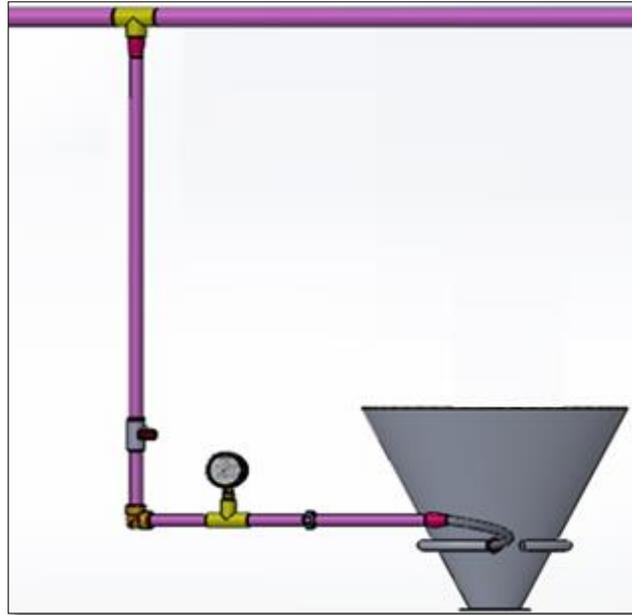
En la **Ilustración 16** se aprecia el elemento mezclador el cual se mueve rotativamente a una velocidad de 15 revoluciones por minuto; este elemento está construido de acero de tubos inoxidable de 9mm de diámetro con forma triangular los cuales entran en constante contacto con la materia prima.

### 10.2.3 Sistema de vapor

Como se mencionó con anterioridad el laboratorio de combustión de la universidad de Ibagué ya cuenta con una red de vapor saturado, la cual va conectada directamente a la caldera de vapor. Por ende el sistema de vapor de la maquina

extrusora que se ve en la **Ilustración 17** se basa en la instalación de tubería que conecta directamente con la tolva de la máquina.

**Ilustración 17.** Sistema de vapor SW



Fuente. Autor

Por medio de una T de 1" y una reducción se conecta tubería de ½" de acero galvanizado en forma vertical para desviar el vapor. Luego de esto, resulta necesario agregar una válvula de globo, la cual nos permita regular el paso de vapor hacia la extrusora; haciendo uso de un codo de 90° se instala tubería horizontalmente. Además la red de vapor cuenta con un manómetro el cual indica la presión de vapor a la que este entra a la tolva. Luego se observa un acople universal que facilita el desmonte de la tubería y finalmente una acople flexible inoxidable entre la tubería galvanizada y una flauta de vapor conectada alrededor de la tolva que recibe el salvado. La flauta de vapor posee tres orificios de salida; orificios donde entran en contacto el vapor saturado y el salvado de arroz.

#### 10.2.4 Sistema Eléctrico

La máquina extrusora únicamente posee dos elementos eléctricos importantes los cuales son, el motor principal de extrusión y el motoreductor de agitación. Debido a lo anterior el sistema eléctrico que se instala básicamente permite un accionar más simple y seguro de los motores mencionados los cuales reciben la energía eléctrica de una red a 220 Volts.

Mediante la disposición de una caja eléctrica con interruptores y luces (ver **Ilustración 18**) el operario puede mediante indicadores de luz detectar el estado de del motor principal y del motor de agitación los cuales podrían ser, en arranque si la luz verde alumbró o por el contrario en falla si la luz roja es la que se percibe.

Adicional a esto el operario puede dar marcha a cada uno de los motores de forma independiente con el simple accionar de un interruptor, es decir no hay necesidad de que los dos motores funcionen al mismo tiempo. Finalmente y muy importante se resalta que el sistema cuenta con un circuito de parada de emergencia lo que permite mediante un pulsador rojo cortar el flujo de corriente al sistema en cualquier momento que el operario lo vea necesario.

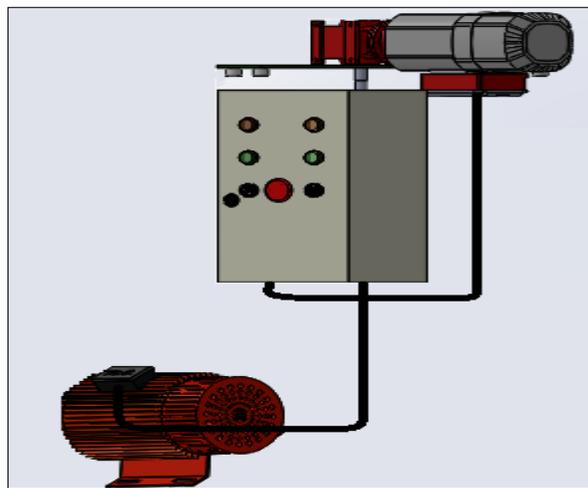
**Ilustración 18.** Vista frontal caja del sistema eléctrico



Fuente. Autor

Como se puede ver en la **Ilustración 19** el motor principal y el de agitación (ambos trifásicos) van conectados a la caja de control la cual no posee más que un arreglo de breakers, contactores y relés térmicos los cuales forman circuitos que brindan seguridad al operario en caso de fallas de la maquina o subidas de potencia.

**Ilustración 19.** Sistema eléctrico SW



Fuente. Autor

El dispositivo que se aprecia en la **Ilustración 20** es el motor trifásico de agitación. Dicho motor es fabricado por la empresa TECHTOP, funciona a una frecuencia de 60 Hz por lo que ofrece una potencia de operación igual a 0.14 Hp y 1580 rpm. Debido a que el sistema de agitación no podría funcionar a este número de revoluciones por minuto se instala a la par un motoreductor el cual arroja una reducción de velocidad igual a 15 rpm.

**Ilustración 20.** Motor de agitación



Fuente. Autor

Por otro lado tenemos el motor que se aprecia en la **Ilustración 21**, dicho elemento es el motor trifásico principal de la maquina extrusora el cual brinda la potencia necesaria para ejercer la fuerza que extrusiona el salvado de arroz y extrae el aceite. Debido a las exigencias de la máquina, el motor cuenta con un ensamblaje robusto y brinda una potencia de operación de hasta 9hp con una velocidad angular a la salida de 1740 rpm. Vale resaltar que este motor es fabricado por la reconocida empresa SIEMENS Colombia, funciona a 60 Hz y es de la serie de motores de Heavy Duty 1LA3.

Ilustración 21. Motor principal



Fuente. Autor

### 10.2.5 Ergonomía

Para mejorar la manipulación y ergonomía de la máquina durante el trabajo se hace la respectiva instalación de escaleras con el fin de facilitar el ingreso manual del salvado en la tolva de recibo. Además se hace necesario agregar ruedas de carga a la parte inferior de la base de la máquina las cuales poseen su respectivo sistema de frenos todo con el fin de mejorar su transporte cuando lo requiera.

En la **Ilustración 12** y en los anexos de este documento se aprecian fotografías de los componentes mencionados.

## 11. ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Para poder tener certeza del tipo de materia prima con que se está trabajando en la investigación se hace necesario realizar 4 pruebas que ayudan a caracterizar física y químicamente el salvado de arroz.

Las pruebas realizadas en esta investigación fueron:

- Contenido de humedad
- Contenido de cenizas
- Cantidad de aceite total
- Índice de acidez

### 11.1 Instrumentación utilizada

En esta sección se exhibe la instrumentación necesaria para realizar los diferentes análisis realizados a la materia prima. Dichos implementos se encuentran en el laboratorio de química de la universidad de Ibagué.

#### - **Mufla eléctrica:**

Se hace uso de la mufla eléctrica que posee la universidad de Ibagué ya que sirve para determinar el porcentaje de humedad de la cascarilla y el porcentaje de carbono sin quemar. La mufla eléctrica se aprecia en

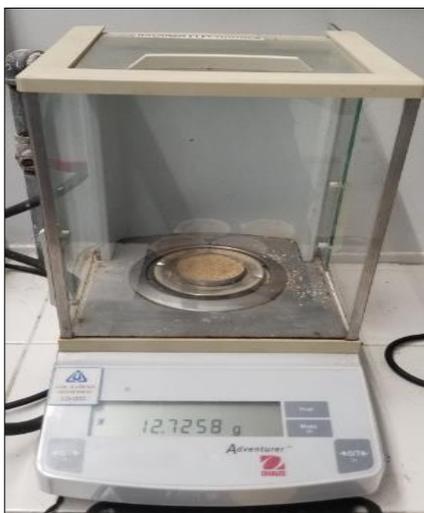
**Ilustración 22.** Mufla eléctrica.



Fuente. Autor

- **Balanza digital:** Para las mediciones de peso de las diferentes muestras que se toman durante los diferentes análisis químicos se hace uso de la balanza ADVENTURER ANALÍTICA la cual posee una capacidad máxima de 220g y una lectura mínima de 0,1mg, un tamaño de plato igual a 90 mm, un protector de corrientes de aire, posee un adaptador de CA y un tiempo máximo de estabilización de 3 segundos. [42]

**Ilustración 23.** Balanza digital Ohaus



Fuente. Autor

- **Centrifuga:** La centrifuga de laboratorio STANDARD 4T que se observa en la **Ilustración 24** es utilizada para separar el contenido de aceite que posee el salvado. Este dispositivo posee un regulador de temperatura de hasta 80°C, un temporizador de hasta una hora de funcionamiento y un regulador de velocidad rotativa de hasta 2300 rpm.

**Ilustración 24.** Centrifuga



Fuente. Autor

- **Rotavapor:** El RV 10 digital representa la mejora continua de la línea de evaporadores rotativos IKA RV 10. La unidad viene con un nuevo baño de calefacción universal, cristalería vertical, características de seguridad de vanguardia y conectividad digital. El RV 10 digital es un compañero de laboratorio robusto y confiable. Su volumen de baño optimizado permite tiempos de calentamiento rápidos. El dispositivo que se observa en la

**Ilustración 25** es utilizado en la investigación para determinar el contenido de aceite total separándolo del hexano.

**Ilustración 25.** Rotavapor



Fuente. Autor

- **Instrumentación general:** Dentro de la instrumentación básica utilizada encontramos, embudos, vaso precipitado, probetas milimetradas, recipientes planos metálicos y cerámicos.

**Ilustración 26.** Instrumentación básica de laboratorio



Fuente. Autor

## 11.2 Metodología y resultados

### 11.2.1 Contenido de humedad

El contenido de humedad se determina mediante un método termogravimétrico, es decir, por pérdida por secado, mediante el cual se calienta la muestra y se registra la pérdida de peso debida a la evaporación de la humedad. Las tecnologías de análisis de humedad más usadas son el analizador de humedad y el horno de secado en combinación con una balanza. En este caso se utiliza el método por horno de secado, bajo en la Norma NTC 282 o AOAC 930.15, y se realiza la prueba a 4 muestras por ejemplar

A continuación se expone el procedimiento realizado para tomar las mediciones:

1. Haciendo uso de la balanza digital se pesan 4 recipientes cerámicos planos vacíos y limpios debidamente numerados. (Masa recipiente)
2. Se agregan 5 gramos del salvado de arroz a cada uno de los recipientes.
3. Se registra el peso de los recipientes con salvado (Masa 1).
4. Se enciende la mufla eléctrica y se programa para que trabaje a una temperatura de 110°C.
5. Se introducen las muestras dentro de la mufla eléctrica durante 5 horas.
6. Pasado el tiempo anterior se sacan las muestras, se vuelven a pesar y se registra el valor (muestra 2). Se nota una pérdida de peso considerable.
7. Se introducen las muestras nuevamente al horno durante 30 min.
8. Nuevamente se registra el peso de las muestras (Masa 3).
9. Los últimos dos procedimientos se repiten hasta que el peso
10. Finalmente haciendo uso de la **Ecuación 5** se calcula el porcentaje de humedad, el cual va en función del peso inicial y el peso final de la muestra.

En **Tabla 8**, **Tabla 9** y **Tabla 10** se aprecian los resultados de las 3 pruebas realizadas vale mencionar que la prueba del ejemplar 1 y 2 se realizan con una masa inicial de salvado aproximada a los 5gr y la prueba realizada al ejemplar 3 se lleva a cabo con masa de salvado inicial iguala 4gr.

**Tabla 8.** Resultados Humedad primer ejemplar

| Ejemplar 1 – Horno a 100 °C |                      |             |             |             |             |             |                      |
|-----------------------------|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------------|
| N° de Muestra               | Masa recipiente (gr) | Masa 1 (gr) | Masa 2 (gr) | Masa 3 (gr) | Masa 4 (gr) | Humedad (%) | Masa inicial SA (gr) |
| 1                           | 19,9056              | 24,9057     | 22,7010     | 22,6875     | 22,6860     | 8,912       | 5,0001               |
| 2                           | 21,4192              | 26,4190     | 24,2364     | 24,2053     | 24,2095     | 8,363       | 4,9998               |
| 3                           | 21,3817              | 26,3817     | 24,1884     | 24,1757     | 24,1789     | 8,350       | 5,0000               |
| 4                           | 19,9156              | 24,9157     | 22,7332     | 22,7082     | 22,7159     | 8,829       | 5,0001               |

Fuente. Autor

**Tabla 9.** Resultados humedad tercer ejemplar

| Ejemplar 2 - Horno a 110°C |                      |             |             |             |             |             |                      |
|----------------------------|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------------|
| N° de muestra              | Masa recipiente (gr) | Masa 1 (gr) | Masa 2 (gr) | Masa 3 (gr) | Masa 4 (gr) | Humedad (%) | Masa inicial SA (gr) |
| 1                          | 8,2249               | 13,2252     | 12,1405     | 12,1286     | 12,1258     | 8,313       | 5,0003               |
| 2                          | 7,6360               | 12,6368     | 11,6415     | 11,6263     | 11,6195     | 8,050       | 5,0008               |
| 3                          | 7,4658               | 12,4351     | 11,4661     | 11,4455     | 11,4349     | 8,043       | 4,9693               |
| 4                          | 7,8543               | 12,8547     | 11,7831     | 11,7622     | 11,7596     | 8,519       | 5,0004               |

Fuente. Autor

**Tabla 10.** Resultados humedad segundo ejemplar

| Ejemplar 3 - Horno a 110°C |                      |             |             |             |             |             |                      |
|----------------------------|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------------|
| N° de muestra              | Masa recipiente (gr) | Masa 1 (gr) | Masa 2 (gr) | Masa 3 (gr) | Masa 4 (gr) | Humedad (%) | Masa inicial SA (gr) |
| 1                          | 8,2200               | 12,2200     | 11,7400     | 11,6000     | 11,4900     | 5,974       | 4,0000               |
| 2                          | 7,4700               | 11,4700     | 11,0500     | 10,9300     | 10,7900     | 5,929       | 4,0000               |
| 3                          | 7,8700               | 11,8700     | 11,3700     | 11,2000     | 11,1700     | 5,897       | 4,0000               |
| 4                          | 7,6500               | 11,6500     | 11,1400     | 11,1200     | 11,0600     | 5,064       | 4,0000               |

Fuente. Autor

### 11.2.2 Contenido de cenizas

Con el fin de determinar la cantidad de material inquemado en base húmeda es necesario realizar el siguiente procedimiento que obedece a la norma AOAC 923.03:

1. Pesar 4 recipientes planos en la balanza digital y registrar su valor.
2. Agregar 5 gr de salvado seco en los recipientes mencionados.
3. Pesar nuevamente los recipientes en la balanza digital y así registrar nuevamente el peso total.
4. Encender la mufla eléctrica y programarla a una temperatura de 500°C.
5. Una vez la mufla alcance la temperatura programada se procede ingresando las muestras durante 4 horas.
6. Una vez se cumpla el tiempo estipulado se sacan las muestras de la mufla y se espera a que se enfríen.
7. Se pesan las muestras en balanza digital y se registran los últimos datos
8. Finalmente se hace uso de la **Ecuación 6** para determinar el porcentaje de inquemados.

En este estudio se realiza el procedimiento mencionado a dos ejemplares diferentes variando únicamente en el tipo de recipiente. Los resultados de estos dos ejemplares se aprecian en la **Tabla 11** y **Tabla 12** que se muestran a continuación.

**Tabla 11.** Resultados contenido cenizas primer ejemplar

| <b>Ejemplar 1 (Base húmeda) – Horno a 500°C</b> |                     |                             |                          |                              |                        |                    |                                  |                                |
|---|---------------------|-----------------------------|--------------------------|------------------------------|------------------------|--------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| <b>Recipiente Cerámico</b>                      | <b>N° de prueba</b> | <b>Masa recipiente (gr)</b> | <b>Masa entrada (gr)</b> | <b>Tiempo en horno (min)</b> | <b>Masa salida(gr)</b> | <b>Cenizas (%)</b> | <b>Masa salvado inicial (gr)</b> | <b>Masa salvado final (gr)</b> |
|   | 1                   | 19,9066                     | 24,9025                  | 240                          | 20,2693                | 18,6054            | 4,9959                           | 0,3627                         |
|   | 2                   | 21,4192                     | 26,4153                  |                              | 21,7807                | 17,5451            | 4,9961                           | 0,3615                         |
|   | 3                   | 21,3827                     | 26,3820                  |                              | 21,7454                | 17,5749            | 4,9993                           | 0,3627                         |
|   | 4                   | 19,9171                     | 24,9173                  |                              | 20,2755                | 18,6288            | 5,0002                           | 0,3584                         |

Fuente. Autor

**Tabla 12.** Resultados contenido de cenizas segundo ejemplar

| <b>Ejemplar 2 (Base húmeda) – Horno a 500°C</b> |                     |                             |                          |                              |                        |                    |                                  |                                |
|---|---------------------|-----------------------------|--------------------------|------------------------------|------------------------|--------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| <b>Recipiente Metálico</b>                      | <b>N° de prueba</b> | <b>Masa recipiente (gr)</b> | <b>Masa entrada (gr)</b> | <b>Tiempo en horno (min)</b> | <b>Masa salida(gr)</b> | <b>Cenizas (%)</b> | <b>Masa salvado inicial (gr)</b> | <b>Masa salvado final (gr)</b> |
|   | 1                   | 7,8670                      | 9,8660                   | 240                          | 8,0290                 | 18,6195            | 1,9990                           | 0,1620                         |
|   | 2                   | 7,6510                      | 9,6506                   |                              | 7,8080                 | 19,0931            | 1,9996                           | 0,1570                         |
|   | 3                   | 8,2333                      | 10,2330                  |                              | 8,3993                 | 17,9195            | 1,9997                           | 0,1660                         |
|   | 4                   | 7,4750                      | 9,4750                   |                              | 7,6369                 | 19,3995            | 2,0000                           | 0,1619                         |

Fuente. Autor

### 11.2.3 Cantidad de aceite total

Para determinar el porcentaje de aceite que contiene el salvado de arroz es necesario hacer uso de un solvente industrial llamado hexano el cual ayuda a desprender el aceite del cuerpo del salvado. Antes de iniciar la prueba es necesario adquirir alrededor de 50ml de este componente químico.

La prueba de extracción de aceite se divide básicamente en dos partes; en la primera se realiza la extracción del aceite presente en el salvado haciendo uso de hexano y en la segunda se separa el aceite extraído del hexano que lo acompaña.

Vale mencionar que en este estudio se realizan 3 pruebas para determinar el contenido de aceite total.

La primer parte del proceso de extracción persigue el siguiente procedimiento bajo la norma AOAC 922.06:

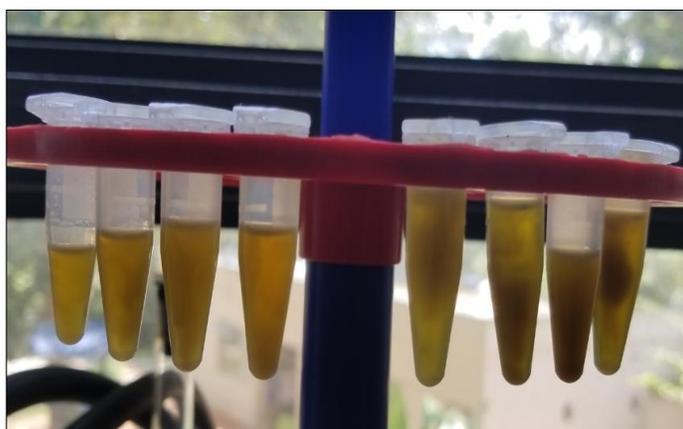
1. Haciendo uso de la balanza digital se pesan los 4 recipientes cónicos de ensayo que posee la maquina centrifuga que se aprecia en la **Ilustración 24** y se registra su valor.

2. Se agregan aproximadamente 5gr de salvado en cada uno de los recipientes cónicos de la centrifuga debidamente enumerados y se registra su peso.
3. Se agregan 40 ml de hexano en cada uno de los recipientes cónicos con salvado y se registra su peso.
4. Con el fin de que las muestras roten de forma balanceada en la centrifuga se selecciona el recipiente cónico de mayor peso y se igualan los pesos de los recipientes cónicos restantes agregando el hexano necesario.
5. Se ingresan todos los recipientes cónicos dentro de la centrifuga.
6. Se programa la centrifuga de forma que realice la rotación de las muestras durante 20 min a una velocidad rotativa de 2330 rpm.
7. Luego de los 20 min se observa que el color del hexano ha cambiado ya que entra en contacto con el aceite extraído por ende se retira cuidadosamente la mezcla de aceite y hexano dentro de recipientes de vidrio de forma separada y debidamente marcados. Es decir el contenido liquido del recipiente cónico N°1 se agrega en el recipiente de vidrio N°1.
8. Se observa que en los recipientes cónicos queda el salvado restante. Encima de ese salvado es necesario agregar 40 ml de hexano y repetir todo el proceso dos veces más ubicando el contenido liquido de hexano y aceite en su recipiente de vidrio respectivo.
9. Al finalizar esto se deben tener 4 recipientes de vidrio debidamente enumerados los cuales contienen cada uno una mezcla liquida de hexano y aceite de salvado producto de la rotación en la centrifuga.

En las tablas **Tabla 13**, **Tabla 16** y **Tabla 19** se aprecian los datos obtenidos durante la primer parte de la extracción de aceite

La segunda parte de la extracción se realiza haciendo uso del rotavapor (ver **Ilustración 25**) el cual permite la evaporación del hexano separándolo del aceite. Este proceso persigue el siguiente procedimiento:

1. Se debe agregar el contenido del recipiente de vidrio (Mezcla de aceite y hexano) en un balón de destilación.
2. Ubicar el balón de destilación en el rotavapor.
3. Montar el matraz recolector de hexano
4. Cerrar la llave de vacío
5. Conectar la entrada de agua
6. Adicionar agua al recipiente de baño maría que posee el rotavapor.
7. Programar la temperatura del baño en 70°C
8. Una vez se alcance la temperatura programada se sumerge en su totalidad el balón de destilación
9. Se encienden el rotavapor y la bomba de vacío y se programan para trabajar durante 20 minutos.
10. Una vez termine el proceso se desmonta la llave de vacío.
11. Se retira el matraz de condensación y se retira el hexano
12. Finalmente se retira el aceite extraído y se encapsula en los recipientes que se aprecian en la **Ilustración 27**.

**Ilustración 27.** Muestras de aceite extraído en el rotavapor.

Fuente. Autor

En la **Tabla 14**, **Tabla 17** y**Tabla 20** se pueden observar los resultados obtenidos en la segunda parte de la extracción de aceite.

Teniendo en cuenta los datos obtenidos durante la extracción de aceite se realiza el cálculo de % de aceite extraído el cual va en función de su masa. Estos resultados se pueden ver en la **Tabla 15**, **Tabla 18** y **Tabla 21**.

**Tabla 13.** Valores primera prueba en la centrifuga

| N° de repetición | N° Tubo | Masa Tubo con tapa (gr) | Masa Tubo con tapa y salvado (gr) | Masa Salvado agregado (gr) | Hexano agregado por prueba (ml) | Masa tubo con salvado y hexano inicial (gr) | Hexano agregado para igualar pesos (ml) | Masa tubo en centrifuga (gr) | Hexano total utilizado (ml) |
|------------------|---------|-------------------------|-----------------------------------|----------------------------|---------------------------------|---|---|------------------------------|-----------------------------|
| 1                | 1       | 72,675                  | 77,655                            | 4,980                      | 40,000                          | 104,191                                     | 4,600                                   | 107,132                      | 44,600                      |
|                  | 2       | 73,475                  | 78,472                            | 4,997                      |                                 | 105,290                                     | 3,280                                   | 107,126                      | 43,280                      |
|                  | 3       | 72,526                  | 77,526                            | 5,000                      |                                 | 104,055                                     | 5,000                                   | 107,135                      | 45,000                      |
|                  | 4       | 75,570                  | 80,569                            | 4,999                      |                                 | 107,101                                     | 0,210                                   | 107,136                      | 40,210                      |
| 2                | 1       | N/A                     | 80,155                            | N/A                        | 40,000                          | 107,611                                     | 5,570                                   | 111,206                      | 45,570                      |
|                  | 2       | N/A                     | 80,972                            | N/A                        |                                 | 108,683                                     | 3,810                                   | 111,189                      | 43,810                      |
|                  | 3       | N/A                     | 80,026                            | N/A                        |                                 | 107,605                                     | 5,520                                   | 111,183                      | 45,520                      |
|                  | 4       | N/A                     | 83,069                            | N/A                        |                                 | 111,176                                     | 0,000                                   | 111,176                      | 40,000                      |
| 3                | 1       | N/A                     | 80,929                            | N/A                        | 40,000                          | 107,397                                     | 6,700                                   | 110,851                      | 46,700                      |
|                  | 2       | N/A                     | 81,728                            | N/A                        |                                 | 108,245                                     | 4,920                                   | 110,869                      | 44,920                      |
|                  | 3       | N/A                     | 81,342                            | N/A                        |                                 | 107,862                                     | 4,810                                   | 110,850                      | 44,810                      |
|                  | 4       | N/A                     | 84,411                            | N/A                        |                                 | 110,850                                     | 0,000                                   | 110,850                      | 40,000                      |

Fuente. Autor

**Tabla 14.** Valores primera prueba en el rotavapor

| N° Tubo | Masa recipiente (gr) | Masa recipiente y aceite (gr) | Masa aceite (gr) | Densidad (gr/ml) | Eficiencia (%) |
|---------|----------------------|-------------------------------|------------------|------------------|----------------|
| 1       | 1,0226               | 1,7631                        | 0,741            | 0,673            | 14,87          |
| 2       | 1,013                | 1,6250                        | 0,612            | 0,453            | 12,25          |
| 3       | 1,0072               | 1,7165                        | 0,709            | 0,709            | 14,19          |
| 4       | 1,0093               | 1,7120                        | 0,703            | 0,562            | 14,06          |

Fuente. Autor

**Tabla 15.** Resultados contenido de aceite primera prueba

| N° Tubo | Tiempo (min) | Velocidad (rpm) | Temperatura baño maría (°C) | Presión de vacío (mbar) | Hexano (ml) | Aceite de salvado de arroz (ml) |
|---------|--------------|-----------------|-----------------------------|-------------------------|-------------|---------------------------------|
| 1       | 25           | 80              | 70                          | 100                     | 75          | 1,10                            |
| 2       | 25           | 80              | 70                          |                         | 95          | 1,35                            |
| 3       | 25           | 80              | 70                          |                         | 100         | 1,00                            |
| 4       | 25           | 80              | 70                          |                         | 85          | 1,25                            |

Fuente. Autor

**Tabla 16.** Valores segunda prueba en la centrifuga

| N° de repetición | N° Tubo | Masa Tubo con tapa (gr) | Masa Tubo con tapa y salvado (gr) | Masa Salvado agregado (gr) | Hexano inicial agregado (ml) | Masa tubo con salvado y hexano inicial (gr) | Hexano agregado para igualar pesos (ml) | Masa tubo en centrifuga (gr) | Hexano total utilizado (ml) |
|------------------|---------|-------------------------|-----------------------------------|----------------------------|------------------------------|---|---|------------------------------|-----------------------------|
| 1                | 1       | 72,857                  | 80,455                            | 7,598                      | 64,000                       | 120,423                                     | 3,350                                   | 122,623                      | 67,350                      |
|                  | 2       | 73,280                  | 81,286                            | 8,006                      |                              | 122,393                                     | 0,000                                   | 122,393                      | 64,000                      |
|                  | 3       | 73,724                  | 81,724                            | 8,000                      |                              | 121,641                                     | 1,300                                   | 122,501                      | 65,300                      |
|                  | 4       | 74,376                  | 82,372                            | 7,996                      |                              | 122,406                                     | 0,000                                   | 122,406                      | 64,000                      |
| 2                | 1       | N/A                     | 85,996                            | N/A                        | 64,000                       | 126,606                                     | 7,000                                   | 129,927                      | 71,000                      |
|                  | 2       | N/A                     | 88,003                            | N/A                        |                              | 128,116                                     | 3,000                                   | 129,418                      | 67,000                      |
|                  | 3       | N/A                     | 88,417                            | N/A                        |                              | 129,702                                     | 0,000                                   | 129,702                      | 64,000                      |
|                  | 4       | N/A                     | 86,861                            | N/A                        |                              | 125,790                                     | 8,000                                   | 129,469                      | 72,000                      |

|   |   |     |        |     |        |         |       |         |        |
|---|---|-----|--------|-----|--------|---------|-------|---------|--------|
| 3 | 1 | N/A | 87,453 | N/A | 64,000 | 126,826 | 5,000 | 129,102 | 69,000 |
|   | 2 | N/A | 87,664 | N/A |        | 128,172 | 2,000 | 129,545 | 66,000 |
|   | 3 | N/A | 88,549 | N/A |        | 129,356 | 0,000 | 129,356 | 64,000 |
|   | 4 | N/A | 86,865 | N/A |        | 126,772 | 5,100 | 129,170 | 69,100 |

Fuente. Autor

**Tabla 17.** Valores segunda prueba en el rotavapor

| N° Tubo | Tiempo (min) | Velocidad (rpm) | Temperatura a baño maría (°C) | Presión de vacío (mbar) | Hexano (ml) | Aceite de salvado de arroz (ml) |
|---------|--------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------|-------------|---------------------------------|
| 1       | 25           | 80              | 70                            | 100                     | 145         | 1,38                            |
| 2       | 25           | 80              | 70                            |                         | 165         | 1,15                            |
| 3       | 25           | 80              | 70                            |                         | 150         | 0,80                            |
| 4       | 25           | 80              | 70                            |                         | 125         | 1,22                            |

Fuente. Autor

**Tabla 18.** Resultados contenido de aceite segunda prueba

| N° Tubo | Masa recipiente (gr) | Masa recipiente y aceite (gr) | Masa aceite (gr) | Densidad (gr/ml) | Eficiencia (%) |
|---------|----------------------|-------------------------------|------------------|------------------|----------------|
| 1       | 0,9898               | 2,1029                        | 1,1131           | 0,807            | 14,65          |
| 2       | 1,0005               | 1,9781                        | 0,9776           | 0,850            | 12,21          |
| 3       | 1,0071               | 1,7075                        | 0,7004           | 0,876            | 8,76           |
| 4       | 0,9841               | 2,0052                        | 1,0211           | 0,837            | 12,77          |

Fuente. Autor

**Tabla 19.** Valores tercera prueba en la centrifuga

| N° de repetición | N° Tubo | Masa Tubo con tapa (gr) | Masa Tubo con tapa y salvado (gr) | Masa Salvado agregado (gr) | Hexano inicial agregado (ml) | Masa tubo con salvado y hexano inicial (gr) | Hexano agregado para igualar pesos (ml) | Masa tubo en centrifuga (gr) | Hexano total utilizado (ml) |
|------------------|---------|-------------------------|-----------------------------------|----------------------------|------------------------------|---|---|------------------------------|-----------------------------|
| 1                | 1       | 71,855                  | 79,855                            | 8,000                      | 64,000                       | 117,638                                     | 8,000                                   | 122,832                      | 72,000                      |

|   |   |        |        |       |        |         |       |         |        |
|---|---|--------|--------|-------|--------|---------|-------|---------|--------|
|   | 2 | 73,008 | 81,006 | 7,998 |        | 119,739 | 5,000 | 122,350 | 69,000 |
|   | 3 | 74,757 | 82,754 | 7,997 |        | 122,008 | 0,000 | 122,008 | 64,000 |
|   | 4 | 72,001 | 80,006 | 8,005 |        | 118,484 | 6,000 | 122,007 | 70,000 |
| 2 | 1 | N/A    | 85,079 | N/A   | 64,000 | 124,210 | 6,000 | 128,338 | 70,000 |
|   | 2 | N/A    | 86,720 | N/A   |        | 124,420 | 5,000 | 127,268 | 69,000 |
|   | 3 | N/A    | 85,157 | N/A   |        | 127,030 | 0,000 | 127,030 | 64,000 |
|   | 4 | N/A    | 85,334 | N/A   |        | 123,670 | 8,000 | 127,478 | 72,000 |
| 3 | 1 | N/A    | 85,008 | N/A   | 64,000 | 124,675 | 3,000 | 126,880 | 67,000 |
|   | 2 | N/A    | 86,312 | N/A   |        | 125,440 | 2,000 | 126,630 | 66,000 |
|   | 3 | N/A    | 88,722 | N/A   |        | 126,748 | 0,000 | 126,748 | 64,000 |
|   | 4 | N/A    | 86,407 | N/A   |        | 124,775 | 3,500 | 126,620 | 67,500 |

Fuente. Autor

**Tabla 20.** Valores tercera prueba en el rotavapor

| N° Tubo | Tiempo (min) | Velocidad (rpm) | Temperatura a baño maría (°C) | Presión de vacío (mbar) | Hexano (ml) | Aceite de salvado de arroz (ml) |
|---------|--------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------|-------------|---------------------------------|
| 1       | 25           | 80              | 70                            | 100                     | 129         | 1,40                            |
| 2       | 25           | 80              | 70                            |                         | 150         | 1,20                            |
| 3       | 25           | 80              | 70                            |                         | 150         | 0,75                            |
| 4       | 25           | 80              | 70                            |                         | 160         | 1,10                            |

Fuente. Autor

**Tabla 21.** Resultados contenido de aceite tercera prueba

| N° Tubo | Masa recipiente (gr) | Masa recipiente y aceite (gr) | Masa aceite (gr) | Densidad (gr/ml) | Eficiencia (%) |
|---------|----------------------|-------------------------------|------------------|------------------|----------------|
| 1       | 1,009                | 2,1296                        | 1,1206           | 0,800            | 14,01          |
| 2       | 0,9912               | 2,0028                        | 1,0116           | 0,843            | 12,65          |
| 3       | 0,9944               | 1,616                         | 0,6216           | 0,829            | 7,77           |
| 4       | 1,008                | 2,0160                        | 1,0080           | 0,916            | 12,59          |

Fuente. Autor

### 11.2.4 Índice de acidez

Para poder determinar el índice de acidez que poseen las muestras de aceite extraídas se debe realizar una valoración ácido-base. Como reactivo valorante debe usarse una disolución de NaOH 0.1N estandarizada previamente y como indicador

se usa fenolftaleína al 0,1% en etanol. Para realizar el análisis se requiere seguir el siguiente procedimiento bajo la norma AOCS Ca 5<sup>a</sup>-40:

1. Se debe preparar una mezcla reactiva la cual corresponde a 1/1 en Volumen de: Dietil éter y Etanol (Alcohol Etílico). Para el caso, se tiene 25 ml de cada sustancia.
2. Se debe preparar igualmente una mezcla de 10 gr/L (1 gr/100 ml) de Fenolftaleína en alcohol etílico (Etanol).
3. En un Erlenmeyer depositar la muestra de aceite y agregar los 50 ml de mezcla reactiva, seguidamente se agregan 0.5ml de la mezcla de Fenolftaleína.
4. Haciendo uso de una probeta se debe titular la muestra con una solución de hidróxido de sodio 0.1 M hasta adquirir una coloración rosa que persista durante 30seg.
5. Registrar la cantidad de solución de hidróxido de sodio que se aplica durante la titulación.
6. Para finalizar es necesario calcular el índice de acidez AV haciendo uso de la **Ecuación 7**.

**Tabla 22.** Ejemplar 1 índice de acidez

| Mezcla Reactiva (ml) | Masa aceite (gr) | Fenolftaleína (gotas) | Hidróxido de sodio (ml) | AV     |
|----------------------|------------------|-----------------------|-------------------------|--------|
| 50                   | 0,741            | 15                    | 3,5                     | 26,516 |
|                      | 0,612            |                       | 3,7                     | 33,917 |
|                      | 0,709            |                       | 3,3                     | 26,100 |
|                      | 0,703            |                       | 3,5                     | 27,942 |

Fuente. Autor

**Tabla 23.** Ejemplar 2 índice de acidez

| Mezcla Reactiva (ml) | Masa aceite (gr) | Fenolftaleína (gotas) | Hidróxido de sodio (ml) | AV     |
|----------------------|------------------|-----------------------|-------------------------|--------|
| 50                   | 1,113            | 15                    | 3,8                     | 19,152 |
|                      | 0,978            |                       | 3,5                     | 20,085 |
|                      | 0,700            |                       | 3,6                     | 28,835 |
|                      | 1,021            |                       | 3,4                     | 18,680 |

Fuente. Autor

## 12. EVALUACIÓN E INCIDENCIA DE VARIABLES

### 12.1 Instrumentación utilizada

- **Pirómetro digital:** Se requiere hacer uso del pirómetro INFRARED de referencia 94920/EM520 que se aprecia en la **Ilustración 28**. Este dispositivo permite tomar la temperatura del salvado y la temperatura de los diferentes puntos del tornillo sin fin. Las especificaciones de éste dispositivo se encuentran en la **Ilustración 29**.

**Ilustración 28.** Pirómetro digital



Fuente. All-Sun. [43]

**Ilustración 29.** Especificaciones pirómetro INFRARED

|                         |   |
|-------------------------|---|
| Temperature Range       | -4°C to 968°F<br>-20°C to 520°C             |
| Accuracy                | ±2°C (±3°F) or 2% reading                   |
| Repeatability           | 2% or 3°F                                   |
| Response Time           | 500mSec, 95%                                |
| Spectral Response       | 7-18 um                                     |
| Emissivity              | 0.95  |
| Ambient Operating Range | 32* - 105°F                                 |
| Relative Humidity       | 10-95% R H<br>noncondensing<br>@ up to 86°F |
| Storage Temp            | -4* to 150°F<br>without battery             |
| Weight                  | .33 lb                                      |
| Dimensions              | 6.3 X 3.54 X 1.7"                           |
| Power                   | 9V  |
| Battery Life            | 12hrs                                       |
| Distance to Spot        | 8:1   |

Fuente. All-Sun.

- **Medidor de humedad:** Gracias a su alta resolución de 0.0001 g, el analizador de humedad MS-70 de la marca A&D, es ideal para la determinación rápida y precisa del contenido de humedad de muestras con bajo contenido de agua. Con este medidor se realizan las diferentes pruebas de humedad a las muestras de salvado tomadas en los ensayos de investigación. Este medidor maneja rangos de temperatura de 30°C a 200°C, muestras desde 0,1g hasta 71g, función de memoria de Max 100 datos y funciona con 100-120V a 3 Amperios y 60Hz. Vale mencionar que Las pruebas realizadas durante la investigación fueron realizadas a una temperatura de secado igual a 105°C.

**Ilustración 30.** Analizador de humedad MS-70



Fuente. Autor

## 12.2 Metodología y resultados

En esta parte del informe se explica la metodología realizada para determinar la incidencia que tienen las variables de temperatura, humedad y presión en el proceso de extracción de aceite.

Los siguientes ensayos se harán bajo la manipulación de algunos parámetros como ingreso de vapor, velocidad de extrusión, cantidad de salvado ingresado, ajuste del dado extrusor entre otras que finalmente terminan expresadas como la cantidad de aceite extruido.

### 12.2.1 Evaluación inicial

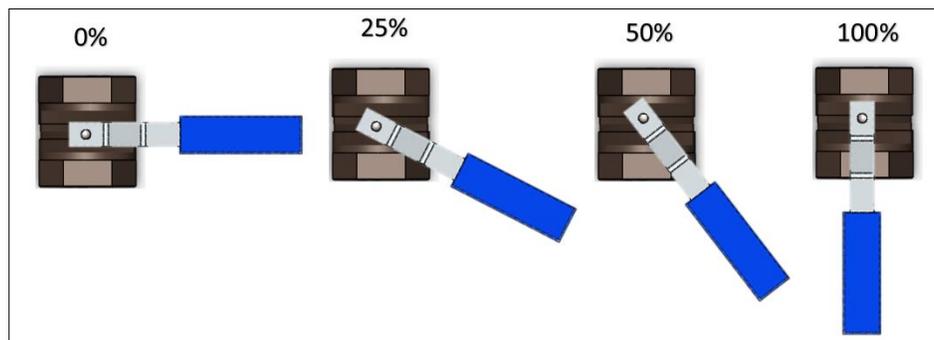
Basado en el marco teórico de este informe se sabe que si el salvado de arroz y los componentes de extrusión se encuentran a temperaturas cercanas a los 100°C, es posible obtener una mayor cantidad de aceite extraído. Por ende y gracias a lo anterior se requiere una evaluación inicial del proceso en donde se estudia el comportamiento de la temperatura del tornillo sin fin junto con la temperatura y humedad del salvado durante la extracción en la máquina de estudio.

Para una mayor comprensión del lector se explica a continuación la regulación de algunos de parámetros de entrada que posee el proceso de extracción.

**Apertura de la válvula de vapor:** Para poder regular la cantidad de vapor que ingresa al sistema de agitación se seleccionan tres diferentes medidas para la apertura de la válvula de flujo.

En la **Ilustración 31** se pueden ver las 3 diferentes posiciones de la válvula de bola a las que se realizan los ensayos de este inciso; estos ensayos se llevan a cabo mediante una apertura mínima igual al 25 %, una apertura media al 50% y una apertura máxima al 100% la cual permite el paso total de vapor sin restricción alguna.

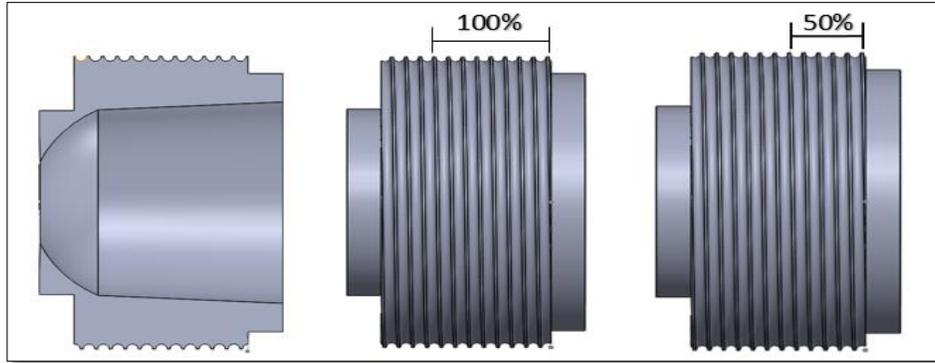
**Ilustración 31.** Aperturas de la válvula de vapor



Fuente. Autor

**Ajuste del dado extrusor:** Para poder variar la presión a la que se somete el salvado, se fijan dos posiciones a las cuales se ajusta el dado extrusor, éste entra de forma roscada en el cuerpo medio de la máquina extrusora hasta quedar junto a la camisa de extrusión y el cono del tornillo sin fin. En la **Ilustración 32** se pueden observar las dos posiciones mencionadas; la medición al 100% de ajuste es la distancia total máxima que se puede roscar el dado extrusor y es igual a 32mm, dejando el espaciamiento mínimo posible que tiene entre el cono del sin fin. Se puede observar también el ajuste al 50% siendo esta la mitad de la distancia roscada total igual a 16mm, dejando un espaciamiento mayor entre el cono del tornillo, permitiendo a su vez una menor presión de extrusión ya que el salvado pasa a través del dado con mayor facilidad en comparación a la del 100%.

**Ilustración 32.** Ajustes del dado extrusor



Fuente. Autor

### 12.2.1.1 Prueba 1: Temperatura del tornillo sin fin en dos puntos, la cual va en función de la distancia del dado, trabajo en vacío

Con el desarrollo de los dos primeros ensayos de esta investigación se busca averiguar cuál es el comportamiento de la temperatura que posee el tornillo sin fin durante su funcionamiento en vacío, ya que los elementos de extrusión como la camisa, el dado, el tornillo posterior etc... pueden generar algún tipo de fuerza de rozamiento que aporta calor al sistema.

Para desarrollar los ensayos a continuación básicamente se debe ajustar el dado extrusor al 50% y al 100% para los ensayos 1 y 2 respectivamente. Se deben registrar las temperaturas del tornillo sin fin en el valle del tornillo y en el cono extrusor (zonas que se aprecian en la **Ilustración 33**) haciendo uso del pirómetro digital INFRARED. Luego se debe encender el motor principal y mediante intervalos de tiempo de 2 minutos durante una hora se registran nuevamente sus temperaturas.

**Ilustración 33.** Tornillo sin fin con zonas de temperatura



Fuente. Autor

Como el salvado entra en contacto con todo el tornillo sin fin y a su vez este se ve afectado, se realiza el cálculo de la temperatura promedio según la **Ecuación 8**. Los resultados de estos ensayos se ven en la **Tabla 24**.

**Tabla 24.** Resultado ensayos 1 y 2

| Ensayos 1 y 2                                      |              |                            |       |                          |       |                           |       |
|--|--------------|----------------------------|-------|--------------------------|-------|---------------------------|-------|
| Velocidad angular de extrusión: 134,94rpm          |              |                            |       |                          |       |                           |       |
| Ajuste del dado extrusor: <b>50%</b> y <b>100%</b> |              |                            |       |                          |       |                           |       |
|  |              | Variables de salida        |       |                          |       |                           |       |
| Nº medición  | Tiempo (Min) | Temperatura del valle (°C) |       | Temperatura de cono (°C) |       | Temperatura Promedio (°C) |       |
|  |              | 50%                        | 100%  | 50%                      | 100%  | 50%                       | 100%  |
| 1  | 0            | 21,50                      | 21,90 | 21,90                    | 21,60 | 21,70                     | 21,75 |
| 2  | 2            | 22,10                      | 23,30 | 22,10                    | 23,80 | 22,10                     | 23,55 |
| 3  | 4            | 22,10                      | 23,60 | 22,90                    | 26,10 | 22,50                     | 24,85 |
| 4  | 6            | 22,10                      | 23,90 | 23,00                    | 26,30 | 22,55                     | 25,10 |
| 5  | 8            | 22,20                      | 24,20 | 23,20                    | 26,30 | 22,70                     | 25,25 |
| 6  | 10           | 22,30                      | 24,40 | 23,50                    | 26,30 | 22,90                     | 25,35 |
| 7  | 12           | 22,60                      | 25,10 | 23,90                    | 26,70 | 23,25                     | 25,90 |
| 8  | 14           | 22,60                      | 23,00 | 22,00                    | 26,90 | 22,30                     | 24,95 |
| 9  | 16           | 22,70                      | 23,20 | 22,20                    | 27,40 | 22,45                     | 25,30 |
| 10   | 18           | 22,90                      | 23,20 | 22,20                    | 27,20 | 22,55                     | 25,20 |
| 11   | 20           | 23,70                      | 23,30 | 22,60                    | 27,50 | 23,15                     | 25,40 |
| 12   | 22           | 24,00                      | 23,80 | 23,50                    | 27,80 | 23,75                     | 25,80 |
| 13   | 24           | 23,90                      | 23,80 | 23,60                    | 27,60 | 23,75                     | 25,70 |
| 14   | 26           | 24,20                      | 24,10 | 24,30                    | 27,90 | 24,25                     | 26,00 |
| 15   | 28           | 24,30                      | 24,70 | 24,20                    | 28,10 | 24,25                     | 26,40 |
| 16   | 30           | 24,30                      | 24,80 | 24,80                    | 28,20 | 24,55                     | 26,50 |
| 17   | 32           | 24,50                      | 24,80 | 25,20                    | 28,20 | 24,85                     | 26,50 |
| 18   | 34           | 24,50                      | 25,00 | 25,10                    | 28,30 | 24,80                     | 26,65 |
| 19   | 36           | 24,90                      | 24,70 | 25,80                    | 28,50 | 25,35                     | 26,60 |
| 20   | 38           | 24,90                      | 24,80 | 25,00                    | 28,70 | 24,95                     | 26,75 |
| 21   | 40           | 25,00                      | 24,80 | 25,10                    | 28,30 | 25,05                     | 26,55 |
| 22   | 42           | 25,10                      | 24,00 | 24,70                    | 28,90 | 24,90                     | 26,45 |
| 23   | 44           | 24,90                      | 24,40 | 25,00                    | 28,00 | 24,95                     | 26,20 |
| 24   | 46           | 25,10                      | 25,80 | 25,80                    | 29,10 | 25,45                     | 27,45 |
| 25   | 48           | 25,40                      | 26,30 | 26,30                    | 29,50 | 25,85                     | 27,90 |
| 26   | 50           | 25,80                      | 26,50 | 26,50                    | 29,70 | 26,15                     | 28,10 |
| 27   | 52           | 25,40                      | 26,50 | 26,90                    | 29,80 | 26,15                     | 28,15 |
| 28   | 54           | 25,50                      | 26,70 | 26,40                    | 29,50 | 25,95                     | 28,10 |
| 29   | 56           | 25,30                      | 26,90 | 26,30                    | 29,80 | 25,80                     | 28,35 |
| 30   | 58           | 25,50                      | 27,10 | 26,40                    | 29,90 | 25,95                     | 28,50 |

Fuente. Autor

Una forma de encontrar contrastes entre los ensayos 1 y 2 es realizando el cálculo que se aprecia en la siguiente tabla. El cálculo consiste en hallar la diferencia de

sus temperaturas promedio entre los valores del mismo número de medición. (Ver **Tabla 25**)

Por ejemplo se tiene la temperatura promedio 1 al 50% con valor de 21.70°C y se tiene la temperatura promedio 1 al 100% con valor de 21.75°C, entonces se realiza la diferencia que resulta igual a 0.05°C.

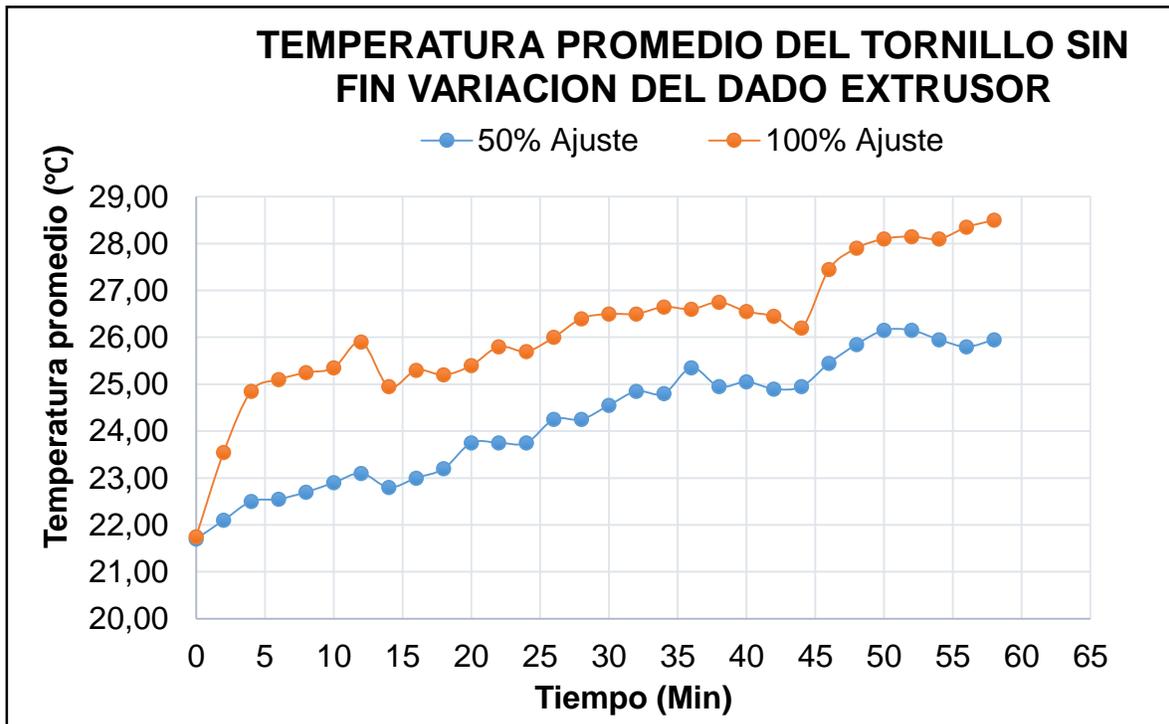
**Tabla 25.** Diferencia de temperaturas promedio ensayo 1 y 2

| <b>Diferencia de Temperaturas promedio</b> |                                 |                       |                                 |                       |                                 |
|--|---------------------------------|-----------------------|---------------------------------|-----------------------|---------------------------------|
| <b>Nº de medición</b>                      | <b>Valor de diferencia (°C)</b> | <b>Nº de medición</b> | <b>Valor de diferencia (°C)</b> | <b>Nº de medición</b> | <b>Valor de diferencia (°C)</b> |
| <b>1</b>                                   | 0,05                            | <b>11</b>             | 2,25                            | <b>21</b>             | 1,50                            |
| <b>2</b>                                   | 1,45                            | <b>12</b>             | 2,05                            | <b>22</b>             | 1,55                            |
| <b>3</b>                                   | 2,35                            | <b>13</b>             | 1,95                            | <b>23</b>             | 1,25                            |
| <b>4</b>                                   | 2,55                            | <b>14</b>             | 1,75                            | <b>24</b>             | 2,00                            |
| <b>5</b>                                   | 2,55                            | <b>15</b>             | 2,15                            | <b>25</b>             | 2,05                            |
| <b>6</b>                                   | 2,45                            | <b>16</b>             | 1,95                            | <b>26</b>             | 1,95                            |
| <b>7</b>                                   | 2,65                            | <b>17</b>             | 1,65                            | <b>27</b>             | 2,00                            |
| <b>8</b>                                   | 2,65                            | <b>18</b>             | 1,85                            | <b>28</b>             | 2,15                            |
| <b>9</b>                                   | 2,85                            | <b>19</b>             | 1,25                            | <b>29</b>             | 2,55                            |
| <b>10</b>                                  | 2,65                            | <b>20</b>             | 1,80                            | <b>30</b>             | 2,55                            |

Fuente. Autor

En la **Gráfica 1** se aprecia el comportamiento de temperaturas promedio del tornillo sin fin a medida que transcurre el tiempo, en la misma se aprecia la tendencia de valores entre la medición con un ajuste del dado al 100% y la medición con un ajuste del dado al 50%.

**Gráfica 1.** Temperaturas promedio del tornillo sin fin ensayo 1 y 2



Fuente. Autor

#### 12.2.1.2 Prueba 2: Temperatura del tornillo sin fin en dos puntos, la cual va en función de la distancia del dado de extrusión y en presencia de vapor trabajo en vacío a velocidad de extrusión constante

En esta sección del trabajo se expone la metodología realizada en los ensayos 3, 4, 5, 6, 7 y 8, que tienen como finalidad el estudio de la variable de temperatura en función del ajuste del dado extrusor y principalmente del contacto directo con vapor saturado el cual es producido por la caldera que posee el laboratorio.

En la **Tabla 26** se aprecia el resultado de los ensayos 3 y 4 los cuales consisten en funcionamiento del motor principal que mueve el tornillo sin fin mientras es sometido a una nube de vapor saturado.

Para la realización del ensayo 3 es necesario ajustar el dado extrusor a la distancia del 50%, enseguida se toman los valores de temperatura inicial en las dos zonas del tornillo, al mismo tiempo se enciende el motor principal y se abre la válvula de vapor al 25% como se aprecia en **Ilustración 31**. Es necesario tomar registro de las temperaturas con un intervalo de 2 min hasta registrar un total de 30 datos.

Vale resaltar que los ensayos hasta el número 8 se realizan bajo el mismo principio del ensayo 2 y 3 aunque con algunas variaciones mínimas.

En cuanto al ensayo número 4 se realiza el mismo procedimiento del número 3, la única diferencia se encuentra en el dado extrusor ya que éste se ubica con un ajuste del 100%.

**Tabla 26.** Resultado ensayos 3 y 4

| Ensayos 3 y 4                              |              |                            |       |                          |       |                           |       |
|--|--------------|----------------------------|-------|--------------------------|-------|---------------------------|-------|
| Velocidad de extrusión : 134,94rpm         |              |                            |       |                          |       |                           |       |
| Porcentaje apertura válvula de vapor : 25% |              |                            |       |                          |       |                           |       |
| Ajustes del dado extrusor: 50% y 100%      |              |                            |       |                          |       |                           |       |
| Numero de medición                         | Tiempo (Min) | Variables de salida        |       |                          |       |                           |       |
|  |              | Temperatura del valle (°C) |       | Temperatura de cono (°C) |       | Temperatura Promedio (°C) |       |
|  |              | 50%                        | 100%  | 50%                      | 100%  | 50%                       | 100%  |
| 1  | 0            | 22,30                      | 21,00 | 22,30                    | 21,10 | 22,30                     | 21,05 |
| 2  | 2            | 74,90                      | 66,20 | 23,30                    | 21,30 | 49,10                     | 43,75 |
| 3  | 4            | 77,40                      | 72,40 | 24,30                    | 40,60 | 50,85                     | 56,50 |
| 4  | 6            | 71,80                      | 76,50 | 31,60                    | 65,30 | 51,70                     | 70,90 |
| 5  | 8            | 74,30                      | 79,40 | 33,50                    | 76,70 | 53,90                     | 78,05 |
| 6  | 10           | 77,30                      | 79,80 | 36,10                    | 79,70 | 56,70                     | 79,75 |
| 7  | 12           | 77,90                      | 80,30 | 38,20                    | 80,40 | 58,05                     | 80,35 |
| 8  | 14           | 78,50                      | 79,30 | 42,90                    | 74,80 | 60,70                     | 77,05 |
| 9  | 16           | 77,80                      | 79,80 | 45,00                    | 75,00 | 61,40                     | 77,40 |
| 10   | 18           | 79,20                      | 78,60 | 46,70                    | 78,20 | 62,95                     | 78,40 |
| 11   | 20           | 80,00                      | 78,90 | 48,40                    | 78,70 | 64,20                     | 78,80 |
| 12   | 22           | 79,80                      | 80,90 | 51,00                    | 81,10 | 65,40                     | 81,00 |
| 13   | 24           | 80,30                      | 80,80 | 53,90                    | 81,30 | 67,10                     | 81,05 |
| 14   | 26           | 79,70                      | 82,30 | 53,70                    | 77,50 | 66,70                     | 79,90 |
| 15   | 28           | 80,90                      | 82,30 | 53,80                    | 77,00 | 67,35                     | 79,65 |
| 16   | 30           | 80,50                      | 82,90 | 54,70                    | 82,60 | 67,60                     | 82,75 |
| 17   | 32           | 79,20                      | 83,10 | 55,40                    | 81,30 | 67,30                     | 82,20 |
| 18   | 34           | 79,90                      | 83,00 | 54,60                    | 83,80 | 67,25                     | 83,40 |
| 19   | 36           | 78,60                      | 83,20 | 54,20                    | 82,00 | 66,40                     | 82,60 |
| 20   | 38           | 79,90                      | 83,30 | 55,40                    | 82,50 | 67,65                     | 82,90 |
| 21   | 40           | 79,50                      | 82,80 | 55,20                    | 83,60 | 67,35                     | 83,20 |
| 22   | 42           | 80,30                      | 84,20 | 54,10                    | 83,50 | 67,20                     | 83,85 |
| 23   | 44           | 80,00                      | 85,00 | 54,70                    | 84,00 | 67,35                     | 84,50 |
| 24   | 46           | 79,10                      | 84,10 | 55,60                    | 82,90 | 67,35                     | 83,50 |
| 25   | 48           | 79,50                      | 84,20 | 56,40                    | 82,70 | 67,95                     | 83,45 |
| 26   | 50           | 80,00                      | 83,60 | 56,50                    | 83,80 | 68,25                     | 83,70 |
| 27   | 52           | 80,60                      | 83,00 | 56,20                    | 82,80 | 68,40                     | 82,90 |
| 28   | 54           | 79,50                      | 83,00 | 55,50                    | 83,70 | 67,50                     | 83,35 |
| 29   | 56           | 80,80                      | 83,20 | 57,50                    | 84,60 | 69,15                     | 83,90 |

|    |    |       |       |       |       |       |       |
|----|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 30 | 58 | 80,40 | 83,50 | 57,60 | 84,20 | 69,00 | 83,85 |
|----|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|

Fuente. Autor

Los resultados que se aprecian en la **Tabla 27** hacen referencia a los ensayos 5 y 6.

Para el ensayo número 5 los parámetros de entrada son: 50% de ajuste del dado y 50% de apertura de la válvula de vapor.

Para el ensayo número 6 los parámetros de entrada son: 100% de ajuste del dado y 50% de apertura de la válvula de vapor.

**Tabla 27.** Resultado ensayos 5 y 6

| <b>Ensayos 5 y 6</b>                              |              |                            |       |                          |       |                           |       |
|---|--------------|----------------------------|-------|--------------------------|-------|---------------------------|-------|
| <b>Velocidad de extrusión : 134,94rpm</b>         |              |                            |       |                          |       |                           |       |
| <b>Porcentaje apertura válvula de vapor : 50%</b> |              |                            |       |                          |       |                           |       |
| <b>Ajustes del dado extrusor: 50% y 100%</b>      |              |                            |       |                          |       |                           |       |
| Numero de medición                                | Tiempo (Min) | Variables de salida        |       |                          |       |                           |       |
|   |              | Temperatura del valle (°C) |       | Temperatura de cono (°C) |       | Temperatura Promedio (°C) |       |
|   |              | 50%                        | 100%  | 50%                      | 100%  | 50%                       | 100%  |
| 1   | 0            | 23,50                      | 21,50 | 23,60                    | 21,50 | 23,55                     | 21,50 |
| 2   | 2            | 76,70                      | 78,00 | 42,40                    | 48,00 | 59,55                     | 63,00 |
| 3   | 4            | 77,30                      | 80,80 | 43,10                    | 61,00 | 60,20                     | 70,90 |
| 4   | 6            | 78,10                      | 83,00 | 45,50                    | 71,00 | 61,80                     | 77,00 |
| 5   | 8            | 79,40                      | 83,20 | 52,10                    | 77,00 | 65,75                     | 80,10 |
| 6   | 10           | 79,20                      | 84,00 | 54,60                    | 80,90 | 66,90                     | 82,45 |
| 7   | 12           | 78,50                      | 85,10 | 57,50                    | 80,30 | 68,00                     | 82,70 |
| 8   | 14           | 79,60                      | 84,50 | 58,50                    | 80,80 | 69,05                     | 82,65 |
| 9   | 16           | 81,10                      | 85,20 | 61,30                    | 80,80 | 71,20                     | 83,00 |
| 10  | 18           | 81,90                      | 82,60 | 64,30                    | 81,30 | 73,10                     | 81,95 |
| 11  | 20           | 82,00                      | 83,10 | 64,80                    | 81,40 | 73,40                     | 82,25 |
| 12  | 22           | 82,00                      | 83,70 | 64,70                    | 81,70 | 73,35                     | 82,70 |
| 13  | 24           | 80,30                      | 83,80 | 63,80                    | 81,90 | 72,05                     | 82,85 |
| 14  | 26           | 81,70                      | 83,70 | 63,90                    | 82,10 | 72,80                     | 82,90 |
| 15  | 28           | 80,80                      | 84,80 | 66,50                    | 81,40 | 73,65                     | 83,10 |
| 16  | 30           | 81,40                      | 84,60 | 65,80                    | 80,50 | 73,60                     | 82,55 |
| 17  | 32           | 81,40                      | 83,40 | 66,90                    | 82,00 | 74,15                     | 82,70 |
| 18  | 34           | 81,20                      | 86,40 | 65,80                    | 81,80 | 73,50                     | 84,10 |
| 19  | 36           | 81,90                      | 87,00 | 64,80                    | 82,50 | 73,35                     | 84,75 |
| 20  | 38           | 82,40                      | 87,70 | 64,70                    | 82,00 | 73,55                     | 84,85 |
| 21  | 40           | 80,50                      | 88,10 | 64,90                    | 81,40 | 72,70                     | 84,75 |
| 22  | 42           | 80,90                      | 87,40 | 65,10                    | 81,60 | 73,00                     | 84,50 |
| 23  | 44           | 82,20                      | 88,20 | 65,80                    | 81,80 | 74,00                     | 85,00 |
| 24  | 46           | 81,50                      | 87,50 | 66,70                    | 81,70 | 74,10                     | 84,60 |

|    |    |       |       |       |       |       |       |
|----|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 25 | 48 | 81,00 | 87,30 | 66,80 | 81,50 | 73,90 | 84,40 |
| 26 | 50 | 80,70 | 87,30 | 66,30 | 81,00 | 73,50 | 84,15 |
| 27 | 52 | 81,50 | 86,10 | 66,50 | 82,20 | 74,00 | 84,15 |
| 28 | 54 | 82,50 | 87,10 | 66,50 | 82,00 | 74,50 | 84,55 |
| 29 | 56 | 81,70 | 88,30 | 66,90 | 81,90 | 74,30 | 85,10 |
| 30 | 58 | 80,50 | 88,80 | 66,60 | 82,80 | 73,55 | 85,80 |

Fuente. Autor

Los resultados que se aprecian en la **Tabla 28** hacen referencia a los ensayos 7 y 8.

Para el ensayo número 7 los parámetros de entrada son: 50% de ajuste del dado y 100% de apertura de la válvula de vapor.

Para el ensayo número 6 los parámetros de entrada son: 100% de ajuste del dado y 100% de apertura de la válvula de vapor.

**Tabla 28.** Resultado ensayos 7 y 8

| Ensayos 7 y 8                                       |              |                            |             |                          |             |                           |             |
|---|--------------|----------------------------|-------------|--------------------------|-------------|---------------------------|-------------|
| Velocidad de extrusión : 134,94rpm                  |              |                            |             |                          |             |                           |             |
| Porcentaje apertura válvula de vapor : <b>100%</b>  |              |                            |             |                          |             |                           |             |
| Ajustes del dado extrusor: <b>50%</b> y <b>100%</b> |              |                            |             |                          |             |                           |             |
| Numero de medición                                  | Tiempo (Min) | Variables de salida        |             |                          |             |                           |             |
|   |              | Temperatura del valle (°C) |             | Temperatura de cono (°C) |             | Temperatura Promedio (°C) |             |
|   |              | <b>50%</b>                 | <b>100%</b> | <b>50%</b>               | <b>100%</b> | <b>50%</b>                | <b>100%</b> |
| 1   | 0            | 22,80                      | 21,00       | 22,50                    | 21,50       | 22,65                     | 21,25       |
| 2   | 2            | 76,50                      | 75,40       | 49,90                    | 55,00       | 63,20                     | 65,20       |
| 3   | 4            | 80,40                      | 73,00       | 56,80                    | 79,20       | 68,60                     | 76,10       |
| 4   | 6            | 81,20                      | 80,90       | 57,00                    | 80,20       | 69,10                     | 80,55       |
| 5   | 8            | 81,40                      | 85,00       | 57,70                    | 80,60       | 69,55                     | 82,80       |
| 6   | 10           | 81,60                      | 85,20       | 58,70                    | 80,50       | 70,15                     | 82,85       |
| 7   | 12           | 81,90                      | 86,50       | 59,20                    | 81,00       | 70,55                     | 83,75       |
| 8   | 14           | 82,00                      | 86,70       | 59,80                    | 81,40       | 70,90                     | 84,05       |
| 9   | 16           | 82,30                      | 88,90       | 62,70                    | 81,90       | 72,50                     | 85,40       |
| 10  | 18           | 82,10                      | 86,60       | 63,00                    | 83,00       | 72,55                     | 84,80       |
| 11  | 20           | 82,00                      | 88,60       | 63,30                    | 83,50       | 72,65                     | 86,05       |
| 12  | 22           | 82,40                      | 87,10       | 63,40                    | 83,60       | 72,90                     | 85,35       |
| 13  | 24           | 82,90                      | 88,50       | 63,30                    | 83,90       | 73,10                     | 86,20       |
| 14  | 26           | 83,10                      | 86,30       | 63,40                    | 82,90       | 73,25                     | 84,60       |
| 15  | 28           | 83,30                      | 85,20       | 63,80                    | 82,00       | 73,55                     | 83,60       |
| 16  | 30           | 82,30                      | 85,50       | 63,90                    | 82,50       | 73,10                     | 84,00       |
| 17  | 32           | 83,60                      | 86,40       | 64,20                    | 82,40       | 73,90                     | 84,40       |

|    |    |       |       |       |       |       |       |
|----|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 18 | 34 | 83,50 | 87,50 | 64,40 | 82,10 | 73,95 | 84,80 |
| 19 | 36 | 83,70 | 86,00 | 63,50 | 83,00 | 73,60 | 84,50 |
| 20 | 38 | 83,60 | 85,90 | 64,60 | 83,90 | 74,10 | 84,90 |
| 21 | 40 | 83,80 | 85,70 | 64,60 | 83,60 | 74,20 | 84,65 |
| 22 | 42 | 83,90 | 85,50 | 63,50 | 84,00 | 73,70 | 84,75 |
| 23 | 44 | 83,10 | 85,40 | 62,60 | 84,30 | 72,85 | 84,85 |
| 24 | 46 | 84,20 | 85,20 | 64,70 | 84,60 | 74,45 | 84,90 |
| 25 | 48 | 84,50 | 85,10 | 64,80 | 84,10 | 74,65 | 84,60 |
| 26 | 50 | 84,60 | 84,90 | 64,80 | 84,50 | 74,70 | 84,70 |
| 27 | 52 | 84,30 | 84,70 | 64,60 | 84,90 | 74,45 | 84,80 |
| 28 | 54 | 84,30 | 84,60 | 64,70 | 84,50 | 74,50 | 84,55 |
| 29 | 56 | 84,60 | 84,40 | 64,70 | 84,40 | 74,65 | 84,40 |
| 30 | 58 | 84,80 | 84,30 | 64,80 | 85,00 | 74,80 | 84,65 |

Fuente. Autor

En la **Tabla 29** se observa un método de comparación entre las diferentes temperaturas promedio realizadas al 50% de ajuste en función del ingreso de vapor al sistema. Este método se basa en los valores de diferencia en temperaturas.

**Tabla 29.** Diferencias de temperatura ensayos al 50% de ajuste del dado

| <b>Ajuste del dado 50%</b> |   |   |   |
|----------------------------|---|---|---|
| <b>Nº de medición</b>      | <b>Diferencia de Temperatura promedio 25% y 50 % (°C)</b> | <b>Diferencia de Temperatura promedio 50% y 100% (°C)</b> | <b>Diferencia de Temperatura promedio 25% y 100% (°C)</b> |
| 1                          | 1,25  | -0,90   | 0,35  |
| 2                          | 10,45   | 3,65  | 14,10   |
| 3                          | 9,35  | 8,40  | 17,75   |
| 4                          | 10,10   | 7,30  | 17,40   |
| 5                          | 11,85   | 3,80  | 15,65   |
| 6                          | 10,20   | 3,25  | 13,45   |
| 7                          | 9,95  | 2,55  | 12,50   |
| 8                          | 8,35  | 1,85  | 10,20   |
| 9                          | 9,80  | 1,30  | 11,10   |
| 10                         | 10,15   | -0,55   | 9,60  |
| 11                         | 9,20  | -0,75   | 8,45  |
| 12                         | 7,95  | -0,45   | 7,50  |
| 13                         | 4,95  | 1,05  | 6,00  |
| 14                         | 6,10  | 0,45  | 6,55  |
| 15                         | 6,30  | -0,10   | 6,20  |
| 16                         | 6,00  | -0,50   | 5,50  |
| 17                         | 6,85  | -0,25   | 6,60  |
| 18                         | 6,25  | 0,45  | 6,70  |

|    |      |       |      |
|----|------|-------|------|
| 19 | 6,95 | 0,25  | 7,20 |
| 20 | 5,90 | 0,55  | 6,45 |
| 21 | 5,35 | 1,50  | 6,85 |
| 22 | 5,80 | 0,70  | 6,50 |
| 23 | 6,65 | -1,15 | 5,50 |
| 24 | 6,75 | 0,35  | 7,10 |
| 25 | 5,95 | 0,75  | 6,70 |
| 26 | 5,25 | 1,20  | 6,45 |
| 27 | 5,60 | 0,45  | 6,05 |
| 28 | 7,00 | 0,00  | 7,00 |
| 29 | 5,15 | 0,35  | 5,50 |
| 30 | 4,55 | 1,25  | 5,80 |

Fuente. Autor

Igualmente en la **Tabla 30** se observan los resultados de diferencia de temperaturas pero a los ensayos realizados con el ajuste al 100% del dado extrusor.

**Tabla 30.** Diferencias de temperatura ensayos al 100% de ajuste del dado

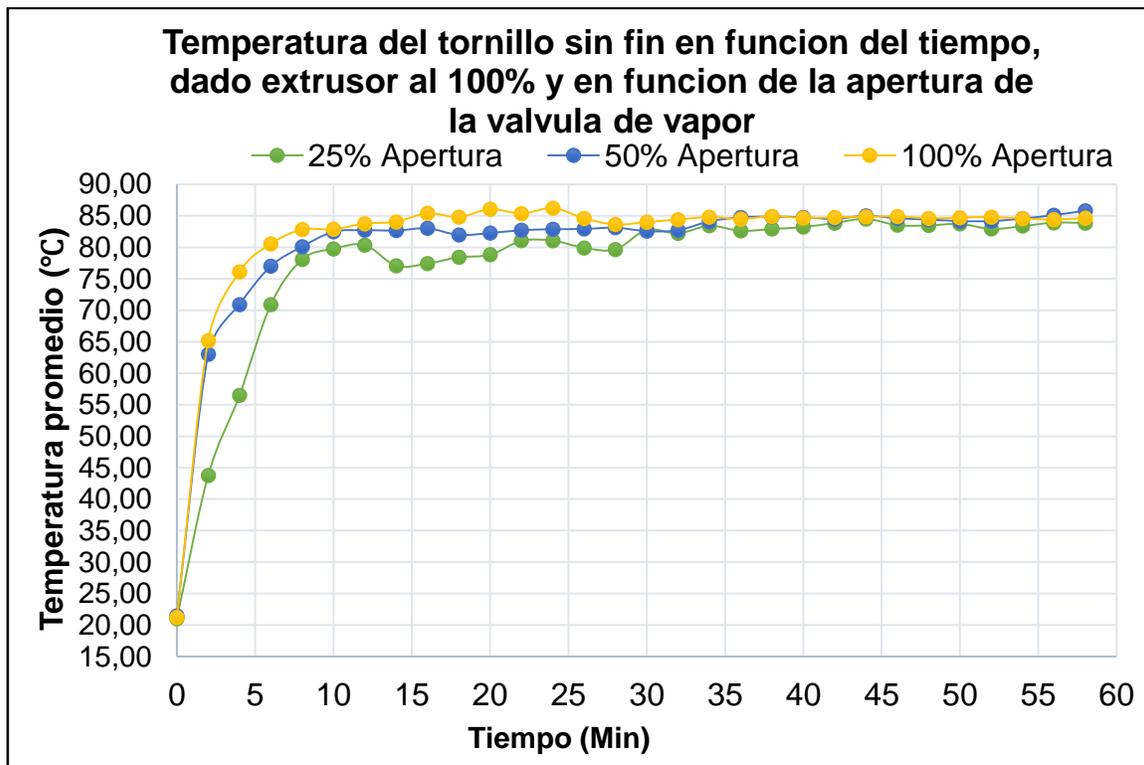
| <b>Ajuste del dado 100%</b> |   |   |   |
|-----------------------------|---|---|---|
| <b>Nº de medición</b>       | <b>Diferencia de Temperatura promedio 25% y 50 % (°C)</b> | <b>Diferencia de Temperatura promedio 50% y 100% (°C)</b> | <b>Diferencia de Temperatura promedio 25% y 100% (°C)</b> |
| 1                           | 0,45  | -0,25   | 0,20  |
| 2                           | 19,25   | 2,20  | 21,45   |
| 3                           | 14,40   | 5,20  | 19,60   |
| 4                           | 6,10  | 3,55  | 9,65  |
| 5                           | 2,05  | 2,70  | 4,75  |
| 6                           | 2,70  | 0,40  | 3,10  |
| 7                           | 2,35  | 1,05  | 3,40  |
| 8                           | 5,60  | 1,40  | 7,00  |
| 9                           | 5,60  | 2,40  | 8,00  |
| 10                          | 3,55  | 2,85  | 6,40  |
| 11                          | 3,45  | 3,80  | 7,25  |
| 12                          | 1,70  | 2,65  | 4,35  |
| 13                          | 1,80  | 3,35  | 5,15  |
| 14                          | 3,00  | 1,70  | 4,70  |
| 15                          | 3,45  | 0,50  | 3,95  |
| 16                          | -0,20   | 1,45  | 1,25  |
| 17                          | 0,50  | 1,70  | 2,20  |
| 18                          | 0,70  | 0,70  | 1,40  |
| 19                          | 2,15  | -0,25   | 1,90  |

|    |      |       |      |
|----|------|-------|------|
| 20 | 1,95 | 0,05  | 2,00 |
| 21 | 1,55 | -0,10 | 1,45 |
| 22 | 0,65 | 0,25  | 0,90 |
| 23 | 0,50 | -0,15 | 0,35 |
| 24 | 1,10 | 0,30  | 1,40 |
| 25 | 0,95 | 0,20  | 1,15 |
| 26 | 0,45 | 0,55  | 1,00 |
| 27 | 1,25 | 0,65  | 1,90 |
| 28 | 1,20 | 0,00  | 1,20 |
| 29 | 1,20 | -0,70 | 0,50 |
| 30 | 1,95 | -1,15 | 0,80 |

Fuente. Autor

En la **Gráfica 2** se puede apreciar como la cantidad de vapor que ingresa al sistema afecta la temperatura del tornillo sin fin, en esta grafica se comparan los ensayos realizados a las 3 diferentes aperturas de la válvula de vapor con ajuste del dado extrusor al 100%.

**Gráfica 2.** Temperatura promedio del tornillo sin fin con ajuste del dado en 100% y en función de la apertura de la válvula de vapor



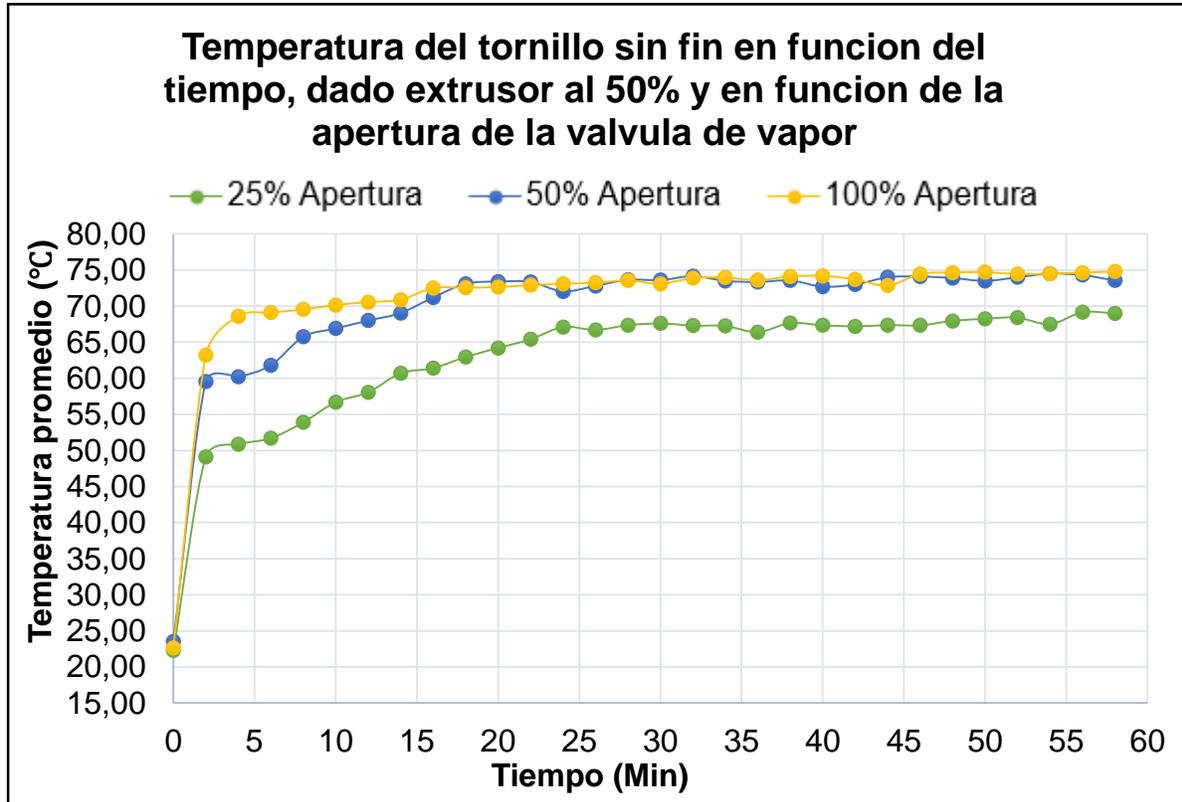
Fuente.

Autor

En la **Gráfica 3** se puede ver igualmente como la cantidad de vapor que ingresa al

sistema afecta la temperatura del tornillo sin fin, en esta grafica se comparan las diferentes aperturas de la válvula de vapor con ajuste del dado extrusor al 50%.

**Gráfica 3.** Temperatura promedio del tornillo sin fin con ajuste del dado en 50% y en función de la apertura de la válvula de vapor



Fuente. Autor

### 12.2.1.3 Prueba 3: Temperatura del tornillo sin fin en dos puntos, la cual va en función de la apertura de la válvula de vapor trabajo en vacío y a velocidad angular de extracción nula

Para poder saber si el sistema de extrusión presenta cambios de temperatura considerables cuando el motor principal se encuentra apagado y únicamente le ingresa vapor saturado se realizan los ensayos del 9 al 11.

Los ensayos consisten en ingresarle vapor al sistema mientras existe velocidad de rotación nula al 25% de apertura de la válvula, al 50% y al 100%. Para desarrollar el procedimiento en los 3 ensayos es necesario en primer lugar registrar la temperatura del cono y del valle del sin fin, luego fijar la válvula de vapor en el valor correspondiente, finalmente realizar nuevamente las mediciones de temperatura cada 2 min hasta completar 30 datos tomados.

Los resultados de estos ensayos se aprecian en la **Tabla 31**, **Tabla 32** y **Tabla 33** donde se exponen sus respectivos parámetros de entrada.

**Tabla 31.** Resultado ensayo 9

| <b>Ensayo 9</b>                                   |                     |                                   |                                  |                                  |
|---|---------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| <b>Velocidad de extrusión : 0 rpm</b>             |                     |                                   |                                  |                                  |
| <b>Porcentaje apertura válvula de vapor : 25%</b> |                     |                                   |                                  |                                  |
| <b>Numero de medición</b>                         | <b>Tiempo (Min)</b> | <b>Variables de salida</b>        |                                  |                                  |
|   |                     | <b>Temperatura del valle (°C)</b> | <b>Temperatura del cono (°C)</b> | <b>Temperatura Promedio (°C)</b> |
| 1   | 0                   | 20,30                             | 20,30                            | 20,30                            |
| 2   | 2                   | 68,00                             | 25,00                            | 46,50                            |
| 3   | 4                   | 74,70                             | 26,90                            | 50,80                            |
| 4   | 6                   | 77,90                             | 32,00                            | 54,95                            |
| 5   | 8                   | 78,50                             | 35,70                            | 57,10                            |
| 6   | 10                  | 75,70                             | 39,80                            | 57,75                            |
| 7   | 12                  | 77,80                             | 42,10                            | 59,95                            |
| 8   | 14                  | 78,50                             | 42,50                            | 60,50                            |
| 9   | 16                  | 77,50                             | 42,60                            | 60,05                            |
| 10  | 18                  | 78,00                             | 43,60                            | 60,80                            |
| 11  | 20                  | 78,30                             | 46,70                            | 62,50                            |
| 12  | 22                  | 75,90                             | 45,20                            | 60,55                            |
| 13  | 24                  | 80,00                             | 49,10                            | 64,55                            |
| 14  | 26                  | 80,30                             | 49,40                            | 64,85                            |
| 15  | 28                  | 80,80                             | 48,10                            | 64,45                            |
| 16  | 30                  | 80,40                             | 48,00                            | 64,20                            |
| 17  | 32                  | 82,50                             | 67,90                            | 75,20                            |
| 18  | 34                  | 82,60                             | 65,40                            | 74,00                            |
| 19  | 36                  | 82,20                             | 66,90                            | 74,55                            |
| 20  | 38                  | 82,00                             | 69,00                            | 75,50                            |
| 21  | 40                  | 82,70                             | 68,40                            | 75,55                            |
| 22  | 42                  | 82,10                             | 71,60                            | 76,85                            |
| 23  | 44                  | 81,40                             | 67,70                            | 74,55                            |
| 24  | 46                  | 81,80                             | 70,90                            | 76,35                            |
| 25  | 48                  | 82,80                             | 72,50                            | 77,65                            |
| 26  | 50                  | 82,00                             | 74,70                            | 78,35                            |
| 27  | 52                  | 81,70                             | 70,70                            | 76,20                            |
| 28  | 54                  | 82,80                             | 72,90                            | 77,85                            |
| 29  | 56                  | 81,00                             | 71,00                            | 76,00                            |
| 30  | 58                  | 81,80                             | 73,30                            | 77,55                            |

Fuente. Autor

Tabla 32. Resultado ensayo 10

| Ensayo 10                                  |              |                            |                           |                           |
|--|--------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Velocidad de extrusión : 0 rpm             |              |                            |                           |                           |
| Porcentaje apertura válvula de vapor : 50% |              |                            |                           |                           |
| Numero de medición                         | Tiempo (Min) | Variables de salida        |                           |                           |
|  |              | Temperatura del valle (°C) | Temperatura del cono (°C) | Temperatura Promedio (°C) |
| 1  | 0            | 24,10                      | 23,90                     | 24,00                     |
| 2  | 2            | 73,70                      | 37,50                     | 55,60                     |
| 3  | 4            | 77,60                      | 41,60                     | 59,60                     |
| 4  | 6            | 81,00                      | 41,90                     | 61,45                     |
| 5  | 8            | 81,40                      | 51,80                     | 66,60                     |
| 6  | 10           | 83,50                      | 51,70                     | 67,60                     |
| 7  | 12           | 80,00                      | 50,10                     | 65,05                     |
| 8  | 14           | 82,30                      | 68,90                     | 75,60                     |
| 9  | 16           | 82,50                      | 68,10                     | 75,30                     |
| 10   | 18           | 82,60                      | 70,70                     | 76,65                     |
| 11   | 20           | 82,90                      | 73,60                     | 78,25                     |
| 12   | 22           | 83,20                      | 75,40                     | 79,30                     |
| 13   | 24           | 82,70                      | 76,40                     | 79,55                     |
| 14   | 26           | 81,70                      | 74,00                     | 77,85                     |
| 15   | 28           | 82,90                      | 70,10                     | 76,50                     |
| 16   | 30           | 81,20                      | 75,90                     | 78,55                     |
| 17   | 32           | 82,60                      | 74,90                     | 78,75                     |
| 18   | 34           | 81,50                      | 72,50                     | 77,00                     |
| 19   | 36           | 81,10                      | 71,80                     | 76,45                     |
| 20   | 38           | 81,80                      | 73,00                     | 77,40                     |
| 21   | 40           | 83,00                      | 74,20                     | 78,60                     |
| 22   | 42           | 83,70                      | 54,50                     | 69,10                     |
| 23   | 44           | 82,00                      | 62,50                     | 72,25                     |
| 24   | 46           | 81,20                      | 70,70                     | 75,95                     |
| 25   | 48           | 82,20                      | 74,30                     | 78,25                     |
| 26   | 50           | 82,50                      | 71,40                     | 76,95                     |
| 27   | 52           | 84,80                      | 74,90                     | 79,85                     |
| 28   | 54           | 83,80                      | 71,30                     | 77,55                     |
| 29   | 56           | 84,30                      | 73,20                     | 78,75                     |
| 30   | 58           | 83,30                      | 75,10                     | 79,20                     |

Fuente. Autor

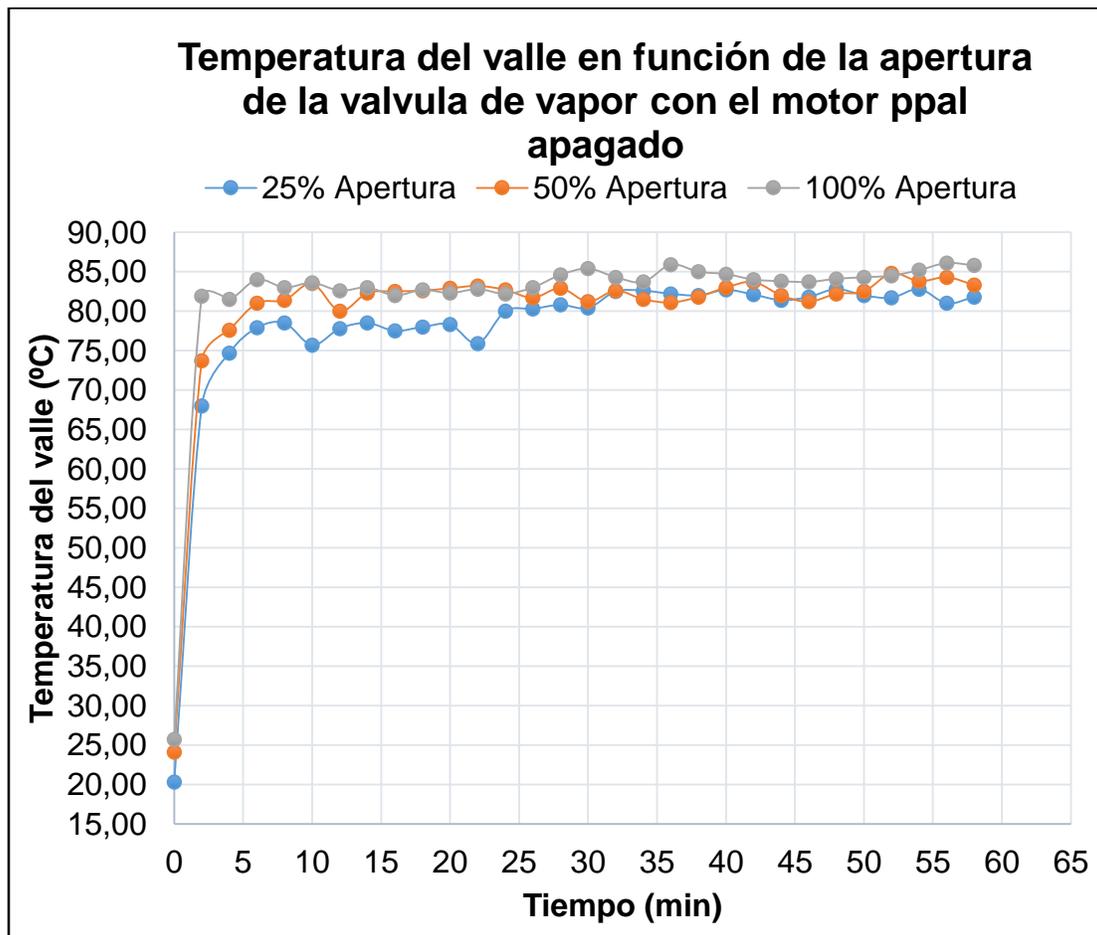
Tabla 33. Resultado ensayo 11

| Ensayo 11                                   |              |                            |                           |                           |
|---|--------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Velocidad de extrusión : 0 rpm              |              |                            |                           |                           |
| Porcentaje apertura válvula de vapor : 100% |              |                            |                           |                           |
| Numero de medición                          | Tiempo (Min) | Variables de salida        |                           |                           |
|   |              | Temperatura del valle (°C) | Temperatura del cono (°C) | Temperatura Promedio (°C) |
| 1   | 0            | 25,70                      | 25,40                     | 25,55                     |
| 2   | 2            | 81,90                      | 50,00                     | 65,95                     |
| 3   | 4            | 81,50                      | 60,50                     | 71,00                     |
| 4   | 6            | 84,00                      | 68,10                     | 76,05                     |
| 5   | 8            | 83,00                      | 68,40                     | 75,70                     |
| 6   | 10           | 83,60                      | 69,00                     | 76,30                     |
| 7   | 12           | 82,60                      | 72,40                     | 77,50                     |
| 8   | 14           | 83,00                      | 74,00                     | 78,50                     |
| 9   | 16           | 82,00                      | 75,10                     | 78,55                     |
| 10  | 18           | 82,70                      | 75,80                     | 79,25                     |
| 11  | 20           | 82,30                      | 72,00                     | 77,15                     |
| 12  | 22           | 82,80                      | 72,30                     | 77,55                     |
| 13  | 24           | 82,20                      | 76,40                     | 79,30                     |
| 14  | 26           | 83,00                      | 74,70                     | 78,85                     |
| 15  | 28           | 84,60                      | 72,50                     | 78,55                     |
| 16  | 30           | 85,40                      | 74,20                     | 79,80                     |
| 17  | 32           | 84,30                      | 74,50                     | 79,40                     |
| 18  | 34           | 83,70                      | 76,00                     | 79,85                     |
| 19  | 36           | 85,90                      | 78,10                     | 82,00                     |
| 20  | 38           | 85,00                      | 74,80                     | 79,90                     |
| 21  | 40           | 84,70                      | 77,00                     | 80,85                     |
| 22  | 42           | 84,00                      | 75,20                     | 79,60                     |
| 23  | 44           | 83,80                      | 74,00                     | 78,90                     |
| 24  | 46           | 83,70                      | 75,30                     | 79,50                     |
| 25  | 48           | 84,10                      | 74,60                     | 79,35                     |
| 26  | 50           | 84,30                      | 77,00                     | 80,65                     |
| 27  | 52           | 84,50                      | 76,30                     | 80,40                     |
| 28  | 54           | 85,20                      | 75,30                     | 80,25                     |
| 29  | 56           | 86,10                      | 74,00                     | 80,05                     |
| 30  | 58           | 85,80                      | 78,30                     | 82,05                     |

Fuente. Autor

La **Gráfica 4** expone y compara la relación que tiene la temperatura en la zona del valle el tornillo sin fin en función del paso de vapor que entra en su contacto a través del tiempo; los tres ensayos de comparación fueron realizados durante 58 minutos.

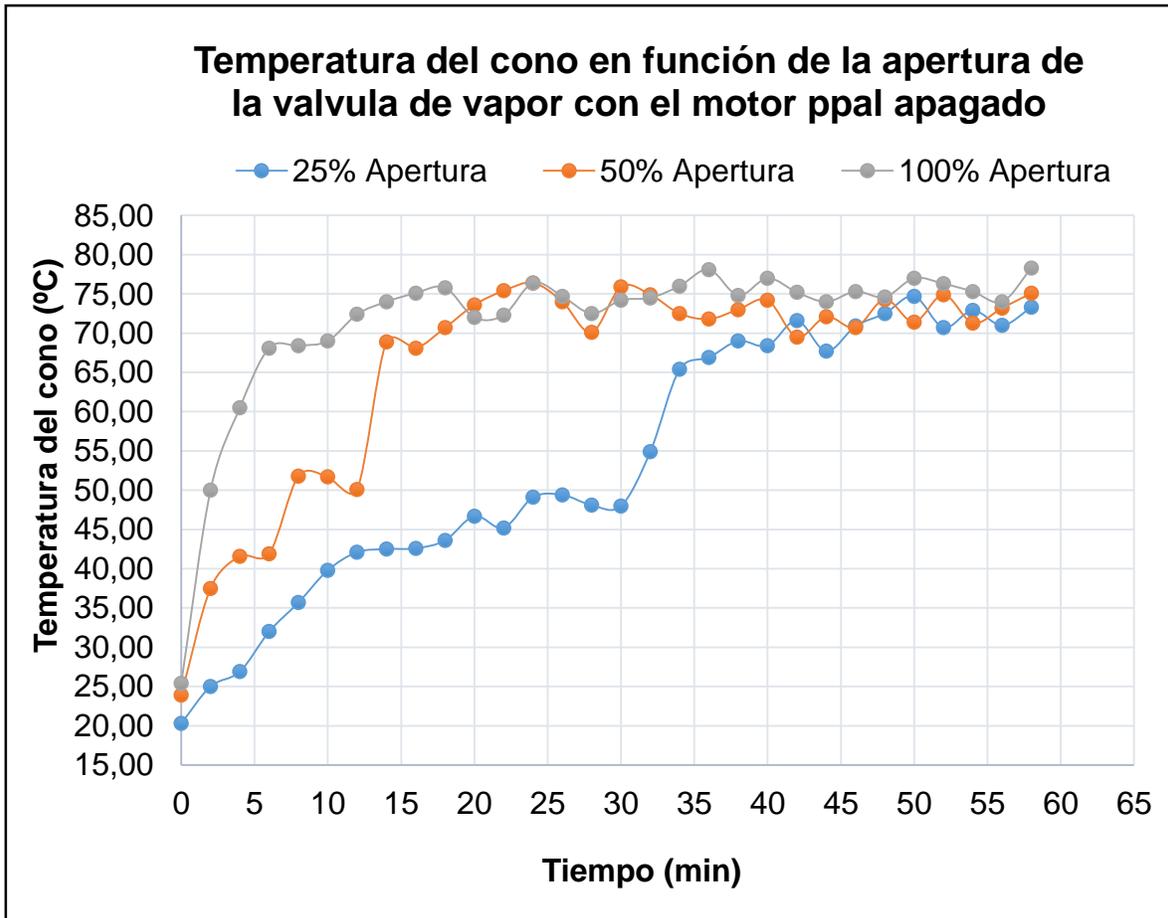
**Gráfica 4.** Temperatura del valle en función de la apertura de la válvula de vapor con el motor ppal apagado



Fuente. Autor

La **Gráfica 5** expone en este caso la relación y variación que tiene la temperatura en la zona cónica del tornillo sin fin en función del paso de vapor que entra en su contacto a través del tiempo, para las diferentes aperturas de la válvula de vapor.

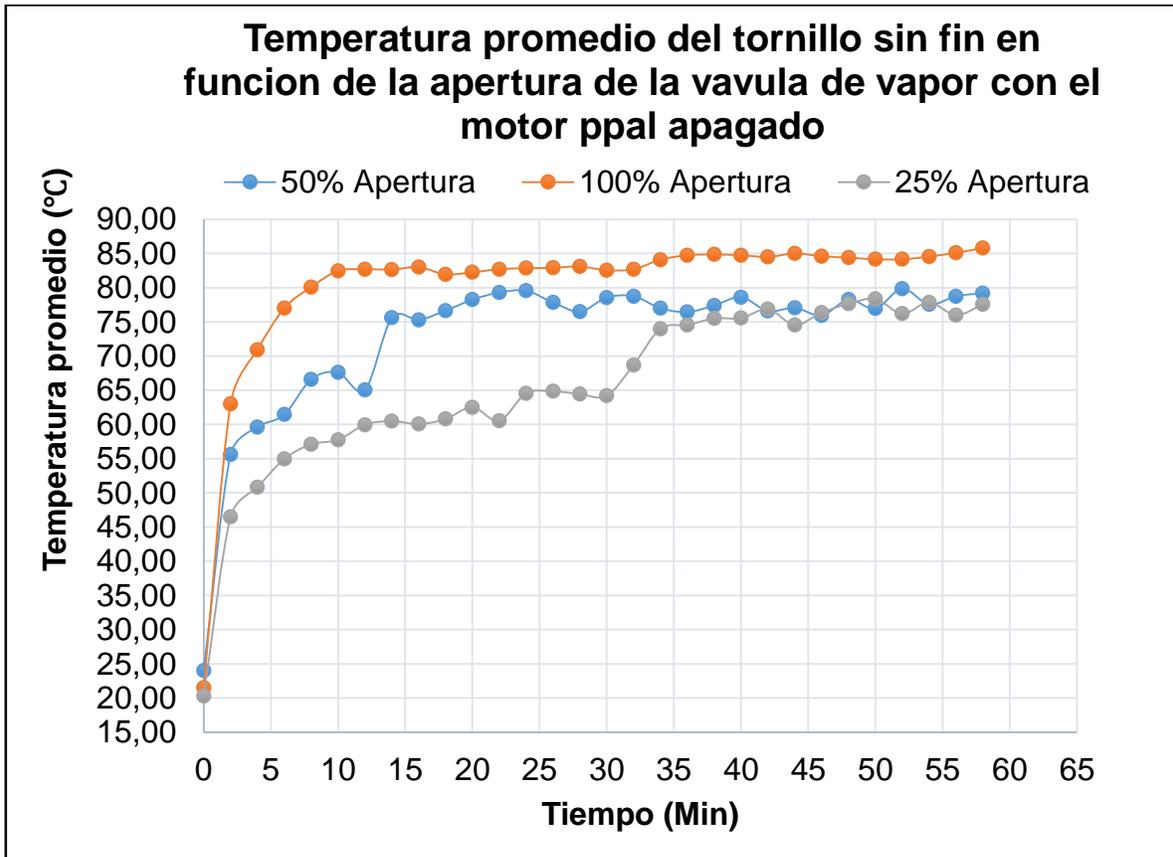
**Gráfica 5.** Temperatura del cono en función de la apertura de la válvula de vapor con el motor ppal apagado



Fuente. Autor

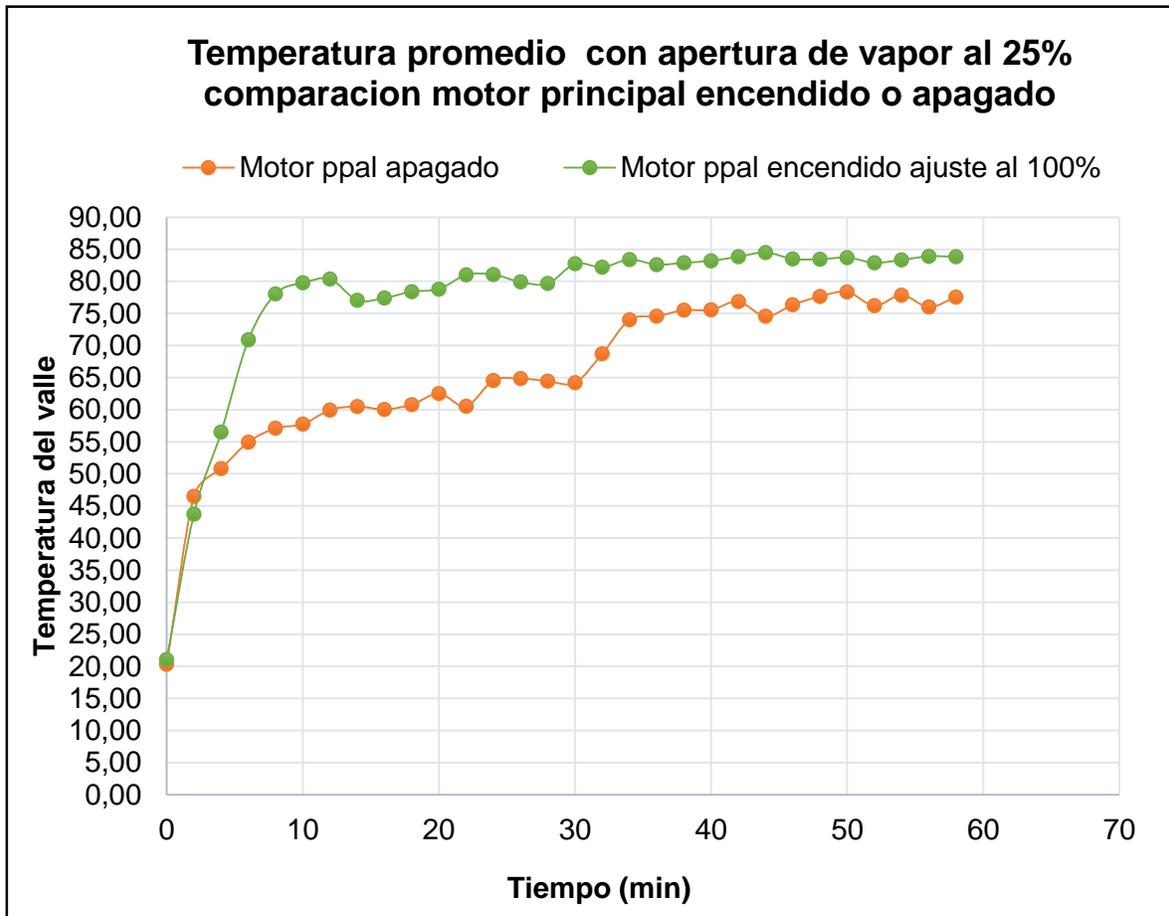
La **Gráfica 6** exhibe de forma clara la temperatura promedio que adquiere el tornillo sin fin dependiendo nuevamente de la apertura de la válvula de globo que regula el ingreso del vapor.

**Gráfica 6.** Temperatura promedio del tornillo sin fin en función de la apertura de la válvula de vapor con el motor ppal apagado



En la **Gráfica 7** se aprecia la diferencia de temperatura promedio entre la aplicación de vapor con el motor principal encendido y el motor principal apagado, lo que ayudaría a determinar un posible método de precalentamiento de la maquina extrusora.

**Gráfica 7.** Temperatura promedio con apertura de vapor al 25% comparación motor principal encendido o apagado



Fuente. Autor

Se realiza el cálculo de la diferencia de los valores de temperaturas promedios entre los ensayos 9, 10 y 11 y se expone en la **Tabla 34**.

**Tabla 34.** Diferencias de temperatura alcanzadas a diferentes aperturas de la válvula y con el motor principal apagado

| Diferencia de Temperatura promedio 25% y 50 % (°C) | Diferencia de Temperatura promedio 50% y 100% (°C) | Diferencia de Temperatura promedio 25% y 100% (°C) |
|--|--|--|
|  |  |  |

|       |       |       |
|-------|-------|-------|
| 3,70  | 1,55  | 5,25  |
| 9,10  | 10,35 | 19,45 |
| 8,80  | 11,40 | 20,20 |
| 6,50  | 14,60 | 21,10 |
| 9,50  | 9,10  | 18,60 |
| 9,85  | 8,70  | 18,55 |
| 5,10  | 12,45 | 17,55 |
| 15,10 | 2,90  | 18,00 |
| 15,25 | 3,25  | 18,50 |
| 15,85 | 2,60  | 18,45 |
| 15,75 | -1,10 | 14,65 |
| 18,75 | -1,75 | 17,00 |
| 15,00 | -0,25 | 14,75 |
| 13,00 | 1,00  | 14,00 |
| 12,05 | 2,05  | 14,10 |
| 14,35 | 1,25  | 15,60 |
| 10,05 | 0,65  | 10,70 |
| 3,00  | 2,85  | 5,85  |
| 1,90  | 5,55  | 7,45  |
| 1,90  | 2,50  | 4,40  |
| 3,05  | 2,25  | 5,30  |
| -0,25 | 3,00  | 2,75  |
| 2,50  | 1,85  | 4,35  |
| -0,40 | 3,55  | 3,15  |
| 0,60  | 1,10  | 1,70  |
| -1,40 | 3,70  | 2,30  |
| 3,65  | 0,55  | 4,20  |
| -0,30 | 2,70  | 2,40  |
| 2,75  | 1,30  | 4,05  |
| 1,65  | 2,85  | 4,50  |

Fuente. Autor

#### 12.2.1.4 Prueba 4: Humedad y temperatura del salvado durante la agitación en función de la cantidad de flujo de vapor y la cantidad de salvado

Los ensayos explicados en esta sección del informe se desarrollan con el fin de comprender el aumento de humedad y temperatura del salvado de arroz durante el proceso de humidificación y agitación dentro de la tolva.

Lo ideal es encontrar la relación exacta entre el ingreso de vapor y la cantidad de salvado durante el tiempo de residencia en la tolva con el fin de lograr una humidificación aproximada al 15% según lo dictan los antecedentes de la temática. Para realizar los siguientes ensayos es necesario seguir el siguiente procedimiento:

1. Depositar la cantidad de salvado requerida en la tolva de recibo dependiendo el ensayo.
2. Tomar inmediatamente 2 muestras de salvado de aproximadamente 5gr cada una
3. Haciendo uso del pirómetro digital registrar la temperatura de las muestras
4. Haciendo uso del medidor de humedad digital registrar la humedad de las muestras
5. Encender el sistema de agitación
6. Transcurridos 30 segundos después del paso de vapor hacia la tolva se toman dos muestras de salvado nuevamente de 5 gramos cada una y se repite la acción cada 30 segundos durante la aplicación durante 3 minutos, es decir se deben separar 12 muestras independientes
7. Cerrar la válvula de vapor
8. A cada muestra de salvado recogida se debe inmediatamente medírsele su temperatura antes de tomar la siguiente.
9. Una vez se terminado el proceso se procede a realizar el cálculo de humedad a cada una de las muestras en particular.

En la **Tabla 35** específicamente se aprecian los resultados de los ensayos realizados al 25 % de apertura de la válvula de globo en donde se estudia la humedad y temperatura que adquieren 1kg, 2kg y 3kg cuando entran en contacto con vapor.

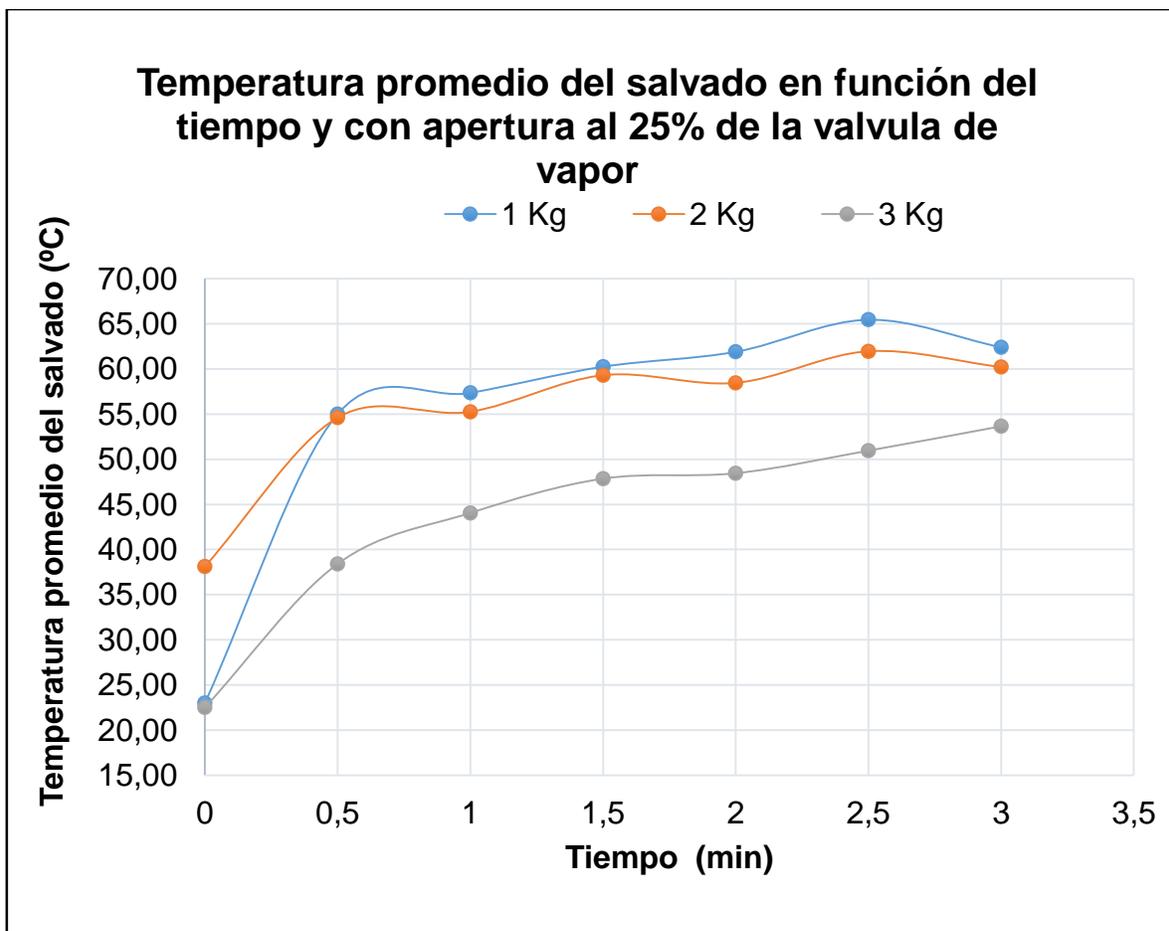
**Tabla 35.** Resultado ensayos 12, 13 y 14

| Ensayos 12, 13 y 14                   |              |                              |       |       |       |       |       |                         |       |       |       |       |       |
|---------------------------------------|--------------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Velocidad angular de agitación: 15rpm |              |                              |       |       |       |       |       |                         |       |       |       |       |       |
| Apertura de la válvula de vapor: 25%  |              |                              |       |       |       |       |       |                         |       |       |       |       |       |
| Cantidad de salvado: 1Kg, 2 Kg, 3kg.  |              |                              |       |       |       |       |       |                         |       |       |       |       |       |
| Numero de medición                    | Tiempo (Min) | Variables de salida          |       |       |       |       |       |                         |       |       |       |       |       |
|                                       |              | Temperatura del Salvado (°C) |       |       |       |       |       | Humedad del Salvado (%) |       |       |       |       |       |
|                                       |              | 1Kg                          |       | 2 Kg  |       | 3kg   |       | 1Kg                     |       | 2 Kg  |       | 3kg   |       |
| 1                                     | 0            | 23,00                        | 23,00 | 22,8  | 22,8  | 21,7  | 21,7  | 10,20                   | 10,20 | 9,80  | 9,80  | 9,20  | 9,20  |
| 2                                     | 0,5          | 56,80                        | 53,20 | 55,80 | 53,40 | 39,60 | 37,20 | 21,80                   | 21,80 | 19,40 | 16,90 | 12,60 | 14,40 |
| 3                                     | 1            | 59,60                        | 55,10 | 56,30 | 54,20 | 45,00 | 43,10 | 21,90                   | 22,50 | 17,60 | 19,10 | 14,70 | 17,70 |
| 4                                     | 1,5          | 66,20                        | 54,30 | 60,30 | 58,30 | 48,10 | 47,60 | 21,80                   | 25,30 | 18,00 | 18,10 | 19,00 | 19,60 |
| 5                                     | 2            | 60,80                        | 63,00 | 57,80 | 59,10 | 49,00 | 47,90 | 27,00                   | 27,20 | 26,30 | 27,50 | 19,30 | 20,90 |
| 6                                     | 2,5          | 65,50                        | 65,40 | 60,70 | 63,20 | 50,60 | 51,30 | 28,90                   | 29,60 | 24,60 | 29,20 | 21,10 | 21,80 |
| 7                                     | 3            | 60,80                        | 64,00 | 59,20 | 61,20 | 52,50 | 54,80 | 35,00                   | 37,70 | 29,90 | 33,20 | 22,00 | 23,30 |

Fuente. Autor

En la **Gráfica 8** se exponen las tendencias de temperatura promedio para cada uno de los ensayos de la anterior tabla.

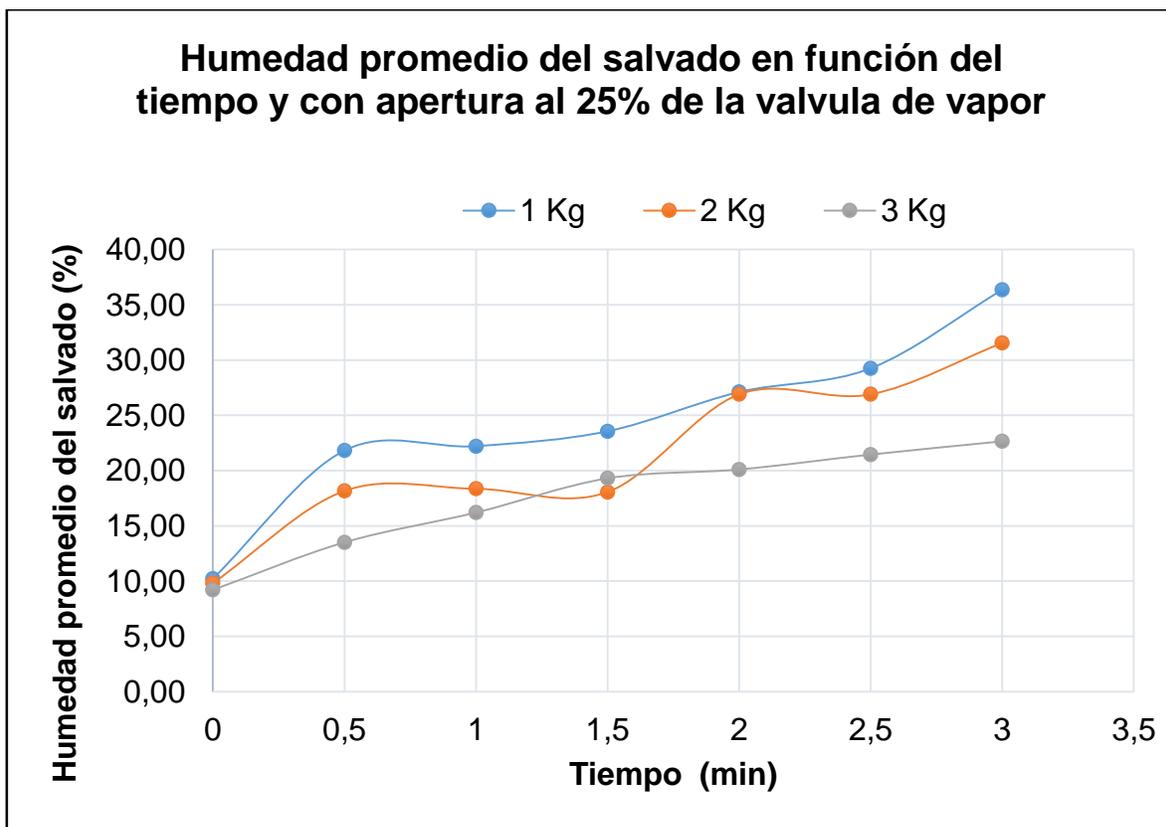
**Gráfica 8.** Temperatura promedio del salvado en función del tiempo y con apertura al 25% de la válvula de vapor



Fuente. Autor

La **Gráfica 9** muestra los diferentes valores de humedad que adquieren las diferentes cantidades de salvado a medida que se encontraba en contacto con el vapor saturado a través del tiempo.

**Gráfica 9.** Humedad promedio del salvado en función del tiempo y con apertura al 25% de la válvula de vapor



Fuente. Autor

En la

**Tabla 36** se pueden ver los datos registrados durante los ensayos 15, 16 y 17 en donde se someten 1kg, 2kg y 3kg a contacto directo de vapor saturado durante 3 minutos cada uno. Vale resaltar que en esta oportunidad los ensayos se someten a un 50% de apertura de la válvula de vapor.

**Tabla 36.** Resultados ensayos 15, 16 y 17

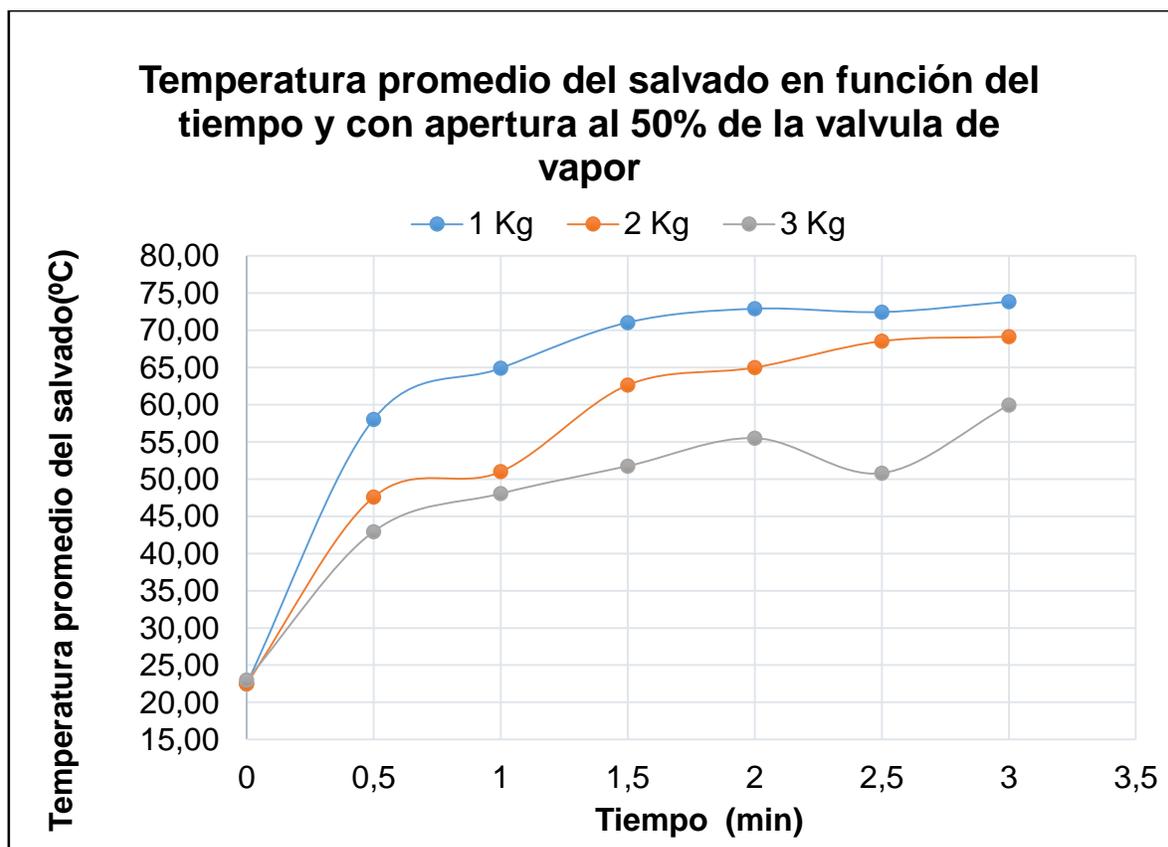
| <b>Ensayos 15, 16 y 17</b>            |                            |
|---------------------------------------|----------------------------|
| Velocidad angular de agitación: 15rpm |                            |
| Apertura de la válvula de vapor: 50%  |                            |
| Cantidad de salvado: 1Kg, 2 Kg, 3kg.  |                            |
|                                       | <b>Variables de salida</b> |

| Numero de medición | Tiempo (Min) | Temperatura del Salvado (°C) |       |       |       |       |       | Humedad del Salvado (%) |       |       |       |       |       |
|--------------------|--------------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                    |              | 1Kg                          |       | 2 Kg  |       | 3kg   |       | 1Kg                     |       | 2 Kg  |       | 3kg   |       |
| 1                  | 0            | 21.7                         | 21.7  | 21.7  | 21.7  | 23,00 | 23,00 | 9.70                    | 9.70  | 9.90  | 9.90  | 8.90  | 8.90  |
| 2                  | 0,5          | 59,10                        | 57,00 | 49,00 | 46,20 | 43,50 | 42,40 | 21,30                   | 21,80 | 19,40 | 20,60 | 15,50 | 16,90 |
| 3                  | 1            | 63,40                        | 66,40 | 50,00 | 52,00 | 48,90 | 47,20 | 22,80                   | 23,40 | 20,90 | 21,00 | 17,00 | 17,40 |
| 4                  | 1,5          | 70,20                        | 71,90 | 60,30 | 65,00 | 49,90 | 53,60 | 25,30                   | 25,40 | 22,50 | 27,00 | 17,40 | 17,60 |
| 5                  | 2            | 72,70                        | 73,10 | 64,00 | 66,00 | 56,20 | 54,80 | 26,30                   | 26,90 | 22,10 | 23,00 | 18,10 | 18,10 |
| 6                  | 2,5          | 73,70                        | 71,20 | 68,00 | 69,10 | 51,30 | 50,30 | 29,90                   | 29,90 | 28,70 | 29,60 | 18,40 | 18,50 |
| 7                  | 3            | 74,50                        | 73,20 | 68,80 | 69,50 | 61,20 | 58,70 | 33,00                   | 37,70 | 34,50 | 36,50 | 18,50 | 18,80 |

Fuente. Autor

La **Gráfica 10** realiza una dispersión de puntos que muestra el incremento de temperatura promedio que adquiere el salvado a medida que se desarrollan los ensayos 15, 16 y 17.

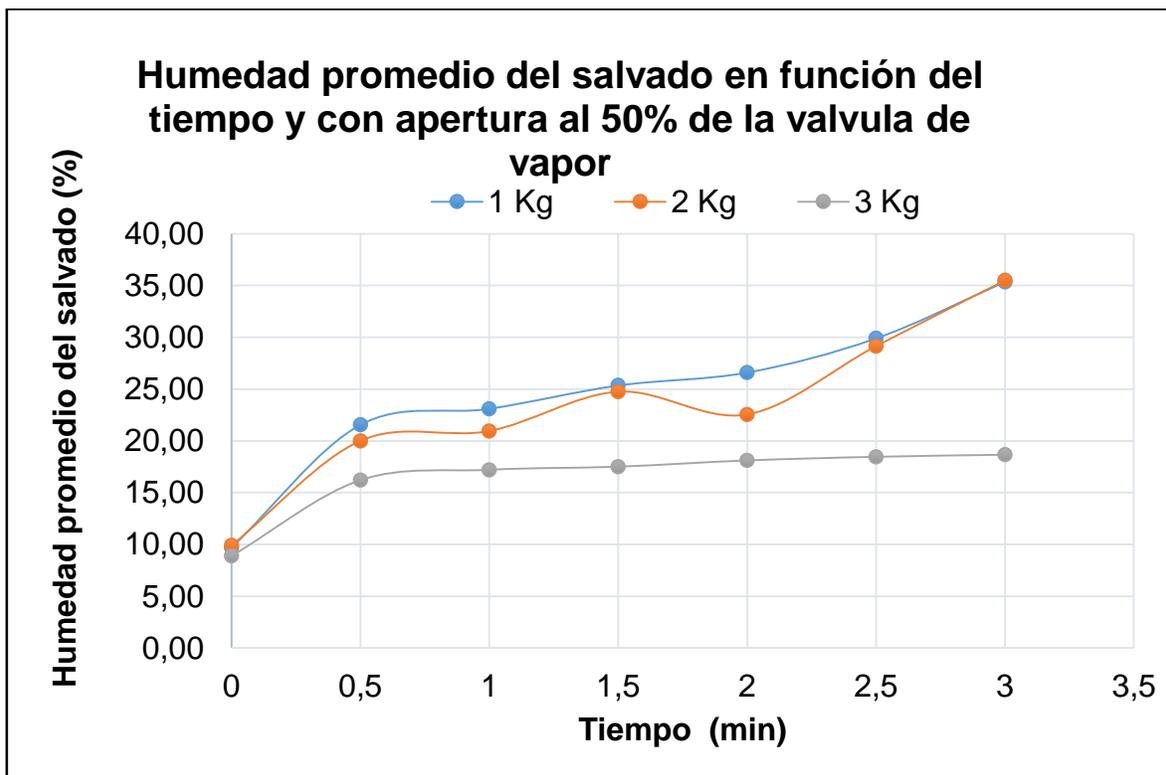
**Gráfica 10.** Temperatura promedio del salvado en función del tiempo y con apertura al 50% de la válvula de vapor



Fuente. Autor

Para poder entender de igual manera el comportamiento de la humedad en los ensayos 15, 16 y 17 la cual va en función del tiempo y la apertura de la válvula de vapor, se realiza una dispersión de puntos que se expone en la **Gráfica 11**.

**Gráfica 11.** Humedad promedio del salvado en función del tiempo y con apertura al 50% de la válvula de vapor



Fuente. Autor

### 12.2.2 Evaluación durante la extracción

En este inciso del presente trabajo se explican los ensayos realizados durante la extrusión básica del salvado de arroz en función de las condiciones de trabajo y la cantidad de aceite que se obtiene.

Estos ensayos consisten en agregar salvado a la maquina e iniciar su extrusión; ensayos que varían según sus parámetros del entrada dependiendo del ingreso de vapor al sistema, el ajuste del dado extrusor y la cantidad de salvado.

### 12.2.2.1 Prueba 5: Temperatura del tornillo sin fin en el cono y cantidad de aceite obtenida, las cuales va en función de la distancia del dado de extrusión y la cantidad de salvado

El ensayo 19 consiste en extruir un 1kg de salvado a una velocidad de 134,9 rpm en el tornillo sin fin, una velocidad de agitación de 15 rpm y un ajuste del dado al 100%. Al kilogramo de salvado se le deben realizar varias pasadas durante el proceso con el fin de aumentar su temperatura y la cantidad de aceite que se obtiene.

Se debe medir y registrar igualmente la temperatura y la humedad inicial del salvado antes de ser extruido. Además se debe evaluar la temperatura del cono extrusor en el tiempo, por ende se mide la temperatura del mismo en intervalos de 10 minutos hasta el final del proceso haciendo uso del pirómetro digital.

Una vez termina el proceso de extrusión se debe tener registro de la cantidad de aceite que se obtiene, el tiempo de duración del proceso y el número de pasadas realizadas.

En la **Tabla 37** se puede observar la información condensada que resulta de la experimentación en el ensayo 18.

**Tabla 37. Resultado ensayo 18**

| <b>Ensayo 18</b>                                |                     |                                 |                          |                                      |
|---|---------------------|---------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| <b>Velocidad angular de extrusión: 134,9rpm</b> |                     |                                 |                          |                                      |
| <b>Cantidad de salvado: 1Kg</b>                 |                     |                                 |                          |                                      |
| <b>Ajuste del dado extrusor: 100%</b>           |                     |                                 |                          |                                      |
| <b>Humedad del salvado: 8.9%</b>                |                     |                                 |                          |                                      |
| <b>Temperatura del salvado:21.9°C</b>           |                     |                                 |                          |                                      |
| <b>Numero de medición</b>                       | <b>Tiempo (Min)</b> | <b>Variables de salida</b>      |                          |                                      |
|   |                     | <b>Temperatura de cono (°C)</b> | <b>Numero de pasadas</b> | <b>Cantidad de Aceite total (ml)</b> |
| 1   | 0                   | 22,2                            | 3                        | 6,1                                  |
| 2   | 10                  | 44                              |                          |                                      |
| 3   | 20                  | 65                              |                          |                                      |
| 4   | 30                  | 71                              |                          |                                      |
| 5   | 40                  | 75                              |                          |                                      |
| 6   | 50                  | 78                              |                          |                                      |
| 7   | 60                  | 77                              |                          |                                      |
| 8   | 70                  | 88                              |                          |                                      |
| 9   | 80                  | 96                              |                          |                                      |
| 10  | 90                  | 106                             |                          |                                      |

Fuente. Autor

El ensayo 21 se realiza siguiendo los mismos pasos y lineamientos del ensayo 18, la única diferencia es que en este caso se analiza la extrusión de 2kg de salvado. Vale mencionar que en ninguno de los dos ensayos anteriormente mencionados se hace uso del sistema de vapor.

La **Tabla 38** expone los datos recogidos durante el desarrollo del ensayo número 20.

**Tabla 38.** Resultado ensayo 20

| <b>Ensayo 20</b>                                |              |                          |                   |                               |
|---|--------------|--------------------------|-------------------|-------------------------------|
| <b>Velocidad angular de extrusión: 134,9rpm</b> |              |                          |                   |                               |
| <b>Cantidad de salvado: 2Kg</b>                 |              |                          |                   |                               |
| <b>Ajuste del dado extrusor: 100%</b>           |              |                          |                   |                               |
| <b>Humedad del salvado: 9.3%</b>                |              |                          |                   |                               |
| <b>Temperatura del salvado:22.8°C</b>           |              |                          |                   |                               |
| Numero de medición                              | Tiempo (Min) | Variables de salida      |                   |                               |
|   |              | Temperatura de cono (°C) | Numero de pasadas | Cantidad de Aceite total (ml) |
| 1   | 0            | 21,2                     | 3                 | 11,2ml                        |
| 2   | 10           | 42                       |                   |                               |
| 3   | 20           | 56                       |                   |                               |
| 4   | 30           | 69                       |                   |                               |
| 5   | 40           | 76                       |                   |                               |
| 6   | 50           | 82                       |                   |                               |
| 7   | 60           | 85                       |                   |                               |
| 8   | 70           | 89                       |                   |                               |
| 9   | 80           | 93                       |                   |                               |
| 10  | 90           | 105                      |                   |                               |
| 11  | 100          | 116                      |                   |                               |
| 12  | 110          | 124                      |                   |                               |
| 13  | 120          | 136                      |                   |                               |

Fuente. Autor

Durante los ensayos 19 y 21 no se obtienen resultados significativos y no es posible la extracción de aceite de salvado ya que al realizar la extrusión con un ajuste del dado al 50%, el sistema no soporta la presión a la que se somete y el dado extrusor se sale de su lugar.

En la **Ilustración 34** se aprecia la medición de temperatura realizada al cono extrusor con el pirómetro digital, durante el ensayo 20.

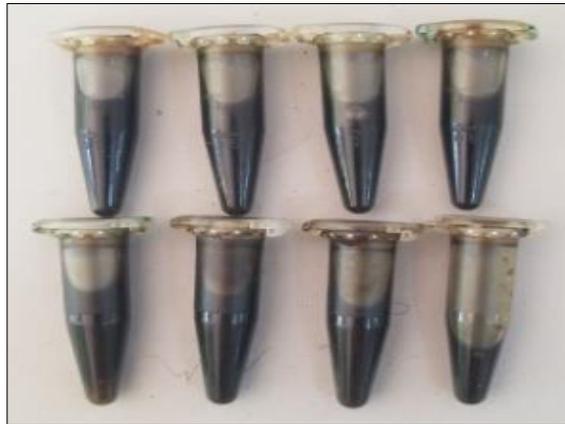
**Ilustración 34.** Medición de temperatura en el cono extrusor



Fuente. Autor

En la **Ilustración 35** se aprecian las muestras de salvado extruido durante el ensayo 20 los cuales se almacenan en recipientes de 1,5ml.

**Ilustración 35.** Muestras de aceite obtenido ensayo 20



Fuente. Autor

**12.2.2.2 Prueba 6: Temperatura del tornillo sin fin en el cono y cantidad de aceite obtenida, las cuales va en función de la distancia del dado de extrusión y la cantidad de salvado la cual varía su humedad debido a la presencia de vapor.**

Para la realización de los ensayos 22, 23, 24 y 25 es necesario precalentar el sistema de extrusión, abriendo la válvula de vapor al 25% durante 10 minutos con el fin de que su temperatura llegue a un rango entre los 70 y 80 grados Celsius. Luego de esto y rápidamente se procede a humidificar 3kg de salvado dentro de la tolva a una apertura del 25 % de paso del vapor con el fin de lograr una humedad aproximada del 15%. (Se requiere realizar medición de temperatura y humedad al salvado antes de ingresar a la zona del tornillo).

Realizado el proceso anterior se deja 1kg de salvado dentro de la tolva y se empieza el proceso de extrusión

Es necesario nuevamente realizar varias pasadas al salvado, recolectar el aceite que va saliendo y medir la temperatura que posee el cono extrusor cada 10 min.

En la **Tabla 39** se pueden ver los parámetros de entrada durante el ensayo 22 además de la información obtenida durante el mismo.

**Tabla 39.** Resultado ensayo 22

| <b>Ensayo 22</b>                             |              |                          |                   |                               |
|--|--------------|--------------------------|-------------------|-------------------------------|
| <b>Velocidad angular de extrusión: 134,9</b> |              |                          |                   |                               |
| <b>Cantidad de salvado: 1Kg</b>              |              |                          |                   |                               |
| <b>Ajuste del dado extrusor: 100%</b>        |              |                          |                   |                               |
| <b>Humedad del salvado: 16.7%</b>            |              |                          |                   |                               |
| <b>Temperatura del salvado:38.7°C</b>        |              |                          |                   |                               |
| Numero de medición                           | Tiempo (Min) | Variables de salida      |                   |                               |
|  |              | Temperatura de cono (°C) | Numero de pasadas | Cantidad de Aceite total (ml) |
| 1  | 0            | 78                       | 4                 | 0,8                           |
| 2  | 10           | 73                       |                   |                               |
| 3  | 20           | 69                       |                   |                               |
| 4  | 30           | 66                       |                   |                               |
| 5  | 40           | 67                       |                   |                               |
| 6  | 50           | 69                       |                   |                               |
| 7  | 60           | 72                       |                   |                               |
| 8  | 70           | 71                       |                   |                               |
| 9  | 80           | 73                       |                   |                               |
| 10   | 90           | 76                       |                   |                               |

Fuente. Autor

El ensayo 24 sigue los mismos lineamientos y procedimiento del ensayo 22 a diferencia que en este caso se va a trabajar con 2kg.

En la **Tabla 40** se pueden ver los parámetros de entrada durante el ensayo 22 además de la información obtenida durante el mismo.

**Tabla 40.** Resultado ensayo 24

| <b>Ensayo 24</b>                             |  |  |
|--|--|--|
| <b>Velocidad angular de extrusión: 134,9</b> |  |  |
| <b>Cantidad de salvado: 2Kg</b>              |  |  |
| <b>Ajuste del dado extrusor: 100%</b>        |  |  |
| <b>Humedad del salvado: 15.9%</b>            |  |  |
| <b>Temperatura del salvado:41.9°C</b>        |  |  |
| <b>Variables de salida</b>                   |  |  |
|  |  |  |

| Numero de medición | Tiempo (Min) | Temperatura de cono (°C) | Numero de pasadas | Cantidad de Aceite total (ml) |
|--------------------|--------------|--------------------------|-------------------|-------------------------------|
| 1                  | 0            | 73                       | 4                 | 1.5                           |
| 2                  | 10           | 59                       |                   |                               |
| 3                  | 20           | 63                       |                   |                               |
| 4                  | 30           | 67                       |                   |                               |
| 5                  | 40           | 69                       |                   |                               |
| 6                  | 50           | 70                       |                   |                               |
| 7                  | 60           | 71                       |                   |                               |
| 8                  | 70           | 74                       |                   |                               |
| 9                  | 80           | 75                       |                   |                               |
| 10                 | 90           | 74                       |                   |                               |
| 11                 | 100          | 76                       |                   |                               |
| 12                 | 110          | 78                       |                   |                               |
| 13                 | 120          | 78                       |                   |                               |
| 14                 | 130          | 80                       |                   |                               |
| 15                 | 140          | 81                       |                   |                               |
| 16                 | 150          | 83                       |                   |                               |
| 17                 | 160          | 80                       |                   |                               |

Fuente. Autor

Nuevamente se dificulta la obtención de aceite durante la realización de los ensayos 23 y 25 debido a que el ajuste del dado al 50% no soporta la presión que genera el salvado a medida que se va calentando la materia prima.

En la **Ilustración 36** se aprecian los ajustes reales del dado extrusor al 100% y al 50%. Se parecía también la salida de la hojuela a través del cono extrusor.

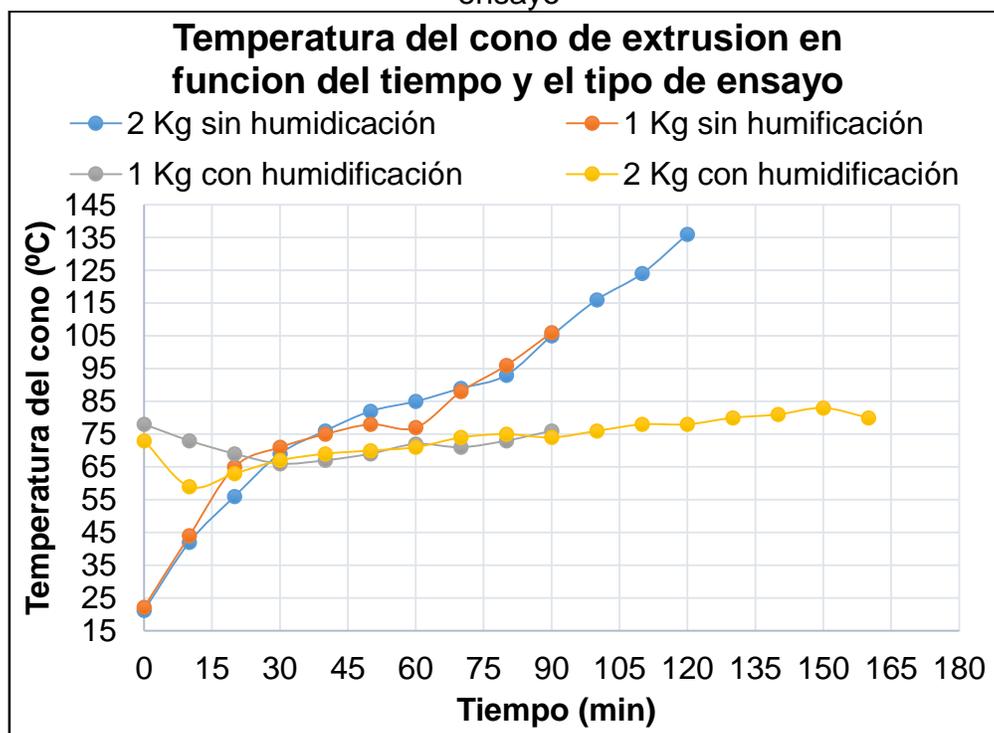
**Ilustración 36.** Ajuste real del dado extrusor



Fuente. Autor

La **Gráfica 12** expone a manera de resumen la afectación de la temperatura promedio del cono extrusor en función de la naturaleza del salvado extruido.

**Gráfica 12.** Temperatura del cono de extrusión en función del tiempo y el tipo de ensayo



Fuente. Autor

### 12.2.3 Extracción de aceite con hexano

Según la teoría en procesos de extracción de aceite con solventes como el hexano también llamado éter de petróleo se obtiene un mayor rendimiento de extracción, por lo que se decide realizar un ensayo de esta manera

#### 12.2.3.1 Prueba 7: Temperatura del tornillo sin fin en el cono y cantidad de aceite obtenida, la cuales van en función de la cantidad de hexano utilizado en la extracción.

En el ensayo 26 se realiza la extrusión sin precalentamiento y sin humidificación de 1kg de salvado al cual se le adicionan 180 ml de hexano.

Es necesario antes de iniciar la segunda pasada del salvado pulverizarlo y agregarle los 180ml ya que en este punto el sistema presenta una mayor temperatura.

En la **Tabla 41** se encuentra condensada la información obtenida durante la extracción con hexano. En esta se aprecian la cantidad de aceite obtenido, la

duración del ensayo y la temperatura máxima alcanzada. Además de los parámetros de entrada al proceso.

**Tabla 41.** Resultado ensayo 26

| <b>Ensayo 26</b>                             |              |                          |                   |                               |                         |
|--|--------------|--------------------------|-------------------|-------------------------------|-------------------------|
| <b>Velocidad angular de agitación: 134,9</b> |              |                          |                   |                               |                         |
| <b>Cantidad de salvado: 1Kg</b>              |              |                          |                   |                               |                         |
| <b>Ajuste del dado extrusor: 100%</b>        |              |                          |                   |                               |                         |
| <b>Humedad del salvado: 9.5%</b>             |              |                          |                   |                               |                         |
| <b>Temperatura del salvado: 21.7°C</b>       |              |                          |                   |                               |                         |
| Número de medición                           | Tiempo (Min) | Variables de salida      |                   |                               |                         |
|  |              | Temperatura de cono (°C) | Número de pasadas | Cantidad de Aceite total (ml) | Cantidad de Hexano (ml) |
| 1  | 0            | 21,7                     | 3                 | 6.7                           | 180                     |
| 2  | 10           | 41                       |                   |                               |                         |
| 3  | 20           | 61                       |                   |                               |                         |
| 4  | 30           | 66                       |                   |                               |                         |
| 5  | 40           | 70                       |                   |                               |                         |
| 6  | 50           | 78                       |                   |                               |                         |
| 7  | 60           | 85                       |                   |                               |                         |
| 8  | 70           | 88                       |                   |                               |                         |
| 9  | 80           | 91                       |                   |                               |                         |

Fuente. Autor

En la **Tabla 42** se aprecia un resumen de la información más importante y que resulta de las pruebas en las que se obtuvo aceite crudo de salvado.

**Tabla 42.** Resumen resultados de extracción de aceite

| <b>Extracción de aceite</b> |                          |              |                         |                         |
|-----------------------------|--------------------------|--------------|-------------------------|-------------------------|
| Fase                        | Cantidad de salvado (Kg) | Tiempo (min) | Cantidad de aceite (ml) | Temperatura máxima (°C) |
| Sin humidificación          | 1 Kg                     | 90           | 6,1                     | 106                     |
|                             | 2 Kg                     | 120          | 11,2                    | 136                     |
| Con humidificación          | 1 Kg                     | 90           | 0.8                     | 76                      |
|                             | 2 Kg                     | 130          | 1.5                     | 83                      |
| Con hexano                  | 1 Kg                     | 80           | 8,4                     | 91                      |

Fuente. Autor

En la **Ilustración 37** se observa como con cada pasada la hojuela del salvado se torna más oscura y de textura dura; en la tercera pasada se ve como la hojuela se

encuentra humedecida por su propio aceite y en la primera pasada con salvado húmedo se observa una textura más blanda y blanca.

**Ilustración 37.** Textura de la hojuela según la pasada.



Fuente. Autor

### 13. EVALUACIÓN DE INDICADORES ENERGÉTICOS Y CONSUMO DE VAPOR

Es importante en este estudio saber cuál fue el consumo energético y de vapor que tiene la maquina en cada uno de los ensayos por ende se tiene en cuenta la información calculada por el estudiante Julián Mateo rodríguez que en este caso también cumple el papel de investigador en el proyecto principal. Esta información tomada está expuesta en su trabajo de grado para optar al título de ingeniero mecánico.

En la **Tabla 43** se aprecia el consumo energético que obtuvo Julián rodríguez en cada una de las pruebas realizadas en este informe teniendo en cuenta lo que consume el motor principal y el motor secundario de agitación. Vale mencionar que los datos que allí se aprecian se consiguen bajo la utilización de la **Ecuación 4** la cual tiene en cuenta el factor de potencia de cada motor en particular y claramente los valores de amperaje y voltaje.

**Tabla 43.** Resultados de consumo energético

| Motor      | Prueba | Característica                                  | E. eléctrica (kWh) |                  |
|------------|--------|---|--------------------|------------------|
|            |        |   | Motor principal    | Motor secundario |
| Principal  | 1      | Sin Salvado , Sin Vapor, 50% apriete del dado   | 2,666              | NP               |
|            |        | Sin Salvado , Sin Vapor, 100% apriete del dado  | 2,656              | NP               |
| Principal  | 2      | Sin Salvado, 50% apertura dado, 25% Con Vapor   | 2,822              | NP               |
|            |        | Sin Salvado, 50% apertura dado, 50% Con Vapor   | 2,870              | NP               |
|            |        | Sin Salvado, 50% apertura dado, 100% Con Vapor  | 2,916              | NP               |
|            |        | Sin Salvado, 100% apertura dado, 25% Con Vapor  | 2,696              | NP               |
|            |        | Sin Salvado, 100% apertura dado, 50% Con Vapor  | 2,633              | NP               |
|            |        | Sin Salvado, 100% apertura dado, 100% Con Vapor | 2,703              | NP               |
| Secundario | 3      | 0 kg, Sin vapor                                 | NP                 | 0,047            |
|            |        | 1 kg, Sin vapor                                 | NP                 | 0,043            |
|            |        | 2 kg, Sin vapor                                 | NP                 | 0,043            |
|            |        | 3 kg, Sin vapor                                 | NP                 | 0,046            |
| Secundario | 4      | 1 kg, 25% vapor                                 | NP                 | 0,039            |
|            |        | 2 kg, 25% vapor                                 | NP                 | 0,043            |
|            |        | 3 kg, 25% vapor                                 | NP                 | 0,045            |

|       |          |                                    |       |       |
|-------|----------|------------------------------------|-------|-------|
|       |          | 1 kg, 50% vapor                    | NP    | 0,034 |
|       |          | 2 kg, 50% vapor                    | NP    | 0,039 |
|       |          | 3 kg, 50% vapor                    | NP    | 0,042 |
| Ambos | <b>5</b> | 1 kg, Sin vapor, 100% apriete dado | 2,833 | 0,043 |
|       |          | 2 kg, Sin vapor, 100% apriete dado | 2,822 | 0,043 |
| Ambos | <b>6</b> | 1 kg, Con vapor, 100% apriete dado | 2,788 | 0,039 |
|       |          | 2 kg, Con vapor, 100% apriete dado | 2,849 | 0,043 |
| Ambos | <b>7</b> | 1 kg, Sin vapor, 100% apriete dado | 2,778 | 0,043 |

Fuente. Julián Rodríguez

En la **Tabla 44** se expone el consumo de vapor, el calor brindado y el total de energía en kWh. Julián Rodríguez calcula esos valores de consumo teniendo en cuenta la **Ecuación 1**, la **Ecuación 2** y la **Ecuación 3**.

**Tabla 44.** Consumo de vapor

| Prueba | Apertura válvula           | mv<br>(kg/min)                            | Calor (Q)<br>(kWh) | Total energía<br>(kWh) |         |
|--------|----------------------------|---|--------------------|------------------------|---------|
| 1      | No hubo presencia de vapor |   |                    |                        |         |
| 2      | 25%                        | 0,01265                                   | 0,57830            | 0,57830                |         |
|        | 50%                        | 0,01331                                   | 0,60812            | 0,60812                |         |
|        | 1                          | 0,01342                                   | 0,61354            | 0,61354                |         |
| 3      | No hubo presencia de vapor |   |                    |                        |         |
| 4      | 25%                        | 0,01037                                   | 0,47378            | 0,47378                |         |
|        |                            | 0,01932                                   | 0,88284            | 0,88284                |         |
|        |                            | 0,02450                                   | 1,11973            | 1,11973                |         |
|        | 50%                        | 0,01315                                   | 0,60089            | 0,60089                |         |
|        |                            | 0,02377                                   | 1,08622            | 1,08622                |         |
|        |                            | 0,02898                                   | 1,32427            | 1,32427                |         |
| 5      | No hubo presencia de vapor |   |                    |                        |         |
| 6      | 100%                       | Pre calentamiento<br>(50% apertura llave) | 0,01331            | 0,60812                | 2,73666 |
|        |                            | Humidificación                            | 0,04657            | 2,12853                |         |
|        | 100%                       | Pre calentamiento<br>(50% apertura llave) | 0,01331            | 0,60812                | 4,61559 |
|        |                            | Humidificación                            | 0,08768            | 4,00747                |         |
| 7      | No hubo presencia de vapor |   |                    |                        |         |

Fuente. Julián Rodríguez

## 14. PARAMETROS DE FUNCIONAMIENTO DE LA MAQUINA EXTRUSORA

En este espacio se explica el paso a paso de cómo obtener aceite con la maquina extrusora de la universidad de Ibagué en donde se expondrá la configuración de sus parámetros principales de forma tal que se obtenga el mayor rendimiento durante el proceso de extracción en este caso de 6,1ml/kg salvado ingresado

### 14.1 Definición de las fases de funcionamiento

#### Etapa I: Puesta a punto de la máquina

Antes de iniciar cualquier trabajo en la máquina es necesario poner a punto todos sus componentes y sistemas de la siguiente manera:

Sistema de agitación y sistema de extrusión:

- En primer lugar se debe revisar la caja del sistema eléctrico y asegurar que los interruptores del sistema se encuentren en estado OFF.
- Seguidamente se debe conectar la caja del sistema eléctrico a la red 220 mediante el conector de alimentación AC y comprobar el paso de corriente mediante los indicadores de luz.
- Es necesario hacer una inspección cuidadosa del tornillo sin fin y la tolva de recibo asegurándose que no haya un elemento extraño que pueda generar algún daño al sistema interno de extrusión.
- Ubicar el dado extrusor mediante el ajuste máximo del 100%

Sistema de vapor:

El sistema de vapor está principalmente constituido por la caldera pirotubular de 50 BHP. Para poner en funcionamiento esta máquina de generación de vapor es necesario:

- Cerrar las válvulas que se encuentran a la salida del sistema de vapor.
- Revisar que la llave principal de paso de gas hacia el quemador y la llave principal de paso de agua hacia la bomba se encuentren abiertas.
- Para confirmar el paso de gas hacia el quemador es necesario revisar que los manómetros en la línea de presión estén marcando.
- Revisar que el sistema eléctrico de la caldera se encuentre energizado
- Enseguida se debe revisar que el agua de la bomba se encuentre al nivel indicado y con el interruptor de control en automático.
- También es necesario que el nivel de agua de la caldera en el McDonnell se encuentre en lugar indicado, por lo que si se encuentra por encima se debe abrir la válvula de purga del tanque con el fin de expulsar el agua restante.
- Es necesario cerrar la válvula de cheque a la salida de la caldera y abrir las diferentes válvulas de purga del sistema de vapor hacia la maquina extrusora con el fin de evitar la generación del golpe de ariete debido a los condensados en la tubería.

- Si se desea calcular el consumo de gas se debe registrar el contador antes de encender el quemador y al momento de terminar con el uso de la caldera.
- Después de realizadas las purgas a la tubería se vuelven a cerrar las válvulas de paso.
- En este momento se puede ubicar el interruptor del quemador en ON, una vez el quemador encienda se verifica el buen proceso de combustión asegurándose que la llama del quemador sea azul.
- En ese momento se debe estar pendiente del manómetro y el Presóstato principal de la caldera ya que una vez estos lleguen a la presión de trabajo (80psi) el quemador se apaga.
- Si el agua en el interior de la caldera se encuentra a temperaturas por debajo de los 20°C la caldera tarda alrededor de los 90 minutos hasta alcanzar su presión de trabajo aunque muchas veces si se ha usado la caldera el día anterior el agua de la caldera se encuentra a temperaturas por encima de los 20°C por lo que podría tardar menos de una hora en lograrla presión máxima de trabajo.
- Al trabajar con la apertura de la válvula de vapor al 25%, es posible hacer uso del vapor generado a presiones de trabajo superiores a los 60 PSI.
- Una vez se decida hacer uso del vapor se debe abrir de manera lenta la válvula de cheque principal a la salida de la caldera, igualmente se debe abrir de manera lenta la válvula de purga y esperar mientras los condensados salen y empieza a salir solo vapor.
- Después se cierra la válvula de purga y se espera hasta que la presión en la tubería sea igual a la presión a la que se encuentra la caldera.
- Una vez se realice el paso anterior se abre lentamente la válvula de paso de vapor hacia la tolva de la extrusora en ese momento se observa que al inicio solo sale agua atrapada en ese tramo de la tubería producto de la condensación, pero enseguida empieza a salir el vapor necesario.

## **Etapa II: Pre calentamiento**

Con el fin de aumentar la cantidad de aceite extraído se debe elevar la temperatura del tornillo de extrusión por medio de un pre calentamiento en vacío que se realiza de la siguiente manera:

- Es necesario quitar la platina que impide el paso del salvado hacia el sin fin
- Abrir la válvula de vapor al 25% y encender el sistema de extrusión el cual gira a una velocidad de 134,9rpm.
- Esperar durante 10 minutos a que el vapor eleve la temperatura de la parte interna del sistema de extrusión
- Cerrar la válvula de paso del vapor.
- Se aprecia que la temperatura del sin fin en promedio alcanza una temperatura cercana a los 80°C.
- Volver a ubicar la platina del paso de materia prima.

### **Etapa III: Extrusión del salvado**

Para extruir el salvado finalmente se debe seguir el siguiente procedimiento:

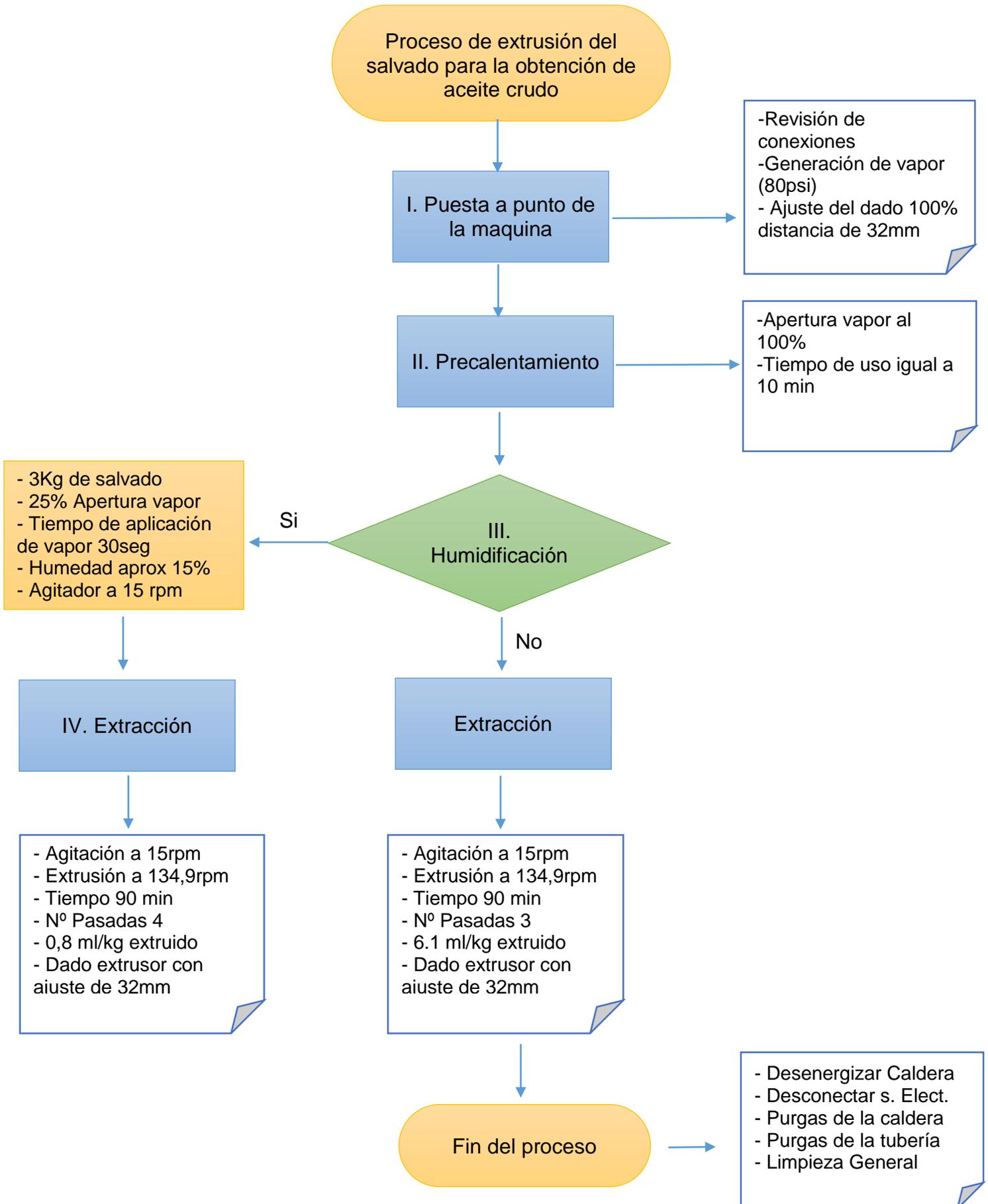
- Agregar 1kg de salvado a la tolva de recibo
- Encender el sistema de agitación el cual posee una velocidad de agitación de 15 rpm
- Quitar la platina de la parte inferior de la tolva para permitir que el salvado pase a la zona de extrusión
- Recibir y separar la hojuela acompañada de restos de salvado que van cayendo después de la extrusión
- Estar pendiente además del momento en que empieza a verter aceite para Al momento en que pasa la totalidad del salvado a través del sistema rápidamente se debe pulverizar manualmente la hojuela obtenida.
- Nuevamente añadir el salvado a la tolva de recibo.
- Se evidencia que a medida que el salvado se va secando empieza a verter mayor cantidad de aceite la cual se observa como gotas finas que bajan del dado extrusor.
- Es necesario realizar mínimo 3 pasadas al salvado para lograr 6,1ml/kg de aceite.
- Para la extracción del salvado se aconseja que el proceso lo realicen dos personas.

### **Etapa III: Fin de extracción:**

Al momento de terminar la extracción se debe dejar el laboratorio en las condiciones que se encontraba antes de iniciar el proceso de extracción

- Al terminar la extracción se debe en primer lugar desconectar el sistema eléctrico de la maquina extrusora
- Enseguida se debe apagar el quemador y desenergizar el sistema eléctrico
- Por seguridad se deben realizar las purgas de condensados a la caldera
- Se cierra la válvula de cheque principal
- Se deben abrir y purgar las válvulas de la tubería
- Finalmente se debe dar una limpieza general a la maquina extrusora y básicamente a todas las zonas de trabajo

## 14.2 Diagrama de flujo del proceso



## 15. ANALISIS DE RESULTADOS

- Teniendo en cuenta los resultados del análisis de materia prima se obtiene que el valor promedio de la humedad en las muestras es igual a 8.61%, 5.72% y 8.23% para los ejemplares 1, 2 y 3 respectivamente.
- En cuanto a los valores promedio de los ensayos de cenizas en base humedad se obtiene un resultado de 18,09% y 18,76% para el ejemplar 1 y el ejemplar 2 respectivamente.
- Al finalizar el proceso de extracción de aceite en el laboratorio con el uso de solventes se obtienen porcentajes de extracción iguales a 13,84%, 12,09% y 11,75% para los ejemplares 1, 2 y 3 respectivamente.
- En la prueba de índice de acidez practicado al ejemplar 1 y el ejemplar 2 en el laboratorio se obtiene que sus valores promedio hacen referencia a 28,61 y 21,68.
- Haciendo referencia a la **Tabla 25** se puede decir que el ajuste de presión al 100% brinda al sistema una mayor fricción por lo que incrementa de forma superior la temperatura promedio del tornillo en función del ajuste al 50%. En cuanto que su diferencia en grados no es superior a 2.55°C
- Teniendo en cuenta la **Tabla 24** y la **Gráfica 1** se puede decir también que la el cambio de temperatura final durante el trabajo en vacío en comparación al inicial arroja un valor de aproximadamente 7°C, siendo este un valor no significativo para la extracción de aceite.
- De la **Tabla 26**, **Tabla 27** y **Tabla 28** se puede inferir que el precalentamiento en vacío es una muy buena opción ya que eleva la temperatura del tornillo sin fin aproximadamente 65°C.
- Al observar la **Tabla 29** se define que con un ajuste del dado extrusor al 50% existe una un valor máximo de diferencias de temperatura igual a 17,4°C entre las temperaturas promedio del tornillo sin fin de la prueba realizada al 25% de apertura del válvula de vapor y la de 100% siendo esta ultima la de mayor valor. Y en la **Tabla 30** la cual estudia el ajuste al 100% del dado estos dos parámetros poseen una diferencia máxima de temperatura igual a 21,45 durante los primeros 4 minutos del ensayo.
- Haciendo un análisis de la **Gráfica 2** y **Gráfica 3** se puede decir que a mayor cantidad de vapor más rápido se calienta el sistema de extrusión, ya que durante los primeros 10 minutos de prueba existe diferencia considerable en la temperatura que brinda cada una de las aperturas de la válvula de vapor pero pasados los 10 minutos esas diferencias se hacen cada vez más

pequeñas ya que las tres temperaturas tienden a estabilizarse cerca a los 70°C.

- Haciendo un análisis de la **Gráfica 4** Se puede decir que cuando se mantiene la válvula de vapor abierta en un 100% y el motor de extrusión apagado el sistema en los primeros 10 min de funcionamiento logra temperaturas cercanas a los 80°C.
- Como análisis de la prueba 2 y 3 se puede decir que sin un elemento que tape la parte superior de la tolva el vapor tiende a subir y hay pérdidas durante el calentamiento.
- De la **Gráfica 7** se dice que al mantener el motor de extrusión encendido durante el precalentamiento pero con un ajuste del dado extrusor al 100% el tornillo sin fin logra alcanzar los 80°C de temperatura promedio durante los 10 primeros minutos de aplicación de vapor.
- En la **Tabla 35** se puede apreciar que con 25% por ciento de apertura de la válvula de vapor el porcentaje cercano al 15% de humedad se logra mediante la aplicación de vapor durante 30 segundos a una muestra de 3kg de salvado dentro de la tolva lo cual eleva su temperatura hasta los 39°C aproximadamente. También se aprecia que más de 1 min de exposición al vapor eleva por encima de 20% la humedad de las muestras.
- Observando la **Tabla 36** se aprecia nuevamente que el mejor resultado de humedad se da en la aplicación de vapor a una muestra de 3kg la cual no supera 1 minuto de aplicación. Además se descarta por completo la aplicación de vapor al 100% de apertura de la válvula ya que elevaría demasiado la humedad alcanzando valores por encima del 20%.
- En la prueba 4 La lira de vapor no humidifica el 100% de la muestra en la tolva ya que solo posee la salida de vapor una altura específica de la tolva de recibo por lo que la parte de debajo de salvado no tiene un adecuado contacto con el vapor.
- En la **Tabla 37**, y **Tabla 38** se aprecia que cuando el salvado se ingresa al sistema de extrusión con una humedad menor al 10%, este alcanza temperaturas de extrusión por encima de los 100°C y es allí donde se aumenta la cantidad de aceite extraído. Además se tiene que en la prueba 5 el tornillo sin fin alcanza en la extrusión durante los primeros 10min temperaturas cercanas a los 40°C.
- En la **Tabla 39** y la **Tabla 40** se aprecian los resultados de extracción con precalentamiento de vapor y humidificación, en esta prueba se aprecia que durante el calentamiento se logran temperaturas por encima de 75°C pero que al momento de realizar la primera pasada del salvado, el sistema

nuevamente reduce su temperatura por debajo de los 60°C.

- Debido a la textura húmeda del salvado este se extruye con mayor facilidad lo que hace que la fricción sea menor en el tornillo y se demore más el aumento de temperatura con las 3 primeras pasadas del salvado por lo que es necesario realizar hasta 4 pasadas.
- La extracción con hexano aumenta la eficiencia del proceso, pero se requiere una cantidad de 180 ml del hidrocarburo lo cual cumple el fin. lo anterior se evidencia en la **Tabla 41**.

## 16. CONCLUSIONES

- Se logra extraer aceite crudo contenido en el salvado de arroz bajo el método de extrusión. La extracción de mayor rendimiento se realizó con salvado el cual ingresó al sistema con una humedad del 8.9% y una temperatura de 21,9°C. La velocidad de extrusión fue de 134,9rpm, la de agitación igual a 15 rpm. El proceso de extrusión se realizó durante 90 minutos y consistió en 3 pasadas del salvado donde el tornillo alcanzó una temperatura máxima de 106°C. la cantidad de aceite extraída fue de 6,1ml/kg de salvado extruido sin la adición de solventes.
- La extracción de aceite se empieza a evidenciar cuando el sistema de extrusión alcanza los 80°C y medida que se eleva esa temperatura visualmente se observa una mayor cantidad de aceite extraído.
- A medida que el salvado pasa por el sistema de extrusión reduce su humedad lo que lo vuelve una materia prima cada vez más dura y de mayor temperatura, esto a su vez aumenta la fricción en el sistema. Es por lo anterior que se evidencia mayor cantidad de aceite extraído a partir de la segunda y tercer pasada.
- El proceso de calentamiento por medio del flujo de vapor durante 10 minutos, con una apertura de la válvula de globo igual al 100% y a una presión de 80psi resulta viable ya que eleva la temperatura del sistema hasta aproximadamente los 80°C; A diferencia del calentamiento por fricción que en 40 min de extrusión produce un incremento en la temperatura cercano a los 75°C.
- Las muestras de salvado humidificadas aproximadamente al 15% poseen temperaturas de entre 38 - 48°C que al momento de ingresar al sistema de extrusión previamente precalentado reducen rápidamente la temperatura de este, desde 80°C hasta los 40°C en la primera pasada. Además generan menos fricción de extrusión por lo que se requieren más pasadas de la materia prima para elevar su temperatura y la del sistema, lo que aumenta el tiempo de trabajo y el consumo energético de aproximadamente 4,61 kWh.
- Los ensayos realizados con humedades superiores al 14% generan grumos de salvado en la tolva de recibo, que a su vez producen estancamientos de materia prima lo cual dificulta la extrusión del mismo. Por otro lado los ensayos que involucran salvado con humedad cercana al 9 % brindaron un mejor calentamiento del sistema a menor tiempo aumentando el rendimiento.
- El ajuste del dado extrusor al 100% presenta mejores condiciones de trabajo ya que la fricción del salvado se hace mayor aumentando igualmente la temperatura de la materia prima y el sistema. En cuanto al ajuste del dado al 50% el salvado es extruido con mayor facilidad por lo que la temperatura aumenta en menor proporción durante las primeras pasadas del salvado,

pero cuando se realiza la tercera pasada de este, el dado no soporta la presión del sistema y es expulsado de su lugar.

- Para obtener el mayor rendimiento de extracción se fijan los siguientes parámetros del proceso de extrusión. Es necesario realizar un precalentamiento del sistema mediante el flujo de vapor saturado a 80psi el cual pasa a través de la válvula de flujo la cual posee un 100% de apertura durante 10 minutos. La velocidad de rotación del sin fin es igual a 134,9 rpm, la velocidad angular de agitación es de 15rpm , el ajuste del dado extrusor se fija a una distancia de 32mm y se deben realizar mínimo 3 pasadas de la muestra de salvado para elevar la temperatura del sistema y obtener mayor cantidad de aceite.
- La extracción con solventes en este caso hexano aumenta considerablemente la extracción del aceite de salvado pero no se recomienda para fines alimenticios ya que este componente químico hace parte de la familia de hidrocarburos, por lo cual contamina el salvado y lo obliga a un proceso posterior para extraer el también llamado éter de petróleo.

## 17. TRABAJOS FUTUROS

- Rediseñar la morfología del agitador de tal manera que entre en contacto con el salvado en la parte inferior de la tolva, debido a que actualmente se presentan atascos de materia prima húmeda, ya que el agitador es muy corto en su longitud y no resuelve este problema.
- Rediseñar la flauta de vapor, se hace necesario un rediseño de este componente ya que actualmente el salvado solo entra en contacto con el vapor en una única zona y altura de la tolva de recibo. Se podría desarrollar un nuevo componente que ingrese vapor a la tolva a diferentes alturas de la misma, de esta manera el proceso de humidificación se mejora
- Diseñar un componente desmontable (tipo cubierta) en la parte superior de la tolva que impida la pérdida de vapor durante el calentamiento del sistema de extrusión.
- Rectificación de la rosca interna y externa que posee el dado extrusor para de esta manera mejorar el ajuste de este componente evitando que la presión durante el trabajo lo expulse de su lugar.

## 18.REFERENCIAS

- [1] DANE, «Boletín Técnico - Encuesta Nacional De Arroz Mecanizado II Semestre 2017,» 9 de Febrero , Bogota DC, 2017.
- [2] I. A.-I. y. I. U. d. B. J. T. L. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, «ESTABILIZACIÓN Y USOS POTENCIALES DEL SALVADO DE,» 2010.
- [3] \*. M. A. Édgar M. Vargas S., «Procesos de estabilizacion de salvado de arroz Colombiano para su aprovechamiento industrial».
- [4] I. A. J. M. M. I. C. Accoroni., «Afrecho de Arroz: Un producto para Agregar Valor,» INTA PNA, 2016.
- [5] UA, «Extrusion,» 2010.
- [6] L. E. E. Llopart, «Efectos de las condiciones de extrusión en las propiedades fisicoquímicas y funcionales de productos extrudidos de sorgo integral de bajo contenido de taninos,» UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL , 2011.
- [7] I. D. Franco, «Aceite de salvado de Arroz,» Área de Industria Agroalimentaria - Dirección de Promoción de la Calidad de Productos Agrícolas y Forestales, 2010.
- [8] I. -. DANE, «Mercados Inteligentes de Proexport,» 2007.
- [9] S. M. S. M. Q. N. M. Sarwar MH, « The importance of cereals (Poaceae: Gramineae),» 2013.
- [10] W. S. M. F. H. G. Gani A, «Whole-grain cereal bioactive compounds and their health benefits,» J Food Process Technol, 2012.
- [11] F. E. p. e. D. d. I. N. Animal, «Salvado de arroz blanco rico en grasa (17% EE),» 2017.
- [12] V. V. H. D. V. A. S. V. D. Greyt, «Influence of chemical refining on the major,» Journal of American Oil Chemist's Society, 2006.
- [13] C. Balachandran, P. T. S. Mayamol, D. Sukumar y A. Sundaresan, «An ecofriendly approach to process rice bran for high quality rice bran oil using supercritical carbon dioxide for nutraceutical applications,» 2008.
- [14] «Rice bran oil and oryzanol reduce plasma lipid and lipoprotein cholesterol concentrations and aortic cholesterol éster accumulation to a greater extent than ferulic acid in hypercholesterolemic hamsters,» Journal of Nutritional, 2007.
- [15] «Effect of refining of crude rice bran oil on the retention of oryzanol in the refined oil,» Journal of American Oil Chemists' Society, 2001.
- [16] M. H. Bruscatto, V. R. Pestana-Bauer, J. K. Rutz y R. C. Zambiasi, «Caracterización del Aceite de Salvado de Arroz,» 2012.
- [17] P. V.R., «Evaluación de la calidad del aceite de arroz y del contenido de tocoferoles y orizanoles durante el proceso de refinación,» Universidade Federal de Pelotas, 2007.
- [18] F. Orthoefer, «Rice bran oil: healthy lipid source,» Food Technology, 1996.

- [19 T. Wilson, R. J. Nicolosi, B. Woolfrey y D. Kritchevsky, «Ricebran oil and oryzanol reduce plasma lipid and lipoproteincholesterol concentrations and aortic cholesterol éster accumulation to a greater extent than ferulic acid in hypercholesterolemic hamsters,» *Journal of Nutrition Biochemistry*, 2007.
- [20 B. De y D. Bhattacharyya, «Physical refining of rice bran oil in relation to degumming and dewaxing,» *Journal of American Oil Chemists'Society*, 1998.
- [21 A. G. G. Krishna, K. H. Hemakumar y S. Khaton, «Study on the composition of rice bran oil and its higher free fatty,» *Journal of American Oil Chemists' Society*, 2006.
- [22 R. Antoniassi, W. Esteves y A. Meirelles, «Pretreatment of corn oil for physical refining,» *Journal of American Oil Chemists' Society*, 1998.
- [23 B. G. Guerrero y A. F. Quintero, «Estabilización del salvado de arroz: Tratamiento térmico por extrusión para inactivación enzimática (lipasas),» *Revista de la Asociacion Colombiana de Ciencia y Tecnologia de Alimentos*, 2015.
- [24 B. Escamilla-Castillo, «Extrusion deactivation of rice bran enzymes by pH modification,» *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2006.
- [25 K. D, «Quality of bran oil as influenced by the conditions of storage of rice bran,» *Journal of food science and technology*, 1965.
- [26 C. M, «Evaluación de la estabilización del salvado de arroz y extracción de su aceite por métodos convencionales,» *Universidad de la sabana*, 2009.
- [27 N. Lakkakula, M. Lima y T. Walker, «Rice bran stabilization and rice bran oil,» 2004.
- [28 D. Martin, S. Godber, S. Gladness, L. Verma y W. J., «Optimizing rice bran stabilization by extrusion cooking,» *Louisiana Agriculture*, 1993.
- [29 I. J. M. Gutierrez, «OBTENCIÓN Y EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN DEL ACEITE CRUDO DE SALVADO DE ARROZ, PARA LA IMPLEMENTACIÓN COMO BIOCOMBUSTIBLE,» *Ibague* , 2015.
- [30 U. N. A. D. Mexico, «Arroz (*Oryza Sativa*),» 2013.
- [31 I. M. M. H. Sarabia, «RICE BRAN CHARACTERIZATION AND,» *Ghent*, 2012.
- [32 Z. P. KARINA, «PROCESOS DELMANEJO MECANICO DE SÓLIDOS,» *UNIVERSIDAD NACIONALAUTONOMA DE MEXICO*, 2009.
- [33 R. N. Suñiga, «Interaccion matriz alimentaria nutrientes,» *Region de los lagos, Chile* , 2011.
- [34 L. M. peña, «Termodinamica final,» *Universidad del salvador* , 2007.
- [35 A. f. Garcia, «Fisica,» 2018. [En línea]. Available: [http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica\\_/fluidos/estatica/introduccion/Introduccion.html](http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica_/fluidos/estatica/introduccion/Introduccion.html).

- [36 E. d. I. v. y. d. d. diferentes, «Desnidad,» 2017. [En línea]. Available: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/9403/4.2.%20Densidad.pdf>. [Último acceso: septiembre 26 2017].
- [37 UAM, «generalidades de los aceites comestibles,» 2013.
- [38 F. A. I. Chiñas, «Alimentos y Biotecnología,» UNAM.
- [39 I. J. F. FERNANDEZ, «PODER CALORIFICO PODER CALORIFICO,» UNIVERSIDAD TECNOLOGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL MENDOZA .
- [40 J. K. M. M. S. R. «Física,» 1989.
- [41 R. O. B, «Guia 9: calculo de potencias y factor de potencia,» Colegio Juan Piamarta .
- [42 OHAUS, «OHAUS,» [En línea]. Available: <https://mx.ohaus.com/es-MX/Products/Balances-Scales/Analytical-Balances/Adventurer-Analytical/AX224>. [Último acceso: Octubre 2018].
- [43 A. Sun, «Pirómetro,» [En línea]. Available: <http://www.all-sun.com/en/d.aspx?pht=727>. [Último acceso: 26 Septiembre 2017].
- [44 O. Arregoces, «Morfología de la planta de arroz,» Cali, 1987.
- [45 O. d. I. N. U. p. I. A. y. I. Agricultura, «Seguimiento del mercado del arroz de la FAO,» 2016.
- [46 O. d. I. N. U. p. I. A. y. I. A. Agricultura, «El arroz es vida, El arroz en el mundo,» 2004.
- [47 C. I. d. A. Tropical, Evaluación de la calidad culinaria y molinera del arroz, Cali, Valle del cauca.
- [48 AINIA, «Aplicacion de la extrusion para el desarrollo de nuevos productos,» [En línea]. Available: <https://www.ainia.es/html/i+d/fichas/extrusion.htm>.
- [49 Anonimo, «Scribd,» [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/presentation/188473965/Extruido>.
- [50 K. Z. Perez, «Scribd,» Universidad Nacional Autonoma de Mexico, 16 06 09. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/document/30029941/EXTRUSION-EN-ALIMENTOS>.
- [51 K. O. C. Miranda, «El funcionamiento de una prensa expeller es el siguiente: la materia prima es alimentada por medio de una tolva, posteriormente es transportada y comprimida por un tornillo sinfín giratorio de diámetro variado,» 2015.
- [52 K. Wark, Termodinamica.
- [53 Shigley, Diseño en ingeniería mecanica.

- [54 A. F. Q. Beatriz Guevara Guerrero<sup>1\*</sup>, «Estabilización del salvado de arroz: Tratamiento térmico por extrusión para inactivación enzimática (lipasas),» Cali-Valle del Cauca.
- [55 «Estabilización y usos potenciales de arroz colombiano para su aprovechamiento industrial sin afectar su calidad nutricional y funcional,» Bogotá, 2008-2010.
- [56 A. B. C. y. D.-. Barrera-Arellano, «Estudio comparativo de la obtención de extractos crudos y semipurificados de lipasa en salvado de arroz».
- [57 V. O. K. K. A. E. d. C. R. Ramon Oliveira, «Effects of the extraction condition on the yield and composition of rice bran oil extracted with ethanol - A response surface approach,» Brasil, 2012.
- [58 O. A. A. Hernandez, «Modelamiento, simulación y control del proceso de extracción de aceite vegetal por extrusión,» 2011.
- [59 S. K. P. P. Supakit SAYASOONTHORN<sup>1</sup>, «Rice Bran Oil Extraction by Screw Press Method: Optimum Operating Settings, Oil Extraction Level and Press Cake Appearance».
- [60 M. H. Bruscatto, V. R. Pestana-Bauer, J. K. Rutz y R. C. Zambiasi, «Caracterização do Óleo de Farelo de Arroz Refinado».
- [61 \*. G. D. J. V. A. S. R. V. a. W. D. G. V. Van Hoeda, «Influence of Chemical Refining on the Major and Minor Components of Rice Bran Oil,» Bangkok, Thailand.
- [62 \*. S. K. P. S. C. S. A.G. Gopala Krishnaa, «Effect of Refining of Crude Rice Bran Oil on the Retention of Oryzanol in the Refined Oil,» India, 2001.