



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ELÉCTRICA**

Diseño de máquina secadora de bagazo de 60 ton/h para estabilizar  
la producción de vapor en ingenio azucarero Pomalca

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

Ingeniero Mecánico Electricista

**AUTORES:**

Arosemena Garcia, Felipe Santiago (orcid.org/0000-0002-2127-3871)

Latorre Cacho, Carlos Enrique (orcid.org/0000-0002-7927-9029)

**ASESORA:**

Mg. Sovero Lazo, Nelly Roxana (orcid.org/0000-0001-5688-2258)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Modelamiento y Simulación de Sistemas Electromecánicos

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Desarrollo económico, empleo y emprendimiento

CHICLAYO – PERÚ

2023

## **DEDICATORIA**

A Dios quien ha sido mi guía, fortaleza en mi día a día, a mis padres, a mi esposa y mi hijo quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre. A toda mi familia con sus consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona.

**Arosemena García, Felipe Santiago**

Dedico esta tesis principalmente a Dios, quien me ha dado la fuerza para superar todas las dificultades. A mis padres por el apoyo que me brindaron en todo este proceso de mi educación sin descansar, a mi hijo quien es mi motor y motivo y me incentivó a seguir estudiando una carrera universitaria.

**Latorre Cacho, Carlos Enrique**

## **AGRADECIMIENTO**

Mi agradecimiento es dirigido a quien forjo mi camino y me dirigió por el sendero de la luz, a Dios, quien está en todo instante conmigo iluminando mi día a día. Mi gran estima y consideración a toda la comunidad educativa de la Universidad César Vallejo, del cual me encuentro orgulloso de pertenecer. También a mi asesora por su paciencia y apoyo durante el desarrollo de mi investigación. Mi enorme gratitud, a mis queridos padres y mi familia por su apoyo constante a lo largo de mi formación académica.

**Arosemena García, Felipe Santiago**

A mi familia, por haberme apoyado en todo momento, por el ánimo constante, a mis padres por instruirme por el camino del bien y de la verdad. A mis amigos y compañeros de trabajo por aportar y hacer que pueda concretar esta investigación. A esta casa de estudios, por acogerme y brindarme calidad educativa, a mis profesores que me instruyeron a lo largo de mi formación y en especial a mi asesor por apoyarme en esta investigación.

**Latorre Cacho, Carlos Enrique**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

|   |      |
|---|------|
| DEDICATORIA   | I    |
| AGRADECIMIENTO  | II   |
| ÍNDICE DE CONTENIDOS  | III  |
| ÍNDICE DE FIGURAS   | IV   |
| ÍNDICE DE TABLAS  | V    |
| ÍNDICE DE GRÁFICAS  | VI   |
| RESUMEN   | VII  |
| ABSTRACT  | VIII |
| I. INTRODUCCIÓN   | 1    |
| II. MARCO TEÓRICO   | 4    |
| III. METODOLOGÍA  | 12   |
| 3.1. Tipo y diseño de Investigación.  | 12   |
| 3.2. Variables, operacionalización.   | 12   |
| 3.3. Población, muestra y muestreo  | 13   |
| 3.4. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos  | 13   |
| 3.5. Procedimientos   | 14   |
| 3.6. Método de análisis de datos.   | 15   |
| 3.7. Aspectos éticos  | 15   |
| IV. RESULTADOS  | 16   |
| Objetivo específico 01: Describir el proceso de generación de vapor en el Ingenio Azucarero de Pomalca                      | 16   |
| Objetivo específico 02: Determinar los parámetros de diseño de la maquina secadora de bagazo para una capacidad de 60ton/h. | 17   |
| Objetivo específico 03: Dimensionar los componentes electromecánicos de la maquina secadora de bagazo                       | 18   |
| Objetivo específico 04: Realizar una evaluación técnica y económicamente del diseño.  | 19   |
| V. DISCUSIÓN  | 21   |
| VI. CONCLUSIONES  | 24   |
| VII. RECOMENDACIONES  | 25   |
| REFERENCIAS   | 26   |
| ANEXOS  | 30   |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Bagazo de caña de azúcar.....  | 6  |
| Figura 2. Almacenaje del bagazo.....   | 7  |
| Figura 3. Curva de secado.....   | 8  |
| Figura 4. Secador rotatorio.....   | 10 |
| Figura 5. Caldera pirotubular y acuotubular. ....  | 11 |
| Figura 6. Diagrama de flujo de fabricación de azúcares .....                             | 34 |
| Figura 7. Tabla, propiedades de los gases de combustión. ....                            | 35 |
| Figura 8. Tabla, agua saturada a diferentes temperaturas.....                            | 36 |
| Figura 9. Tabla, agua saturada a diferentes temperaturas.....                            | 36 |
| Figura 10. Esquema de la generación de vapor en el Ingenio Azucarero de<br>Pomalca ..... | 37 |
| Figura 11. Análisis comparativo, Caldera No 01 c/s secador de bagazo .....               | 62 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Capacidad nominal y generación actual de vapor.....             | 16 |
| Tabla 2. Parámetros de diseño del secador.....                           | 17 |
| Tabla 3. Diseño del secador.....   | 18 |
| Tabla 4. Comparativo antes y después de la mejora .....                  | 19 |
| Tabla 5. Matriz operacional. ....  | 30 |
| Tabla 6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....            | 32 |
| Tabla 7. Instrumento de recolección de datos – Ficha de registro .....   | 33 |
| Tabla 8. Análisis del bagazo.....  | 38 |
| Tabla 9. Capacidad de generación de las Calderas.....                    | 39 |
| Tabla 10. Producción de bagazo y temperatura de gases de Calderas. ....  | 41 |
| Tabla 11. Parámetros de diseño del secador.....                          | 42 |
| Tabla 12. Parámetros de diseño del secador.....                          | 42 |
| Tabla 13. Características del equipo secador .....                       | 51 |
| Tabla 14. Costo de mano de obra.....                                     | 57 |
| Tabla 15. Costos fijos de producción anual.....                          | 57 |
| Tabla 16. Costos de inversión .....                                      | 58 |
| Tabla 17. Producción de bagazo.....                                      | 58 |
| Tabla 18. Análisis financiero.....                                       | 59 |
| Tabla 19. Análisis comparativo de la Caldera c/s secador de bagazo. .... | 60 |

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

|  |    |
|--|----|
| Gráfica 1. Inestabilidad del vapor y temperatura .....                   | 16 |
| Gráfica 2. Producción de bagazo ton/h y temperatura de los gases .....   | 17 |
| Gráfica 3. Análisis comparativo de la Caldera c/s secador de bagazo..... | 61 |
| Gráfica 4. Plano de secadora de bagazo. ....                             | 61 |

## RESUMEN

Mediante la presente investigación, se realizará el diseño de una secadora de bagazo de 60ton/h para estabilizar la producción de vapor en ingenio azucarero Pomalca. La problemática actual, es la inestabilidad de generación de vapor en estudio, debido al alto contenido de humedad en el bagazo.

Esta investigación es de tipo aplicada, el desarrollo de esta investigación se utilizaron técnicas de recolección de datos como observación y análisis documental. Para dar cumplimiento al objetivo general se desarrollaron los siguientes objetivos específicos:

El proceso de generación de vapor tiene una capacidad actual de 76.8 ton/h. Los parámetros del equipo secador son los gases de escape de la Caldera, 57.9 ton/h y una temperatura de 161.59 °C, que actuaran como fluido secante. El flujo másico de bagazo es de 53 ton. Las dimensiones de los componentes electromecánicos del equipo secador son un diámetro de 3 m y una longitud de 7 m para una capacidad de 66.67 m<sup>3</sup>. Con esto se pretende aumentar el poder calorífico del bagazo en un 27% al reducir la humedad de 50 a 40%, lo que aumentó la eficiencia de la Caldera de 65% a 75%.

Palabras clave: Secador de bagazo, humedad, gases de combustión, calderas.



## ABSTRACT

Through this research, the design of a 60ton/h bagasse dryer will be carried out to stabilize steam production in the Pomalca sugar mill. The current problem is the instability of steam generation under study, due to the high moisture content in the bagasse.

This research is of an applied type, and data collection techniques such as observation and documentary analysis were used in its development. To comply with the general objective, the following specific objectives were developed: The steam generation process has a current capacity of 76.8 ton/h. The parameters of the dryer equipment are the exhaust gases of the boiler, with a mass flow of 57.9 ton/h and a temperature of 161.59 °C, which will act as a drying fluid. The mass flow of bagasse is 53 ton. The dimensions of the electromechanical components of the dryer equipment are a diameter of 3 m and a length of 7 m for a capacity of 66.67 m<sup>3</sup>. This is intended to increase the calorific value of the bagasse by 27% by reducing the moisture from 50 to 40%, thereby increasing the efficiency of the boiler from 65% to 75%.

Keywords: Bagasse dryer, humidity, combustion gases, boilers.

## I. INTRODUCCIÓN

El bagazo es el subproducto sólido que se obtiene tras el proceso de molienda en un ingenio azucarero. Está compuesto por partículas de materia vegetal medulosa y celulosa, junto con jugo de caña de azúcar. El tamaño de las partículas varía, desde 2,5 cm hasta 5 cm de longitud, y también incluye unas partículas pequeñas conocido como bagacillo. El tamaño dependerá del grado de preparación de la caña antes de la molienda.

Una pila suelta de bagazo tiene una densidad de volumen de 80 – 120 kg/m<sup>3</sup>. Cuando se apila, puede alcanzar de 160 – 250 kg/m<sup>3</sup> y puede comprimirse hasta 720 kg/m<sup>3</sup>.

Es común utilizar el bagazo fresco de los molinos de trapiche como combustible en las calderas de vapor, que proporcionan casi toda la energía térmica para el proceso de cocimiento y cristalización del azúcar. Este bagazo suele contener entre un 48 y un 54% de humedad, lo que afecta la calidad del combustible. Es importante la humedad del combustible para calcular el rendimiento del generador de vapor. (Alderetes, 2016).

Dado que el bagazo es un material de desecho, resulta un combustible económico que contribuye a la economía del proceso de elaboración del azúcar de caña, a pesar de su bajo PCI 10.5 kJ/gr a un 50% de humedad y 19,4 kJ/gr cuando está seco. Las empresas azucareras de la región Lambayeque emplean como combustible el bagazo para alimentar los hornos de las calderas, las cuales tienen un nivel elevado de humedad provocando una combustión incompleta del bagazo, haciéndose necesario reducir el nivel de humedad del bagazo, sacarle un mayor rendimiento al bagazo, que signifique una mayor producción de vapor en las calderas y permita un ahorro considerable para la empresa.

El ingenio azucarero de Pomalca, está ubicado en la carretera Chiclayo – Chongoyape km 7, en el distrito de Pomalca. Actualmente tiene un sistema de cogeneración de 4 Calderas acuotubular modelo Sterling.

El bagazo saliendo en las condiciones que hemos mencionado en el ítem anterior con las humedades altas nos va a crear problemas en la combustión

en el hogar de las calderas ya que para que ocurra ésta primero el bagazo deberá eliminar el agua que lleva consigo, luego deberá calentarse hasta llegar a la temperatura de inflamación, lo que significa una pérdida de tiempo para el inicio de ésta influyendo en la ineficiencia de la generación de vapor en la caldera, por lo que es necesario para mejorar esta situación contar con un secador de bagazo.

Presentada la problemática, formulamos el problema, con la siguiente pregunta: ¿Será factible reducir el nivel de humedad del bagazo proveniente de molinos de trapiche mediante el diseño de un secador de bagazo en las agroindustrias azucareras?

Esta investigación, se justifica técnicamente ya que, mediante el diseño de un secador de bagazo, se podrá reducir el alto contenido de humedad en el bagazo y así poder aprovechar mejor su poder calorífico, desarrollando la ingeniería acorde a la necesidad del área de calderas.

En cuanto a la justificación social, el diseño del secador de bagazo permite reducir la polución de ceniza en el aire, por lo tanto, reducir la contaminación que genera, mejorando el nivel de confort y las condiciones en el ambiente de trabajo del área de calderas, en donde normalmente los trabajadores son afectados por el material no combustionado proveniente del bagazo húmedo utilizado en calderas.

En cuanto a la justificación económica, si se reduce el contenido de humedad del bagazo, la eficiencia del combustible en la caldera aumenta, incrementando la eficiencia de las calderas, lo cual se ve reflejado en el ahorro del consumo de bagazo, representando ingresos económicos ya que este excedente de bagazo se podrá vender.

El objetivo general para esta investigación es diseñar una maquina secadora de bagazo de 60ton/h para estabilizar la producción de vapor en Ingenio Azucarero Pomalca.; donde se desarrollaron los siguientes objetivos específicos, en primer lugar, describir el proceso de generación de vapor en el Ingenio Azucarero de Pomalca, determinar los parámetros de diseño de la maquina secadora de bagazo para una capacidad de 60ton/h. Luego,

dimensionar los componentes electromecánicos de la maquina secadora de bagazo. Por último, realizar una evaluación técnica y económicamente del diseño.

Con el desarrollo de la investigación, se espera como resultado obtener el diseño de una maquina secadora de bagazo, el cual estabilizará la producción de vapor.

## II. MARCO TEÓRICO

A continuación, se mencionan investigaciones relacionadas al tema de estudio:

A nivel internacional encontramos a (Rodríguez, 2019), cuya investigación tuvo como objetivo diseñar un secador rotativo para arena, con un flujo másico de 30 ton/h, para dar cumplimiento a su objetivo evaluó la situación actual del proceso de la arena, estableció los parámetros básicos y operacionales del secador, y planteó alternativas para el sistema motriz del secador. Como principales resultados, se obtuvo una disminución considerable de la humedad de 9% a 2%, siendo la fuente de calor un quemador de gas natural. Se logró mitigar el impacto ambiental producto del material particulado en el proceso de secado de la arena.

Por otro lado, (Villalba & De la Peña, 2019); realizó un estudio experimental para secar el bagazo de caña para la obtención de panela, como principales resultados se determina que, para temperaturas de 35 °C y 60 °C, con una fibra que oscila entre 24 y 54 mm, se logra alcanzar humedades adecuadas para utilizarlo como combustible, o comercialización; pero lo recomendable es usar temperatura por encima de 45 °C y una fibra mayor a 24mm. Cuando la fibra es menor a 24 mm, las partículas dificultan la acción del fluido secante, lo que dificulta la eficiencia del secado.

También (Zhiguijoja, 2021); quien diseñó un prototipo de un sistema de bomba de calor para un secador rotativo de cacao, se realizaron cálculos en función a las temperaturas medidas, el secador tuvo un caudal de 540 m<sup>3</sup>/h y una masa de 15 kg de cacao, obteniendo como resultado una humedad del 10,5%. Se diseñó un bypass permitiendo una temperatura constante a la salida del condensador teniendo una variación del porcentaje del flujo de 40 a 60% y con un caudal de 540 m<sup>3</sup>/h. Se determinó el flujo másico a secar, siendo este 15 kg, dependiendo de la caída de presión calculada (600 Pascales) a vencer por el ventilador.

Así mismo (Oviedo, 2021); quien realizó la optimización de un secador rotativo a partir de logaritmos evolutivos, desarrollo un enfoque cuantitativo

con alcance exploratorio – descriptivo, considera criterios como la humedad a la salida del secador, el calor cedido hacia el ambiente y el costo operativo del equipo. Como principales resultados se determinó que la humedad se logró disminuir en un 28%, facilitando la molienda posterior al secado, también la emisión del calor disminuye en 38% manteniendo los parámetros operativos dentro de un rango aceptable.

A nivel nacional tenemos a (Maldonado, 2020); quien realizó diseño de un secador rotativo teniendo como fluido secante los gases de salida de una caldera acuotubular, su diseño lo implementó en un ingenio azucarero. Desarrollo una investigación pre – experimental aplicada, como principales resultados se dimensionó el secador rotativo en base a un análisis de transferencia de calor y masa con un calor útil de 5072,2 kW, se logró reducir la humedad final a 44.5%, logrando obtener un PCI de 8685.98 kJ/h.

Para (Garay, 2019); quien diseñó un horno rotatorio para deshumedecer la arcilla en la empresa Cosmos S.A.C. Desarrollo una investigación no experimental, como principales resultados se determinó el flujo másico del secador siendo este de 3 toneladas, se logró deshumedecer 4.1%, se calculó el tambor con un espesor mínimo de 3mm y con un eje de rotación de 400mm.

Así mismo, (Cubas, 2018), quien dimensionó un secador rotativo para deshidratar café con una capacidad de 1.5 ton. Desarrolló una investigación de forma no experimental, aplicando técnicas como la entrevista y la observación para la obtención de información. Como principales resultados la cantidad de agua evaporada 741.57 kg en un tiempo de 18 horas, obteniendo una humedad final en el café del 11%, así mismo se determinó el material para fabricación del equipo secador, siendo este de acero inoxidable, el consumo del equipo es de 18.16 KW, con un trabajo de 18 horas con 49 minutos.

El bagazo es el residuo que contiene fibra, se obtiene a la salida del último molino de trapiche, donde se extrae el jugo de la caña. El bagazo representa el 28% del peso de la caña de azúcar, constituido por agua en un 47 a 52%,

con una fibra del 45% y una pol de 1.7 a 3%, que depende las condiciones de los molinos de extracción (Rein, 2012, pág. 750). Siendo un compuesto fibroso orgánico, posee poder calorífico, dependiendo de la humedad, en la práctica real el PCI disponible para la combustión es menor al PCS (Marcelo, Bizzo, & Alamo, 2016)



**Figura 1.** Bagazo de caña de azúcar.

*Fuente: (Rico, 2016)*

El poder calorífico superior (PCS), es el calor que se obtiene durante la combustión completa del combustible, los productos de la combustión se reducen a las mismas condiciones, entre los productos de la combustión está presente el vapor de agua. (Alderetes, 2016, pág. 49)

$$PCS = 4600 - 46 * w - 13 * s = [kcal/kg]$$

Donde:

$w$  = Porcentaje de humedad en el bagazo %

$s$  = Porcentaje de sacarosa en bagazo %

Poder calorífico inferior (PCI), es el calor desprendido de combustión completa de una unidad de combustible, sin contar al calor latente de la vaporización (Laca, 2020, pág. 86).

$$PCI = 17793.9 - (50.20 * s) - (203 * w) = [kJ/kg]$$

La densidad del material hace que sea muy voluminoso por ello el almacenamiento del sobrante del bagazo representa serios problemas. Puede conservarse a la intemperie, dándole forma de un montón cónico o piramidal. Su principal uso es emplearlo como combustible, pero el exceso puede utilizarse como materia prima para la fabricación de papel (Colombres, Golato, Morales, Cruz, & Paz, 2011, pág. 6).



**Figura 2.** Almacenaje del bagazo

Fuente: (Rico, 2016)

El secado, es el proceso de extraer agua de un sólido, líquido o gaseoso. Es una operación que consiste en separar mediante procedimientos no mecánicos un líquido de un sólido que lo conserva físicamente.

El proceso de secado se encarga de extraer agua de un sólido, también puede ser líquido o gaseoso, esta operación consiste en separar el líquido de un sólido, a través de Procedimientos mecánicos. El secado de cualquier producto depende de la cantidad de material a secar, así como también de la sensibilidad del producto al calor. (Rodríguez, Carrasco, López, & Jiménez, 2018, pág. 296).

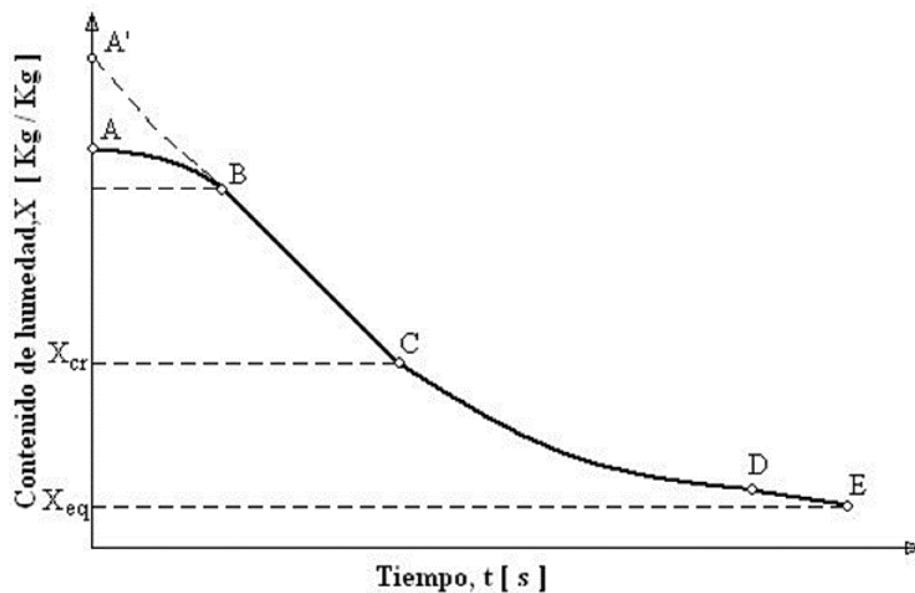
Los principios físicos del secado, comprenden la estática que está relacionado con la interacción de la sustancia con el aire o el gas hasta conseguir un estado de equilibrio, también comprenden la cinética relacionada al proceso en sí del secado teniendo en cuenta el tiempo y la velocidad del secado, en función a la temperatura y velocidad del fluido



secante, la dinámica que está basado en el cambio de propiedades del material a secar durante el proceso mismo.

Los objetivos básicos de la operación del secado, dependen del aprovechamiento que se quiere dar al material a secar, donde el sólido seco pesará menos y por lo tanto Los costos de transporte y almacenamiento disminuirán. En cuanto a la humedad que posee El bagazo como combustible está directamente relacionado con su poder calorífico, por lo tanto, el objetivo del secado en esta operación es aumentar su poder calorífico para obtener ventajas en cuanto al proceso de combustión como liberar la mayor energía del bagazo en los generadores de vapor. (Quintana, Poot, Martínez, & Castro, 2006).

El proceso de secado en la industria, básicamente es un método común donde se inserta aire caliente evaporando la humedad del material. Cuando un sólido se seca experimentalmente se obtienen datos que están asociados al contenido de humedad y el tiempo.



Fuente: (Nava, 2004)

Etapa A-B: Representa un periodo de acondicionamiento, donde las condiciones de la superficie del sólido llegan a un equilibrio con el aire de secado o fluido secante.

Etapa B-C: Representa un periodo donde la superficie del sólido permanece saturado con agua líquida, esto se debe a que el movimiento de agua desde el interior del sólido a la superficie se desarrolla al igual que la velocidad de evaporación.

Etapa C-D: En este periodo la velocidad del secado se determina por la velocidad a la cual se difunde el agua dentro del sólido hasta la superficie, reduciendo a tal grado que la superficie del sólido empieza a secarse, en el. La velocidad del secado disminuye empezando el periodo de velocidad de creciente.

Etapa E: En este periodo toda la superficie del sólido se hace insaturada empezando el ciclo del secado, donde la velocidad del movimiento de la humedad interna controla a la del secado.

El secador rotatorio está formado por un tambor hueco con un aproximado de 20 m de largo por 1.5 este está montado de forma diagonal sobre su base, lo cual está cargado con bagazo húmedo en el extremo superior con una temperatura de 25C, y en el extremo mismo por debajo del bagazo, entra el aire caliente o el fluido secante con una temperatura de 150C, es ahí donde el tambor gira lentamente para agitar El bagazo permitiendo que todos las partículas entren en contacto con el fluido caliente, asimismo El bagazo avanzará a través del movimiento del cilindro con una pendiente de 5 a 15 grados, posteriormente El bagazo seco es expulsado por gravedad hacia una faja para ser transportado y llevado a su almacenamiento. (Gálvez, 2013, pág. 65).



**Figura 3.** Secador rotatorio

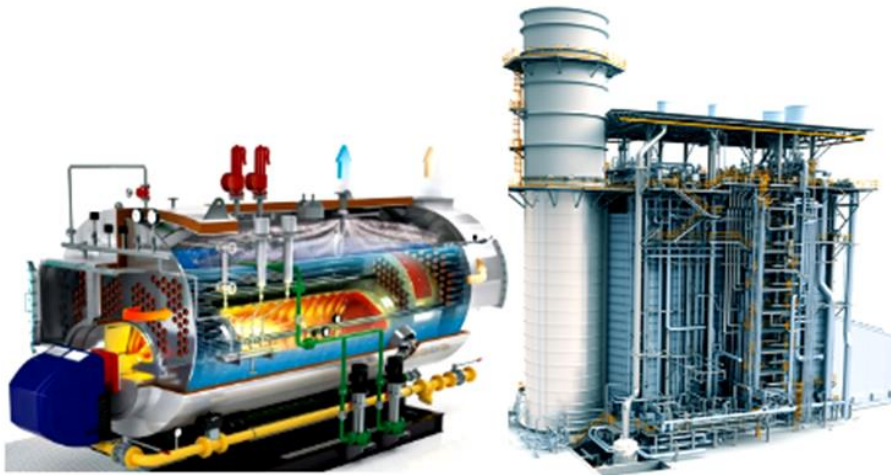
Fuente: (ENERCOM, 2020)

El fluido secante entra y se mueve saliendo por el secador por intermedio de un extractor forzado el cual toma los gases del ducto de la salida de la Caldera y los lleva al interior del cilindro luego saldrán por un ciclón de extracción de polvo donde hay bagazos que pueden escapar con ellos se liberan, salen de la atmósfera o vuelven a entrar en el conducto de la Caldera antes de ser descargados el ventilador de extracción de la Caldera no aumenta significativamente su consumo de energía debido al aumento de vapores en el aire de los fusores.

Una Caldera o generador de vapor constituye un conjunto de equipos y superficies de calentamiento, las cuales integrados entregan vapor en la cantidad necesario con los parámetros establecidos asegurando una operación continua y segura, gracias a la energía liberada en la combustión de un combustible de biomasa.

Las calderas acuatubulares tiene un paquete de tubos por los cuales circula agua al interior siendo atravesados por una corriente de gases calientes, está implementado con sobrecalentadores economizadores y calentadores de aire. Por el contrario, las calderas pirotubulares el agua pasa por el exterior de los tubos y los gases de combustión circulan por el interior. Calderas pirotubulares ocurre lo contrario, el agua pasa por el exterior de los

tubos, y los gases de combustión circulan por el interior del paquete de tubos. (Uceda, 2012, pág. 71)



**Figura 4.** Caldera pirotubular y acuotubular.

Fuente: (ENERCOM, 2020)

Los gases de combustión, representan una pérdida de calor considerable a la salida de la Caldera se estima en un 20% del total de pérdidas, esta pérdida está relacionado al ingreso del aire primario a los hornos de la Caldera con temperaturas de 27 a 35 grados. (Rodríguez, Carrasco, López, & Jiménez, 2018, pág. 296)

El proceso de la combustión se da mediante reacciones químicas de oxidación donde los combustibles como el carbono hidrógeno y azufre son mezclados con el oxígeno. La combustión se realiza a temperaturas elevadas que alcanzan hasta los 1000 grados, junto con el flujo de gases, producen residuos como las cenizas en quemados escorias y el hollín. (Muñoz, 2015, pág. 11)

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y diseño de Investigación.

**Tipo de investigación:** Según (RENACYT, 2021), esta investigación es de tipo aplicada – descriptiva.

**Diseño de la investigación:** En este caso de estudio se consideró no experimental, dentro del método científico cuantitativo.

#### 3.2. Variables, operacionalización.

**Variante independiente:** Diseño de máquina secadora de bagazo

**Definición conceptual:** Gálvez (2013), Un secador de bagazo es un cilindro que rota sobre sus cojinetes con una pendiente respecto a la horizontal, la carga húmeda entra en la parte superior del secador, la dirección del fluido secante a través del tambor rotativo relativo a las propiedades del material a secar en el proceso, se suele utilizar una corriente en paralelo para calentar materiales debido al rápido enfriamiento del gas durante la evaporación de la superficie.

**Definición operacional:** (Wheatley, y otros, 2020), afirman que la variable máquina secadora de bagazo será medida por las dimensiones: Flujo másico de gases, flujo másico de bagazo, rendimiento.

**Variable dependiente:** Producción de vapor

**Producción de vapor:** Golato Marcos et al. (2008), La generación de vapor es producir vapor a una presión mayor a la atmosférica, aprovechándose la energía cubriendo la necesidad de la industria.

**Definición operacional:** Troconis (2001) identifica como variables de medición la producción de vapor de cada una de las calderas, flujo de gas combustible, flujo de aire, temperatura de vapor, presión de vapor.

### 3.3. Población, muestra y muestreo

**Población:** Se consideró como población la producción de bagazo / día, del ingenio azucarero.

**Muestra:** Se consideró como población la capacidad del secador de bagazo, que es de 60 ton/h.

**Muestreo:** El muestreo fue no probabilístico intencional, siendo los investigadores quienes seleccionaron las muestras subjetivamente para el estudio.

**Unidad de análisis:** La unidad de análisis para el estudio comparativo del bagazo en una proporción de 1 ton/h.

### 3.4. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

**Técnicas de recolección de datos:**

- **Observación:** Se tomaron datos de las calderas como humedad del bagazo a la entrada, temperatura y presión de vapor generado, cantidad de ceniza, temperatura de gases a la salida de la chimenea.

**Instrumentos de recolección de datos:**

- **Guía de observación**
  - Análisis de la humedad del bagazo.
  - Análisis de la temperatura y presión de vapor.
  - Análisis de la cantidad de ceniza.
  - Análisis de la temperatura de gases a la salida de la chimenea.

**Validez y confiabilidad:**

- **Validez:** La presente propuesta en esta investigación es revisada por especialistas, por lo tanto, expresa la correcta interpretación de los resultados obtenidos.
- **Confiabilidad:** Esta investigación obtuvo resultados coherentes y consistentes.

### 3.5. Procedimientos

Para la recolección de información se aplicó lo siguiente:

- Disposición de bagazo: Guía de observación para la cuantificación de toneladas por hora de bagazo (Ton/h).
- Poder Calorífico Inferior (PCI): Guía de observación para la cuantificación del PCI (kJ/kg).
- Poder Calorífico Superior (PCS): Guía de observación para la cuantificación del PCS (kJ/kg).
- Porcentaje de humedad: Guía de observación para la cuantificación de la humedad del bagazo (%).
- Flujo de vapor: Guía de observación para la cuantificación de la generación de vapor (kg/h).
- Presión: Guía de observación para la cuantificación de la presión de vapor (kPa).
- Temperatura: Guía de observación para la cuantificación de la temperatura de vapor (°C).

Posteriormente, con la información obtenida, se procedió a la manipulación de variables aplicando métodos no experimentales, como el cálculo teórico de la variación del vapor generado posterior al secado del bagazo.

Para el desarrollo de la presente investigación se realizaron las coordinaciones con el Ingenio Azucarero Pomalca, el cual brindó la información técnica de los parámetros aplicados.

### **3.6. Método de análisis de datos.**

Para el análisis de datos, se tiene la información recopilada y procesada en tablas y gráficos. Los hallazgos de la investigación se presentaron y desarrollaron teniendo en cuenta el orden de los objetivos específicos con la finalidad de dar cumplimiento al objetivo general de la investigación, para el ordenamiento procesamiento y cálculos del diseño del secador se utilizó el software Microsoft Excel.

### **3.7. Aspectos éticos**

Se respetó la propiedad intelectual. Así como la protección de la identidad de aquellos que aportaron y participaron en esta investigación.



#### IV. RESULTADOS

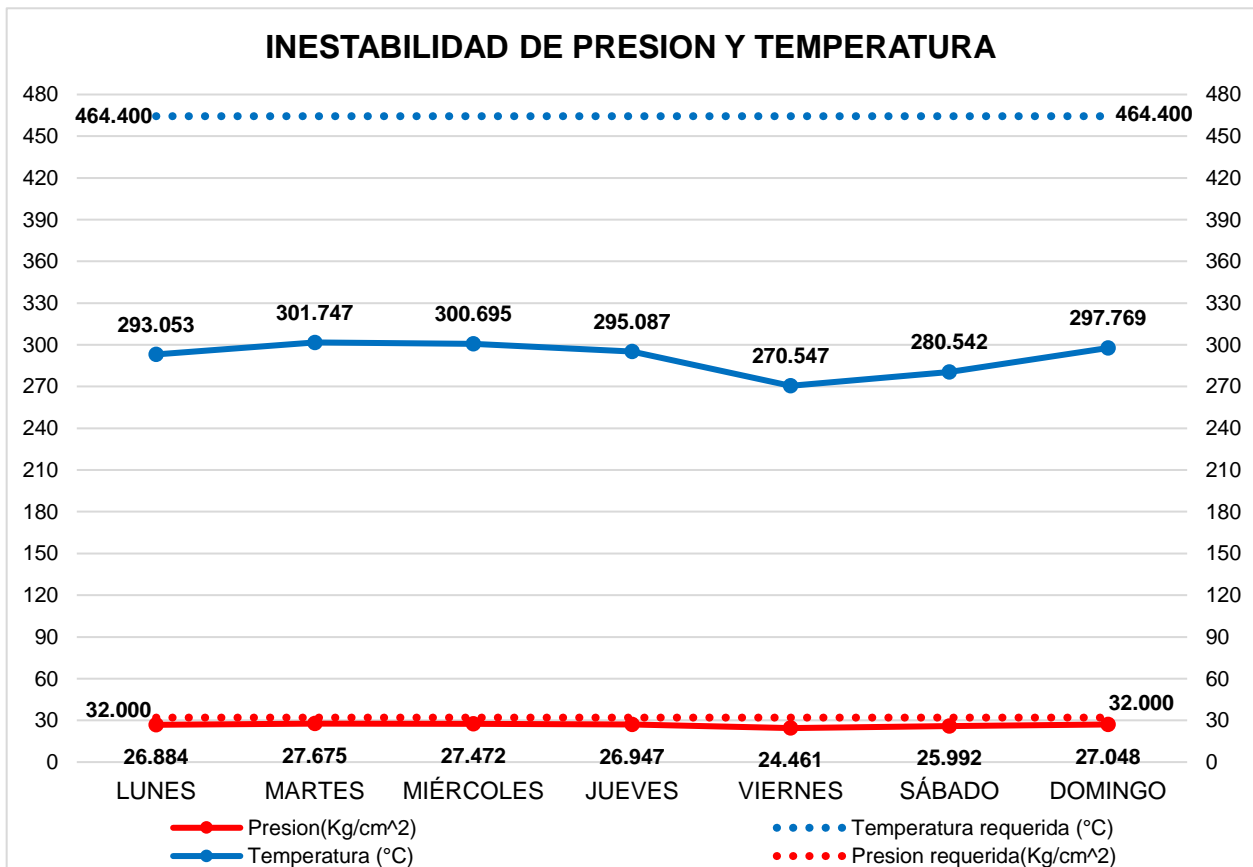
**Objetivo específico 01:** Describir el proceso de generación de vapor en el Ingenio Azucarero de Pomalca

**Tabla 1.** Capacidad nominal y generación actual de vapor.

| Caldera                | Capacidad Nominal | Generación de vapor Actual |
|------------------------|-------------------|----------------------------|
| Nº1                    | 25 ton/h          | 21.04 ton/h                |
| Nº2                    | 25 ton/h          | 20.06 ton/h                |
| Nº4                    | 25 ton/h          | 16.72 ton/h                |
| Nº6                    | 32 ton/h          | 19.00 ton/h                |
| Generación del sistema | 107 ton/h         | 76.81 ton/h                |

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfica 1.** Inestabilidad del vapor y temperatura



Fuente: Departamento de Calderas

### Interpretación

Se determinó el promedio actual de generación de vapor en las caderas cuyo valor es 76 ton/h, teniendo una capacidad instalada de producción de 107 ton/h. Las condiciones de generación actual de vapor presentadas en la tabla 02, son producto de la inestabilidad en la presión y temperatura que se muestra en el gráfico 01, donde se observó valores máximos de 27.6 kg/cm<sup>2</sup> y 301°C, y valores mínimos de 24.4 kg/cm<sup>2</sup> y 270°C, que son inferiores a los valores requeridos de 32 kg/cm<sup>2</sup> para presión y 464.4°C para la temperatura.

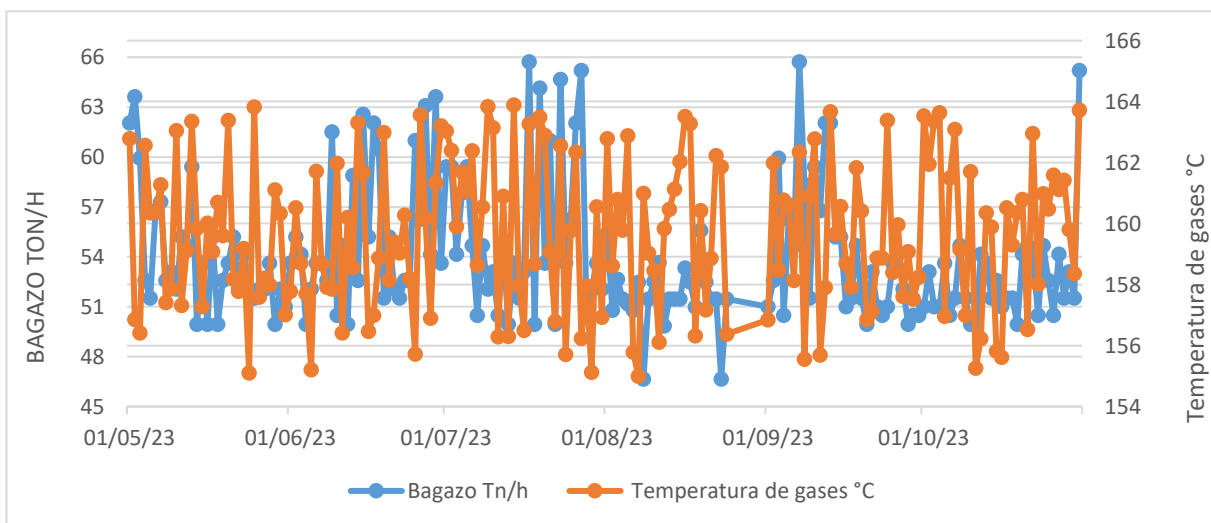
**Objetivo específico 02:** Determinar los parámetros de diseño de la máquina secadora de bagazo para una capacidad de 60ton/h.

**Tabla 2.** Parámetros de diseño del secador

| Parámetro                       | Valor  | Unidad |
|---------------------------------|--------|--------|
| Flujo másico de bagazo          | 53.00  | ton/h  |
| Consumo de bagazo en la caldera | 11.88  | ton/h  |
| Relación gases / combustible    | 04.88  | kg/kg  |
| Flujo másico de gases           | 57.97  | ton/h  |
| Temperatura de gases            | 161.59 | °C     |
| Humedad del bagazo              | 50.00  | %      |

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfica 2.** Producción de bagazo ton/h y temperatura de los gases



Fuente: Departamento de Calderas, Ingenio azucarero de Pomalca.

### Interpretación

Uno de los parámetros más importantes para el diseño del secador es el flujo másico de bagazo (57.97 ton/h), proveniente de la molienda de caña de azúcar con una humedad del 50%, este secador utilizará como fluido secante los gases de combustión (57.97 ton/h), de la Caldera 01, la cual consume 11.88 ton/h de bagazo, estos gases de salida tienen una temperatura de 161.6 °C. la tabla 05, muestra de manera aleatoria la producción de bagazo de diferentes días, así como temperatura de los gases de escape de la caldera 01.

**Objetivo específico 03:** Dimensionar los componentes electromecánicos de la maquina secadora de bagazo

**Tabla 3.** Diseño del secador

| Parámetro                                | Valor    | Unidad         |
|--|----------|----------------|
| Diámetro del secador                     | 3.00     | m              |
| Longitud del secador                     | 7.00     | m              |
| Espesor del cuerpo del secador           | 6.35     | mm             |
| Capacidad del tambor secador             | 66.67    | m <sup>3</sup> |
| Material del tambor secador              | ASTM     | A36            |
| Número de aletas del secador             | 20.00    | pieza          |
| Peso de las aletas del secador           | 1,535.00 | kg             |
| Velocidad de rotación del tambor secador | 3.00     | rpm            |
| Velocidad periférica del tambor secador  | 0.46     | m/s            |
| Carga rotatoria del secador              | 4,49     | kg             |
| Eficiencia del secador                   | 90.00    | %              |
| Potencia del secador                     | 68.00    | kW             |
| Potencia del motor para el secador       | 100.00   | hp             |

Fuente: Elaboración propia.

### Interpretación

Se realizaron los cálculos respectivos para el diseño de secador, para hallar el diámetro (3m), se tuvo en cuenta el flujo másico de fluido secante, así

mismo para la longitud del secador se tuvo en cuenta la razón longitud diámetro que es 2.33, por lo que la longitud se consideró 7 metros para el secador gracias a estos datos se calculó el espesor de secador siendo ese 6.35 y el material de la plancha será ASTM A36, en interior de tambor se instala la maletas para levantar y dejar caer el bagazo a través de la corriente de paso por el cilindro donde entra en contacto completamente con la acción secadores de los gases, se colocarán 20 aletas con un peso de 1.5 kilogramos cada uno, con este dato y sumado el peso del bagazo se determinó la carga rotatoria del secador siendo esta 4,492 kg, para accionar este secador se necesitará una un motor de 100 HP de potencia, este tipo de secado rotatorio tendrá una eficiencia del 90%.

**Objetivo específico 04:** Realizar una evaluación técnica y económicamente del diseño.

**Tabla 4.** Comparativo antes y después de la mejora

| Parámetros                      | Antes    | Después  | Unidad |
|---------------------------------|----------|----------|--------|
| Consumo de bagazo en la caldera | 11.87    | 8.29     | ton/h  |
| Humedad del bagazo              | 50.00    | 40.00    | %      |
| Poder calorífico inferior PCI   | 7,499.82 | 9,529.82 | kJ/kg  |
| Calor transmitido al vapor      | 4,924.82 | 7,112.90 | kJ/kg  |
| Flujo masico de Gases           | 57.99    | 40.50    | ton/h  |
| Pérdida de calor en los gases   | 909.60   | 789.90   | kJ/kg  |
| Eficiencia de la caldera        | 65.00    | 75.00    | %      |

Fuente: Elaboración propia.

### Interpretación

Gracias al diseño este secador de bagazo rotativo, se logró disminuir en un 10% el contenido de humedad del bagazo, lo que significa un aumento del 27% del PCI, aumentando también el calor transmitido al vapor por la combustión del bagazo, una mejora importante es la reducción del 15% la

pérdida de calor en los gases, así mismo el rendimiento de la Caldera aumento de 65% a 75%.

## V. DISCUSIÓN

Se planteó como primer objetivo describir el proceso de generación de vapor en el Ingenio azucarero de Pomalca, para ello se calculó el flujo máximo de las cuatro calderas que conforman el sistema de generación de vapor, teniendo una capacidad de generación de 76.8 toneladas hora de vapor, el problema de la generación es la inestabilidad de presiones de temperatura a causa del grado de humedad del bagazo que oscila entre el 48% y el 52%, se tomaron en cuenta los valores registrados del último año, donde se observó valores máximos de 27.6 kg/cm<sup>2</sup> y 301 °C, estando muy por debajo de los parámetros establecidos que son 32 kg/cm<sup>2</sup> y 464 °C respectivamente.

Para el segundo objetivo específico que fue determinar los parámetros de diseño de la máquina secadora de bagazo, se tuvo en cuenta los aportes de (Garay, 2019); quién diseñó un horno rotatorio para deshumedecer arcilla, estableciendo como parámetros principales en su diseño el flujo másico del material a secar, siendo este 3 toneladas, así mismo otro parámetro importante en su diseño fue el flujo másico del fluido secante, siendo este 4.7 toneladas, este fluido secante son los gases de combustión del horno de quemado de ladrillos este se aprovechará para deshumedecer el arcilla. Considerando esto en esta investigación se consultó la producción de bagazo, al departamento de calderas, siendo estas 53 toneladas hora. Asimismo, el fluido secante para este diseño serán los gases de combustión o de salida de la Caldera 01, para calcular el flujo masico de los gases, se tuvo en cuenta la relación gases combustible, que es 4.88, y el consumo de la Caldera que es 11.8 toneladas hora, 57.7 toneladas hora de gases, con una temperatura de 161.59C.

Otro parámetro importante para el diseño es el contenido de humedad del material a secar (Maldonado, 2020), en su investigación para realizar el dimensionamiento y selección de un secador rotativo de bagazo a partir de gases residuales de combustión logró, menciona que la humedad del bagazo es un parámetro importante para calcular cuánta agua va a evaporarse en el secador rotativo, él tuvo como humedad inicial del bagazo 50%. Se consideró

también este parámetro en esta investigación, para ello se consultó los datos de laboratorio del Ingenio, donde es del 50%.

Se planteó el tercer objetivo específico dimensionar los componentes electromecánicos de la máquina secadora de bagazo, se tuvo en cuenta lo dispuesto por (Cubas, 2018), quien diseñó un secador rotativo para una capacidad de 1.5 toneladas, con la finalidad de deshidratar semillas de café, donde considero un diámetro de 1.2 metros, con una longitud de 3.2 metros, partiendo de ello calculó el volumen total o capacidad del tambor siendo este 3.16 m<sup>3</sup>, teniendo en cuenta este aporte, se determinó la capacidad del secador siendo esta 67.67 m<sup>3</sup>, y un diámetro de 3 metros, para hallar la longitud se multiplicó por un factor 2.3, Cubas consideró un factor de 2.6; por lo tanto la longitud del secador fue de 7 metros.

El diseño propuesto contará con 20 aletas al interior del secador, estas tendrán una ubicación de tres bolillos de 0.6 metros por 1.8 metros, con la finalidad de asegurar una cortina de sólidos más continuo, el secador tendrá una carga rotatoria de 4492 kg.

Como cuarto objetivo específico se determinó una evaluación técnica sobre la propuesta de mejora, (Rodríguez, 2019), en su investigación de diseño de un secador rotativo para arena teniendo como flujo másico 30 toneladas ahora, logró resultados considerables al disminuir un 11% la humedad de la arena teniendo como fluido secante un quemador de gas natural, para esta investigación se logró disminuir la humedad del bagazo en un 20%, Para determinar las mejoras obtenidas con el diseño del equipo secador se realizó una evaluación técnica, una de las mejoras que se obtendrá con la implementación de este equipo será el aumento del poder calorífico del material a secar (bagazo), para ello se calculó el poder calorífico inferior del bagazo en condiciones iniciales siendo este 7499.82 kJ/kg, correspondiente a una humedad del 50%, se logró aumentar el poder calorífico en un 21.3%, reduciendo la humedad del bagazo a 40%. Asimismo, la eficiencia de la Caldera aumento de 65% a 75%. La tabla número 04, muestra un análisis comparativo del funcionamiento de la Caldera 01, sin secador y con el secador implementado.

Gracias al diseño de este equipo secador se logró aprovechar la energía de los gases de salida de la Caldera 01 ya que representaban una considerable pérdida, disminuyendo un 14% la pérdida de calor por gases sensibles.



## VI. CONCLUSIONES

1. Se describió el proceso de generación de vapor en Ingenio azucarero de Pomalca, para ello se tomó en cuenta la capacidad actual de generación de las cuatro calderas siendo esta 76.8 toneladas hora de vapor sobrecalentado, con una temperatura en promedio de 308.8 °C, y una presión de 26.48 kg/cm<sup>2</sup>, muy por debajo de los parámetros establecidos, se consultó la data histórica de los últimos años para determinar los parámetros actuales de operación.
2. Se determinaron los parámetros de diseño del secador de bagazo para ellos se evalúa las condiciones del fluido secante que para nuestro caso de estudio se aprovechan los gases residuales producto de la combustión del bagazo a la salida de la Caldera, con un flujo másico de 57.9 ton/h y una temperatura en promedio de 161.59 °C, datos obtenidos del análisis de gases de combustión de la Caldera proporcionados por el departamento de calderas, así mismo se determinó el flujo másico de bagazo que entra al secador, siendo este 53 toneladas hora. En cuanto al porcentaje de humedad en el bagazo, se consultaron los datos de laboratorio del ingenio, estando la humedad en un 50%.
3. Se determinaron las dimensiones de los componentes electromecánicos que conforman el secador de bagazo, según los cálculos se obtuvo un diámetro de 3 m y una longitud de 7 m, una capacidad de 66.67 m<sup>3</sup>, y una carga rotatoria de 4,492 toneladas, el material de fabricación del secador será ASTM A 36.
4. Se realizó una evaluación técnica sobre las mejoras que se obtendrán con la implementación del secador de bagazo, una de las mejoras importantes fue el aumento del poder calorífico dónde se logró aumentar un 27% obteniendo un PCI final de 9529. 826 kJ/kg, contribuyendo a un incremento en la eficiencia de la Caldera de 65% a 75%.

## **VII. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda a la gerencia de fábrica preparar un estudio definitivo sobre la factibilidad de la implementación del equipo secador incluyendo ingeniería de detalle planos y costos precisos.
- Se recomienda al departamento del área de calderas verificar la geometría y condiciones del hogar de la Caldera, analizando si está en condiciones de operar con bagazo seco caso contrario de terminar las modificaciones o medidas para aquel hogar combustión y de la mejor manera con bagazo seco.
- Se recomienda que esta investigación sirva como base para otros estudios ya que en el norte operan varios ingenios azucareros.
- Se recomienda hacer un estudio energético a las calderas acuotubulares de bagazo ya que se observa pérdidas en su sistema de generación.
- Se recomienda realizar nuevamente un análisis de los gases de combustión de la Caldera.

## REFERENCIAS

- Alderetes, C. (2016). *Calderas a Bagazo - Proyecto, operación y mantenimiento* (Primera edición ed.). Argentina: Impreso en Argentina.
- Babcock & Wilcox Company. (1992). *Steam: Its Generation and Use*. USA: Bibliolife DBA of Bilibio Bazaar II. Obtenido de [https://books.google.com.pe/books?id=QzspvgAACAAJ&dq=STEAM+its+generation+and+use.+USA&hl=es&sa=X&redir\\_esc=y](https://books.google.com.pe/books?id=QzspvgAACAAJ&dq=STEAM+its+generation+and+use.+USA&hl=es&sa=X&redir_esc=y)
- Boilers, A. I. (2019). Generador de vapor con recuperación de calor HRSG. *Direct Industry*, 5. Obtenido de <https://www.directindustry.es/prod/generator/product-205105-2079295.html>
- Borroto, A. (2010). *Combustión y generación de vapor*. La Habana: Félix Varela. Obtenido de [https://books.google.com.pe/books?id=Voi6tAEACAAJ&dq=Combustión+y+generación+de+vapor&hl=es&sa=X&redir\\_esc=y](https://books.google.com.pe/books?id=Voi6tAEACAAJ&dq=Combustión+y+generación+de+vapor&hl=es&sa=X&redir_esc=y)
- Colombres, F., Golato, M., Morales, W., Cruz, C., & Paz, D. (2011). Rendimiento térmico de calderas bagaceras modernas. *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán*, 88, 19. Obtenido de [https://www.researchgate.net/profile/Marcos-Golato-2/publication/260778248\\_Rendimiento\\_termico\\_de\\_calderas\\_bagaceras\\_modernas\\_en\\_Tucuman\\_R\\_Argentina/links/548b0bd30cf2d1800d7dafd8/Rendimiento-termico-de-calderas-bagaceras-modernas-en-Tucuman-R-Argentina.p](https://www.researchgate.net/profile/Marcos-Golato-2/publication/260778248_Rendimiento_termico_de_calderas_bagaceras_modernas_en_Tucuman_R_Argentina/links/548b0bd30cf2d1800d7dafd8/Rendimiento-termico-de-calderas-bagaceras-modernas-en-Tucuman-R-Argentina.p)
- Cubas, J. (2018). *Diseño de un secador rotativo de 1.5 ton para deshidratar semillas de café en la zona norte del Perú*. Chiclayo: UCV. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/25909?locale-attribute=es>
- ENERCOM. (2020). *ENERCOM SpA*. Obtenido de <https://www.enercom.cl/#!/es/equipos>
- Gálvez, B. (2013). *Análisis y propuesta para optimizar el proceso de secado de bagazo en ingenio Concepción S.A*. Guatemala: Universidad de San

Carlos de Guatemala. Obtenido de Análisis y propuesta para optimizar el proceso de secado de bagazo en ingenio Concepción S.A

Garay, L. (2019). *Diseño de un horno rotatorio para deshumedecer la arcilla en la empresa Cosmos S.A.C.* Tacna: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Obtenido de <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/4303>

Hugot, E. (1963). *Manual para ingenieros azucareros* (Primera edición ed.). México: CECOSA.

Laca, S. (2020). *Diseño y balance energético de una caldera bagacera para la producción de panela mediante tecnología a vapor.* Universidad de Píura. Piura: Universidad de Píura. Obtenido de [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4657/IME\\_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4657/IME_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Maldonado, J. (2020). *Dimensionamiento y selección de secador rotativo de bagazo por gases residuales de combustión para aumentar la eficiencia de caldera de vapor en ingenio azucarero.* Trujillo: UCV. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/51444>

Marcelo, M., Bizzo, W., & Alamo, V. (2016). Evaluación del potencial energético azucarero de los residuos de la caña de azúcar en el Perú. *XXIII Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente (XXIII-SPES), XVIII*, 13. Obtenido de <http://xxiiispes.perusolar.org/wp-content/uploads/2016/10/Ponencia-N%C2%AA-26-Viernes-304.pdf>

Muñoz, M. (2015). *Guía para determinar pérdidas en una caldera.* Guatemala: CENGICANA. Obtenido de <https://cengicana.org/files/20170103101530429.pdf>

Nava, J. (2004). *Estudio experimental del efecto de la porosidad de partículas sobre el proceso de secado en un lecho fluidizado a vacío empleando aire.* Tesis de grado. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/40739012\\_Estudio\\_experimental\\_del\\_efecto\\_de\\_la\\_porosidad\\_de\\_particulas\\_sobre\\_el\\_proceso\\_de\\_secado\\_en\\_un\\_lecho\\_fluidizado\\_a\\_vacio\\_empleando\\_aire](https://www.researchgate.net/publication/40739012_Estudio_experimental_del_efecto_de_la_porosidad_de_particulas_sobre_el_proceso_de_secado_en_un_lecho_fluidizado_a_vacio_empleando_aire)

- Oviedo, C. (2021). *Optimización multiobjetivo de un secador rotatorio utilizando algoritmos evolutivos*. Asunción: Universidad Nacional de Asunción. Obtenido de <https://www.conacyt.gov.py/sites/default/files/Tesis-Cesar%20Oviedo.pdf>
- Quintana, A., Poot, L., Martínez, G., & Castro, A. (Noviembre de 2006). Escalamiento del proceso de secado de bagazo de caña. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 5(1), 12. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/620/62009911.pdf>
- Rein, P. (2012). *Ingeniería de la caña de azúcar*. Alemania: Bartens.
- RENACYT. (16 de Agosto de 2021). CONCYTEC. Obtenido de <https://ctivitae.concytec.gob.pe/renacyt-ui/#/login>
- Rico, J. (2016). Cada vez más bagazo de caña de azúcar en el etanol europeo. *Renewable Energy Magazine*, 2. Obtenido de <https://www.energias-renovables.com/bioenergia/-1/cada-vez-mas-bagazo-de-cana-de-20160707>
- Rodríguez, A., Carrasco, S., López, E., & Jiménez, R. (2018). *Metodología para la evaluación del proceso de co/combustión de biomasa a partir de diferentes tecnologías en una caldera Retal*. Cuba: Universidad de Cienfuegos. Obtenido de <http://scielo.sld.cu/pdf/rus/v11n1/2218-3620-rus-11-01-295.pdf>
- Rodríguez, J. (2019). *Diseño de un secador rotativo para 30 ton/h de arena, para la empresa ECOMINESA S.A.* Bogotá: Universidad de América.
- Uceda, J. (2012). *Guía básica de calderas industriales eficientes*. Madrid: Gráficas Arias Montano, S. A. Obtenido de <https://www.ingenieros.es/files/proyectos/Guia-basica-calderas-industriales-eficientes-fenercom-2013.pdf>
- Villalba, J., & De la Peña, A. (Marzo de 2019). Estudio experimental sobre el secado de bagazo de caña de azúcar panelera. *Universidad Tecnológica de Pereira*, 24(01). Obtenido de <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=>

&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwisxanl4qz5AhVAH7kGHYcEAJsQFn  
oECAIQAQ&url=https%3A%2F%2Frevistas.utp.edu.co%2Findex.php  
%2Frevistaciencia%2Farticle%2Fdownload%2F18541%2F13341&usg  
=AOvVaw0mebMqm-O9Ik9G4

Zhiguijoja, C. (2021). *Diseño y construcción de un prototipo de sistema de bomba de calor para una secadora de cacao rotativa de flujo constante*. Riobamaba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

## ANEXOS

**Tabla 5.** Matriz operacional.

| Variable                                      | Definición Conceptual   | Definición Operacional  | Dimensiones             | Indicadores     | Escala de Medición |
|---|---|---|-------------------------|-----------------|--------------------|
| Variable independiente:<br>Secadora de bagazo | Gálvez (2013) afirma que una secadora consiste en un cilindro que rota sobre cojinetes y usualmente un poco inclinado respecto a la horizontal. La carga húmeda se introduce en la parte superior del secador y la alimentación progresa a través de él por virtud de la rotación. La dirección del flujo de gas a través del cilindro es relativa a las propiedades de los sólidos en el proceso. Se utiliza corriente en paralelo para calentar materiales, debido al rápido enfriamiento del gas durante la evaporación inicial de la superficie húmeda. | Wheatley et al. (2020) determina que "las dimensiones de la secadora de bagazo se calcula con el flujo másico de gases, flujo másico de bagazo, rendimiento, dimensiones del secador" (p. 296). | Flujo másico de gases   | Masa            | de Razón           |
|   |   |   |                         | Tiempo          | de Razón           |
|   |   |   | Flujo másico de bagazo  | Volumen         | de Razón           |
|   |   |   |                         | tiempo          | de Razón           |
|   |   |   | Rendimiento             | Humedad final   | de Razón           |
|   |   |   |                         | Humedad inicial | de Razón           |
|   |   |   | Dimensiones del secador | Diámetro        | de Razón           |
|   |   |   |                         | Longitud        | de Razón           |

| Variable                                     | Definición Conceptual   | Definición Operacional   | Dimensiones            | Indicadores | Escala de Medición |
|--|---|--|------------------------|-------------|--------------------|
| Variable dependiente:<br>Producción de vapor | Golato Marcos et al. (2008), La generación de vapor es producir vapor a una presión mayor a la atmosférica, de manera de aprovechar la energía que posee en tales condiciones y cubrir las necesidades de la fábrica. | Troconis (2001) identifica como variables de medición la producción de vapor de cada una de las calderas, flujo de gas combustible, flujo de aire, temperatura de vapor, presión de vapor. | Flujo másico de bagazo | Masa        | de Razón           |
|  |   |  |                        | Tiempo      | Intervalo          |
|  |   |  | Flujo másico de aire   | Masa        | de Razón           |
|  |   |  |                        | Tiempo      | Intervalo          |
|  |   |  | Temperatura de vapor   | Temperatura | Intervalo          |
|  |   |  | Presión de vapor       | Masa        | de Razón           |
|  |   |  |                        | Área        | de Razón           |

Fuente: Elaboración propia.



## Validez y Confiabilidad

**Tabla 6.** Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

| <b>Indicadores</b>          | <b>Técnicas de recolección de datos</b> | <b>Instrumentos de recolección de datos</b> |
|-----------------------------|---|---|
| Flujo másico de gases       | Observación                             | Guía de observación                         |
| Flujo másico de bagazo      | Observación                             | Guía de observación                         |
| Rendimiento                 | Observación                             | Guía de observación                         |
| Dimensiones del secador     | Observación                             | Guía de observación                         |
| Flujo másico de combustible | Observación                             | Guía de observación                         |
| Flujo másico de aire        | Observación                             | Guía de observación                         |
| Temperatura de vapor        | Observación                             | Guía de observación                         |
| Presión de vapor            | Observación                             | Guía de observación                         |

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 7.** Instrumento de recolección de datos – Ficha de registro

| <b>FICHA DE REGISTRO DE PRESIÓN DE VAPOR Y TEMPERATURA DIARIO</b> |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |
|---|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| <b>FECHA /<br/>HORA</b>   | <b>05:<br/>59</b> | <b>06:<br/>59</b> | <b>07:<br/>59</b> | <b>08:<br/>59</b> | <b>09:<br/>59</b> | <b>10:<br/>59</b> | <b>11:<br/>59</b> | <b>12:<br/>59</b> | <b>13:<br/>59</b> | <b>14:<br/>59</b> | <b>15:<br/>59</b> | <b>16:<br/>59</b> | <b>17:<br/>59</b> | <b>18:<br/>59</b> | <b>19:<br/>59</b> | <b>20:<br/>59</b> | <b>21:<br/>59</b> | <b>22:<br/>59</b> | <b>23:<br/>59</b> | <b>00:<br/>59</b> | <b>01:<br/>59</b> | <b>02:<br/>59</b> | <b>03:<br/>59</b> | <b>04:<br/>59</b> |
| <b>LUNES</b>  |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |
| <b>MARTES</b>   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |
| <b>MIERCO<br/>LES</b>   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |
| <b>JUEVES</b>   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |
| <b>VIERNES</b>  |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |
| <b>SABADO</b>   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |
| <b>DOMIN<br/>GO</b>   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |

Diagrama de flujo del proceso de obtención de azúcar de caña

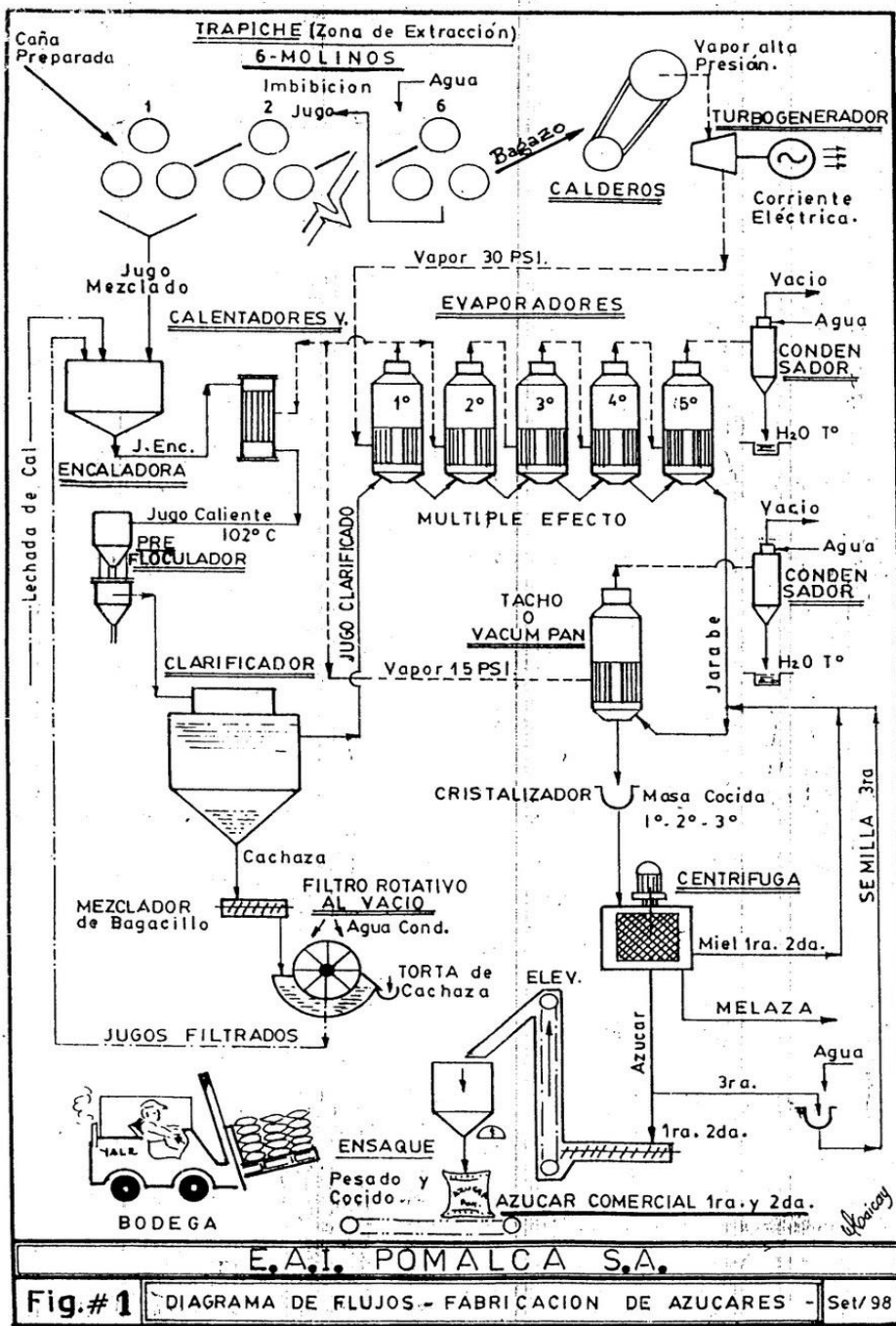


Figura 5. Diagrama de flujo de fabricación de azúcares

Fuente: Azucarera Pomalca

| Propiedades físicas de los gases de combustión  |                        |                |                                 |  |                             |  |      |
|---|------------------------|----------------|---------------------------------|--|-----------------------------|--|------|
| (B=1.01 x 10 <sup>5</sup> Pa; p <sub>CO2</sub> = 0.13; p <sub>H2O</sub> =0.11; p <sub>N2</sub> =0.76) |                        |                |                                 |  |                             |  |      |
| t<br>°C   | ρ<br>kg/m <sup>3</sup> | Cp<br>kJ/kg °C | λ x 10 <sup>2</sup><br>W/(m °C) | a x 10 <sup>6</sup><br>m <sup>2</sup> /s | μ x 10 <sup>6</sup><br>Pa.s | v x 10 <sup>6</sup><br>m <sup>2</sup> /s | Pr   |
| 0   | 1.295                  | 1.042          | 2.28                            | 16.9                                     | 15.8                        | 12.2                                     | 0.72 |
| 100   | 0.95                   | 1.068          | 3.13                            | 30.8                                     | 20.4                        | 21.54                                    | 0.69 |
| 200   | 0.748                  | 1.097          | 4.01                            | 48.9                                     | 24.5                        | 32.8                                     | 0.67 |
| 300   | 0.617                  | 1.122          | 4.84                            | 69.9                                     | 28.2                        | 45.81                                    | 0.65 |
| 400   | 0.525                  | 1.151          | 5.7                             | 94.3                                     | 31.7                        | 60.38                                    | 0.64 |
| 500   | 0.457                  | 1.185          | 6.56                            | 121.1                                    | 34.8                        | 76.3                                     | 0.63 |
| 600   | 0.405                  | 1.214          | 7.42                            | 150.9                                    | 37.9                        | 93.61                                    | 0.62 |
| 700   | 0.363                  | 1.239          | 8.27                            | 183.8                                    | 40.7                        | 112.1                                    | 0.61 |
| 800   | 0.33                   | 1.264          | 9.15                            | 219.7                                    | 43.4                        | 131.8                                    | 0.6  |
| 900   | 0.301                  | 1.29           | 10                              | 258                                      | 45.9                        | 152.5                                    | 0.59 |
| 1000  | 0.275                  | 1.306          | 10.9                            | 303.4                                    | 48.4                        | 174.3                                    | 0.58 |
| 1100  | 0.257                  | 1.323          | 11.75                           | 345.5                                    | 50.7                        | 197.1                                    | 0.57 |
| 1200  | 0.24                   | 1.34           | 12.62                           | 392.4                                    | 53                          | 221                                      | 0.56 |

Figura 6. Tabla, propiedades de los gases de combustión.

*Fuente: Cengel, 2011*

Agua saturada. Tabla de temperaturas

| Temp.,<br>$T$ °C | Pres. sat.,<br>$P_{\text{sat}}$ kPa | Volumen específico,<br>$m^3/kg$ |                      | Energía interna,<br>$kJ/kg$ |                      |                      | Entalpía,<br>$kJ/kg$   |                      |                      | Entropía,<br>$kJ/kg \cdot K$ |                      |                      |
|------------------|-------------------------------------|---------------------------------|----------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------|------------------------|----------------------|----------------------|------------------------------|----------------------|----------------------|
|                  |                                     | Líquido sat.,<br>$v_f$          | Vapor sat.,<br>$v_g$ | Líquido sat.,<br>$u_f$      | Evapor.,<br>$u_{fg}$ | Vapor sat.,<br>$u_g$ | Líquido sat.,<br>$h_f$ | Evapor.,<br>$h_{fg}$ | Vapor sat.,<br>$h_g$ | Líquido sat.,<br>$s_f$       | Evapor.,<br>$s_{fg}$ | Vapor sat.,<br>$s_g$ |
| 0.01             | 0.6117                              | 0.001000                        | 206.00               | 0.000                       | 2374.9               | 2374.9               | 0.001                  | 2500.9               | 2500.9               | 0.0000                       | 9.1556               | 9.1556               |
| 5                | 0.8725                              | 0.001000                        | 147.03               | 21.019                      | 2360.8               | 2381.8               | 21.020                 | 2489.1               | 2510.1               | 0.0763                       | 8.9487               | 9.0249               |
| 10               | 1.2281                              | 0.001000                        | 106.32               | 42.020                      | 2346.6               | 2388.7               | 42.022                 | 2477.2               | 2519.2               | 0.1511                       | 8.7488               | 8.8999               |
| 15               | 1.7057                              | 0.001001                        | 77.885               | 62.980                      | 2332.5               | 2395.5               | 62.982                 | 2465.4               | 2528.3               | 0.2245                       | 8.5559               | 8.7803               |
| 20               | 2.3392                              | 0.001002                        | 57.762               | 83.913                      | 2318.4               | 2402.3               | 83.915                 | 2453.5               | 2537.4               | 0.2965                       | 8.3696               | 8.6661               |
| 25               | 3.1698                              | 0.001003                        | 43.340               | 104.83                      | 2304.3               | 2409.1               | 104.83                 | 2441.7               | 2546.5               | 0.3672                       | 8.1895               | 8.5567               |
| 30               | 4.2469                              | 0.001004                        | 32.879               | 125.73                      | 2290.2               | 2415.9               | 125.74                 | 2429.8               | 2555.6               | 0.4368                       | 8.0152               | 8.4520               |
| 35               | 5.6291                              | 0.001006                        | 25.205               | 146.63                      | 2276.0               | 2422.7               | 146.64                 | 2417.9               | 2564.6               | 0.5051                       | 7.8466               | 8.3517               |
| 40               | 7.3851                              | 0.001008                        | 19.515               | 167.53                      | 2261.9               | 2429.4               | 167.53                 | 2406.0               | 2573.5               | 0.5724                       | 7.6832               | 8.2556               |
| 45               | 9.5953                              | 0.001010                        | 15.251               | 188.43                      | 2247.7               | 2436.1               | 188.44                 | 2394.0               | 2582.4               | 0.6386                       | 7.5247               | 8.1633               |
| 50               | 12.352                              | 0.001012                        | 12.026               | 209.33                      | 2233.4               | 2442.7               | 209.34                 | 2382.0               | 2591.3               | 0.7038                       | 7.3710               | 8.0748               |
| 55               | 15.763                              | 0.001015                        | 9.5639               | 230.24                      | 2219.1               | 2449.3               | 230.26                 | 2369.8               | 2600.1               | 0.7680                       | 7.2218               | 7.9898               |
| 60               | 19.947                              | 0.001017                        | 7.6670               | 251.16                      | 2204.7               | 2455.9               | 251.18                 | 2357.7               | 2608.8               | 0.8313                       | 7.0769               | 7.9082               |
| 65               | 25.043                              | 0.001020                        | 6.1935               | 272.09                      | 2190.3               | 2462.4               | 272.12                 | 2345.4               | 2617.5               | 0.8937                       | 6.9360               | 7.8296               |
| 70               | 31.202                              | 0.001023                        | 5.0396               | 293.04                      | 2175.8               | 2468.9               | 293.07                 | 2333.0               | 2626.1               | 0.9551                       | 6.7989               | 7.7540               |
| 75               | 38.597                              | 0.001026                        | 4.1291               | 313.99                      | 2161.3               | 2475.3               | 314.03                 | 2320.6               | 2634.6               | 1.0158                       | 6.6655               | 7.6812               |
| 80               | 47.416                              | 0.001029                        | 3.4053               | 334.97                      | 2146.6               | 2481.6               | 335.02                 | 2308.0               | 2643.0               | 1.0756                       | 6.5355               | 7.6111               |
| 85               | 57.868                              | 0.001032                        | 2.8261               | 355.96                      | 2131.9               | 2487.8               | 356.02                 | 2295.3               | 2651.4               | 1.1346                       | 6.4089               | 7.5435               |
| 90               | 70.183                              | 0.001036                        | 2.3593               | 376.97                      | 2117.0               | 2494.0               | 377.04                 | 2282.5               | 2659.6               | 1.1929                       | 6.2853               | 7.4782               |
| 95               | 84.609                              | 0.001040                        | 1.9808               | 398.00                      | 2102.0               | 2500.1               | 398.09                 | 2269.6               | 2667.6               | 1.2504                       | 6.1647               | 7.4151               |
| 100              | 101.42                              | 0.001043                        | 1.6720               | 419.06                      | 2087.0               | 2506.0               | 419.17                 | 2256.4               | 2675.6               | 1.3072                       | 6.0470               | 7.3542               |
| 105              | 120.90                              | 0.001047                        | 1.4186               | 440.15                      | 2071.8               | 2511.9               | 440.28                 | 2243.1               | 2683.4               | 1.3634                       | 5.9319               | 7.2952               |
| 110              | 143.38                              | 0.001052                        | 1.2094               | 461.27                      | 2056.4               | 2517.7               | 461.42                 | 2229.7               | 2691.1               | 1.4188                       | 5.8193               | 7.2382               |
| 115              | 169.18                              | 0.001056                        | 1.0360               | 482.42                      | 2040.9               | 2523.3               | 482.59                 | 2216.0               | 2698.6               | 1.4737                       | 5.7092               | 7.1829               |
| 120              | 198.67                              | 0.001060                        | 0.89133              | 503.60                      | 2025.3               | 2528.9               | 503.81                 | 2202.1               | 2706.0               | 1.5279                       | 5.6013               | 7.1292               |

Figura 7. Tabla, agua saturada a diferentes temperaturas

Fuente: Cengel, 2011

## Esquema de la generación de vapor en el Ingenio Azucarero de Pomalca

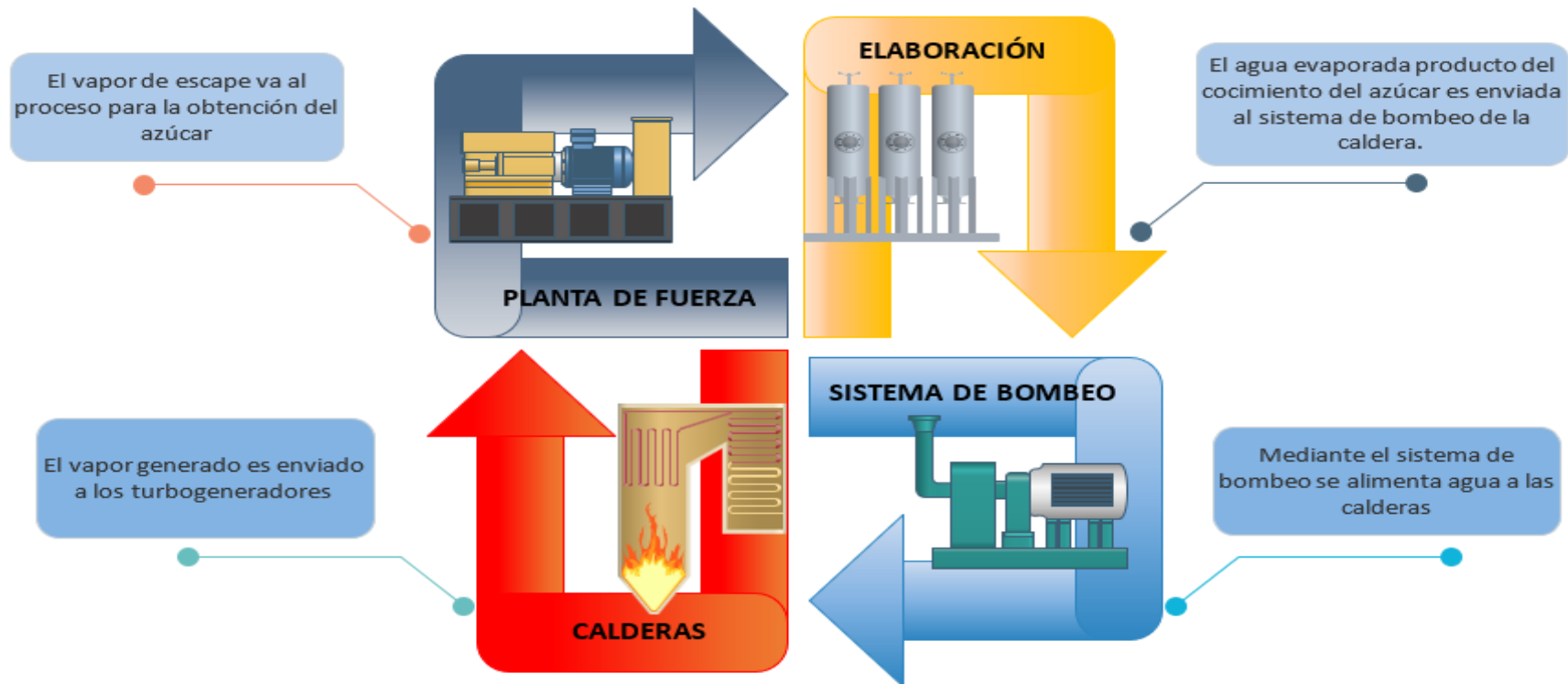


Figura 9. Esquema de la generación de vapor en el Ingenio Azucarero de Pomalca

*Fuente: Elaboración propia*

## Cálculo de la energía liberada en la combustión por unidad de masa

Un parámetro importante en la generación del vapor es el PCI y la humedad del combustible, se registraron datos de laboratorio del análisis de bagazo como combustible para las calderas.

**Tabla 8.** Análisis del bagazo.

| Fecha    | Sacarosa | Humedad |
|----------|----------|---------|
| 10/06/23 | 2.73     | 49.50   |
| 11/06/23 | 2.65     | 49.40   |
| 12/06/23 | 2.71     | 48.60   |
| 13/06/23 | 2.67     | 48.90   |
| 14/06/23 | 2.69     | 48.20   |
| 15/06/23 | 2.61     | 48.62   |
| Promedio | 2.68     | 48.87   |

Fuente: Laboratorio, Ingenio azucarero de Pomalca.

Según (Hugot, 1963), el PCI se determina mediante la siguiente expresión:

$$PCI = 17793.9 - (50.20 * s) - (203 * w) = [kJ/kg]$$

Donde:

**w** = Humedad en bagazo 48.87 %

**s** = Pol en bagazo 2.68 %

$$PCI = 7,738.92 \text{ kJ/kg}$$

## Cálculo de la capacidad de generación de vapor

Se calculará en función a los parámetros de operación de la caldera 01.

$$m_v = \frac{\eta * m_{cb} * PCI}{h_v - h_w} = [ton/h]$$

Donde:

$m_v$  = Flujo másico de vapor

$\eta$  = Rendimiento de la Caldera 62%

$h_{vs}$  = Entalpia de vapor sobrecalentado 3,068.43 kJ/kg

$h_a$  = Entalpia de agua de alimentación 377.039 kJ/kg

$PCI$  = Poder calorífico inferior 7,738.92 kJ/ kg

$m_{cb}$  = Consumo de bagazo en la caldera 10.5 ton/h

Entonces:

$$m_v = 18.72 \text{ ton/h}$$

Utilizando el programa Microsoft Excel, se insertaron datos y calculo la generación de vapor para cada caldera.

**Tabla 9.** Capacidad de generación de las Calderas

| Caldera                | Generación de vapor |
|------------------------|---------------------|
| Nº1                    | 18.72 ton/h         |
| Nº2                    | 20.06 ton/h         |
| Nº4                    | 16.72 ton/h         |
| Nº6                    | 19.00 ton/h         |
| Generación del sistema | 74.50 ton/h         |

Fuente: Elaboración propia.



Se determinó la capacidad de generación actual de las caderas, siendo esta 74.50 ton/h, teniendo un consumo de bagazo (combustible) de 48.2 ton/h, cuya humedad es de 48.87%.

**Tabla 10.** Producción de bagazo y temperatura de gases de Calderas.

| Fecha    | Bagazo ton/hora | Temperatura de gases °C |
|----------|-----------------|-------------------------|
| 01/08/23 | 55.4            | 160.30                  |
| 02/08/23 | 50.79           | 161.40                  |
| 03/08/23 | 52.66           | 162.40                  |
| 04/08/23 | 51.47           | 163.10                  |
| 05/08/23 | 51.18           | 160.80                  |
| 06/08/23 | 50.79           | 162.40                  |
| 07/08/23 | 52.46           | 162.70                  |
| 08/08/23 | 46.65           | 163.40                  |
| 09/08/23 | 51.47           | 163.20                  |
| 10/08/23 | 52.52           | 160.40                  |
| 11/08/23 | 53.67           | 160.80                  |
| 12/08/23 | 49.86           | 160.20                  |
| 13/08/23 | 51.47           | 162.40                  |
| 14/08/23 | 51.47           | 163.90                  |
| 15/08/23 | 51.47           | 162.50                  |
| 16/08/23 | 53.33           | 163.70                  |
| 17/08/23 | 52.49           | 163.80                  |
| 18/08/23 | 50.99           | 162.90                  |
| 19/08/23 | 55.58           | 163.30                  |
| 20/08/23 | 52.49           | 163.60                  |
| 21/08/23 | 51.47           | 162.80                  |
| 22/08/23 | 51.47           | 162.90                  |
| 23/08/23 | 46.65           | 163.40                  |
| 24/08/23 | 51.47           | 163.70                  |

Fuente: Departamento de Calderas, Ingenio azucarero de Pomalca.

Uno de los parámetros a considerar para el diseño del secador, es el flujo másico de bagazo, se consultó al área de caldera la producción de bagazo del mes de agosto, para determinar la producción de bagazo mensual, el % de bagazo de caña es 32.17%. La producción de bagazo hora es 5.636 ton.

Se determinaron los parámetros a considerar para el diseño del secador, se consideró el flujo másico de la caldera 01, ya que los gases producto de la

combustión del bagazo, se empleará con fluido secante en el secador rotatorio, gracias al flujo másico y la relación gases / combustible, se determinó el flujo másico de gases, así mismo gracias a una guía de observación se determinó la temperatura de gases de salida producto de la combustión de la caldera 01, correspondientes al mes de agosto.

**Tabla 11.** Parámetros de diseño del secador

| Parámetro                       | Valor    | Unidad |
|---------------------------------|----------|--------|
| Flujo másico de bagazo          | 52.00    | ton/h  |
| Consumo de bagazo en la caldera | 11.88    | ton/h  |
| Relación gases / combustible    | 4.88     | kg/kg  |
| Flujo másico de gases           | 57.99    | ton/h  |
| Temperatura de gases            | 162.5    | °C     |
| Humedad del bagazo              | 50.00    | %      |
| PCI del bagazo                  | 7,499.82 | kJ/kg  |

Fuente: Elaboración propia.

Gracias a estos parámetros se realizó el cálculo para el dimensionamiento del secador de tambor rotativo, trabajará horizontalmente con una longitud de 7 m y un diámetro de 3 metros. Para este diseño se instalarán aletas en el interior del tambor, para levantar y dejar caer los sólidos a través de la corriente de a su paso por el cilindro, exponiendo complemente al bagazo a la acción secadora de los gases.

**Tabla 12.** Parámetros de diseño del secador

| Parámetro                             | Valor  | Unidad |
|---------------------------------------|--------|--------|
| Flujo másico de bagazo                | 51.47  | ton/h  |
| Flujo másico de gases                 | 57.99  | ton/h  |
| Temperatura gases entrada secador     | 162.50 | °C     |
| Humedad del bagazo                    | 50.00  | %      |
| Temperatura entrada bagazo al secador | 30.00  | °C     |
| Agua evaporada en el secador          | 42.89  | ton/h  |

|  |                      |
|--|----------------------|
| Temperatura de Bulbo húmedo              | 52.57 °C             |
| Temperatura gases salida secador         | 76.47 °C             |
| Temperatura salida bagazo al secador     | 56.80 °C             |
| Tiempo de residencia                     | 83.00 segundos       |
| Calor necesario para elevar temp bagazo  | 5172936.00 kJ/kg     |
| Calor necesario para evaporar el agua    | 58240568.00 kJ/kg    |
| Diámetro del secador                     | 3.00 m               |
| Longitud del secador                     | 7.00 m               |
| Espesor del cuerpo del secador           | 6.35 mm              |
| Capacidad del tambor secador             | 53.01 m <sup>3</sup> |
| Número de aletas del secador             | 20.00 pieza          |
| Peso de las aletas del secador           | 1,53.00 kg           |
| Velocidad de rotación del tambor secador | 3.00 rpm             |
| Velocidad periférica del tambor secador  | 0.46 m/s             |
| Carga rotatoria del secador              | 4,49.00 kg           |
| Eficiencia del secador                   | 90.00 %              |
| Potencia del secador                     | 68.00 kW             |
| Potencia del motor para el secador       | 100.00 hp            |

Fuente: Elaboración propia.

Según EDIMEC, empresa de diseño mecánico en Cuba, la razón longitud / diámetro que resulta más eficiente en la práctica es de 2 a 5.5. Los secadores rotatorios trabajan a velocidades periféricas comprendidas entre 9 y 46 m / min. El tiempo promedio de retención del sólido en el secador, debe ser igual al tiempo requerido de secado, si el sólido va a salir al contenido deseado de humedad, el tiempo de residencia se define por la cantidad de material retenido dividido por la velocidad de alimentación. Para la fabricación del secador se utilizarán planchas ASTM A36, con un peso específico de 7200 kg/m<sup>3</sup>.

## **Dimensiones de los componentes de maquina secadora:**

### **Cálculo de temperaturas en el secador**

#### **Temperatura de Bulbo húmedo**

Según la tabla psicométrica, la temperatura del bulbo seco del gas, con una humedad del 10%, a 170°C, le corresponde una temperatura de 52.57 °C.

#### **Temperatura de entrada del Gas al secador**

Es la temperatura que tienen los gases de salida que oscila entre 160 – 165 °C, asumiremos el valor promedio 162.5 °C.

#### **Temperatura del Gas a la salida del secador**

Para efectos de este cálculo utilizaremos la fórmula de número de unidades de transferencia, determinada por la siguiente expresión:

$$Nt = \ln * \left[ \frac{t_1 * t_w}{t_2 * t_w} \right] = °C$$

Donde:

$Nt$  = Numero de transferencia de calor 1.52

$t_1$  = Temperatura de entrada del gas al secador 162.5 °C

$t_w$  = Temperatura de bulbo húmedo del gas 52.57 °C

$t_2$  = Temperatura de salida

Entonces:

$$t_2 = 76.47 °C$$

#### **Temperatura de salida del bagazo**

$$Nt = \frac{(t_1 - t_2) * \ln[(t_1 - t_3)/(t_2 - t_4)]}{(t_1 - t_3) - (t_2 - t_4)}$$

Donde:

$Nt$  = Numero de transferencia de calor 1.52

$t_1$  = Temperatura de entrada del gas al secador 162.5 °C

$t_2$  = Temperatura de bulbo húmedo del gas 76.47 °C

$t_3$  = Temperatura de entrada del bagazo al secador. 30°C

$t_4$  = Temperatura de salida del bagazo al secador. °C

Despejando, tenemos:

$$t_4 = 56.8\text{ }^{\circ}\text{C}$$

### **Calor necesario para elevar la temperatura del bagazo**

Para evaporar el agua en el bagazo es necesario aumentar la temperatura del mismo.

$$Q_{et} = m_{cb} * C_e * (T_e - T_i)$$

Donde:

$Q_{et}$  = Calor necesario para elevar la temperatura del bagazo en kJ/h

$C_e$  = Calor específico del bagazo 1.34 kJ/kg - °C

$T_e$  = Temperatura de evaporación del agua ~ 105 °C

$T_i$  = Temperatura inicial del bagazo a secar en 30°C

Entonces:

$$Q_{et} = 51472 * 1.34 * (105 - 30) = 5172936 \text{ [kJ/kg]} \approx 1235534.537 \text{ [kcal/kg]}.$$

### **Calor necesario para calentar el agua**

El agua no reacciona igual que las fibras de bagazo por lo que hay que calcular el calor necesario para calentar el agua.

$$Q_{ca} = m_a * (T_e - T_{ia})$$

Donde:

$Q_{ca}$  = Calor necesario para calentar el agua en kJ/h

$m_a$  = Flujo másico de agua en el bagazo entrando al secador en kg/h

$$m_a = m_{cb} * (1 - 0.5) = 51472 * (1 - 0.5) = 25736 \text{ kg/h}$$

$T_{ia}$  = Temperatura inicial del agua en el bagazo en °C

Entonces:

$$Q_{ca} = 25736 * (105 - 30) = 1930200 \text{ kJ/h} \approx 461020.3497 \text{ kcal/h}$$

### **Calor necesario para evaporar el agua**

Se suministra más calor al agua para que se evapore a temperatura constante.

$$Q_{ea} = m_a * \gamma$$

Donde:

$Q_{ea}$  = Calor necesario para evaporar el agua en kJ/h

$\gamma$  = Calor latente de evaporación del agua ~ 2263 kJ/kg

Entonces el calor necesario para disminuir la humedad del bagazo de 50% a 40% será:

$$Q_{ea} = 25736 * 2263 = 58240568 \text{ kJ/h} \approx 13910520.68 \text{ kcal/h}$$

### **Calor suministrado por los gases de salida (fluido secante)**

Debe también calcularse el calor que puede suministrar el fluido con el que se pretende secar el bagazo.

$$Q_{gs} = G_g * (H_S - H_E)$$

Donde:

$Q_{gs}$  = Calor suministrado por el fluido secante kJ/h

$G_g$  = Flujo másico del fluido secante en 57996 kg/h

$H_S$  = Entalpía del fluido a la salida del secador en 993.656 kcal/kg

$H_E$  = Entalpía del fluido a la entrada del secador en 267.494 kcal/kg

Entonces:

$$Q_{gs} = 57996 * (993.656 - 267.494) = 42114491.35 \text{ kcal/h}$$

### **Cálculo del tiempo de residencia**

El tiempo promedio de peso o tiempo de retención del sólido en el secador, debe ser igual al tiempo requerido de secado, si el sólido va a salir al contenido deseado de humedad.

El tiempo de peso se define por la cantidad de material retenido dividido por la velocidad de alimentación.

$$\theta = \frac{\pi * D^2 * L * \rho * \varphi}{4 * m_{cb}} = 0.023 \text{ [h]} \approx 83 \text{ [s]}$$

Donde:

$D$  = Diámetro del tambor secador 3 m

$L$  = Longitud del tambor secador 7 m

$m_{cb}$  = Flujo masico de combustible 51.472 kg/h

$\rho$  = Densidad del material 160 kg/m<sup>3</sup>

$\varphi$  = Coeficiente de retención 0.15

### **Caída de presión en el secador de bagazo**

La caída de presión en el secador es proporcional al número de aletas transportadoras, dispuestas en forma horizontal.

Se empleará la expresión isométrica para determinar la caída de presión para fluidos que se calientan o enfrían y que además considera las pérdidas de entrada y salida.



$$\Delta P = \frac{f * G^2 * s * D_s * (N + 1)}{5.22 * 10^{10} * D_e * s * 0.14} = [lb/pie^2]$$

### **Diámetro del secador:**

$$D = \left( \frac{4 * G_g}{\pi * v} \right)^{0.5} = [m]$$

Donde:

$G_g$  = Flujo másico del fluido secante 57996 kg/h

$v$  = Velocidad de masa del gas 8000 kg/h m<sup>2</sup>

Entonces:

$$D = 3.03 \approx 3 [m]$$

### **Longitud del secador**

$$L = Lt * Nt = 6.84 \approx 7 [m]$$

Donde:

$Lt$  = Longitud de una unidad de transferencia 4.5

$Nt$  = Numero de transferencia de calor 1.52

Según EDIMEC, empresa de diseño mecánico en Cuba, la razón longitud / diámetro que resulta más eficiente en la práctica es de 2 a 5.5 en consecuencia.

$$L/D = 7/3 = 2.33$$

### **Espesor y volumen del tambor secador.**

Asumirnos un espesor de chapa de 4.76, equivalente a 3/16". Entonces tenemos:

$$V = 2\pi * r * h * L = 0.210 [m^3]$$

Donde:

$V$  = Volumen del secador

$h$  = Espesor del tambor 0.00476 m

$r$  = Radio del tambor secador

$L =$  Longitud del secador 7 m

### **Peso y capacidad del tambor secador**

Ahora se calculará el peso total del secador, mediante la siguiente expresión:

$$K = N * V = 1512 [kg]$$

Donde:

$K =$  Carga rotatoria total kg

$N =$  Peso específico del Fe 7200 kg/dm<sup>3</sup>

$V =$  Volumen del tambor secador 0.210 m<sup>3</sup>

La capacidad será:

$$C = \pi * r^2 * L = 53.014 [m^3]$$

### **Aletas del secador**

Para este diseño se instalarán aletas en el interior del tambor, para levantar y dejar caer los sólidos a través de la corriente de a su paso por el cilindro, exponiendo complemente al bagazo a la acción secadora de los gases.

### **Numero de aletas**

$$n = 6.5 * D = 19.5 \approx 20$$

### **Altura radial**

$$h_r = 0.833 * D = 0.25 m$$

### **Distanciamiento Circular**

$$D_c = 360/n = 18$$

Las aletas tendrán una ubicación en tres bolillos cada 0.60 m 1.8 m, con la intención de asegurar una cortina de sólidos más continua. Se emplean en aletas planas sin ningún reborde en el primer tercio, en el extremo de alimentación se instalarán aletas direccionales y aletas curvadas a 90 grados en el primer tercio, tres filas de 20 aletas cada uno rectas a tres bolillos en el segundo, dos filas de

20 aletas curvadas a tres bolillos en el extremo de salida con aletas direccionales y rectas a 90°.

### **Cálculo de la potencia motriz del secador**

La potencia necesaria para mover un secador rotatorio se determina mediante los siguientes criterios:

#### **Velocidad de rotación**

Los secadores rotatorios trabajan a velocidades periféricas comprendidas entre 9 y 46 m / min, siendo  $N * D = 7 - 11$ , donde D es el diámetro (m)

$$N * D = 9$$

$$N = 9/D$$

$$N = 9/3 = 3 \text{ rpm}$$

#### **Velocidad periférica**

$$v = \pi * D * N$$

$$v = \pi * 3 * 3$$

$$v = 28 \text{ m/min} = 0.4667 \text{ m/s}$$

#### **Peso de las aletas**

Se utilizarán planchas ASTM A36, con un peso específico de 7200 kg/m<sup>3</sup>

#### **Entrada**

- **Aletas direccionales:**  $20 * 3.35 \text{ kg} = 67 \text{ kg}$
- **Aletas curvadas:**  $20 * 3.63 \text{ kg} = 72.6 \text{ kg}$

#### **Primer tercio**

$$3 \text{ filas} * 20 \text{ aletas} = 3 * 20 * 11 = 660 \text{ kg}$$

#### **Segundo tercio**

$$2 \text{ filas} * 20 \text{ aletas} = 2 * 20 * 11 = 440 \text{ kg}$$

#### **Tercer tercio**

$$1 \text{ fila} * 20 \text{ aletas} = 1 * 20 * 7.8 = 156 \text{ kg}$$

#### **Salida**

- **Aletas direccionales:**  $20 * 3.35 \text{ kg} = 67 \text{ kg}$
- **Aletas rectas:**  $20 * 3.63 \text{ kg} = 72.6 \text{ kg}$

**Peso total de las aletas:**  $1535.2 \text{ kg} = 3384.5 \text{ lb}$

**Peso del tambor rotatorio**

**Tabla 13.** Características del equipo secador

| <b>Equipo secador rotatorio</b> |                         |
|---------------------------------|-------------------------|
| Material                        | ASTM A36                |
| Longitud                        | 7.00 m                  |
| Diámetro                        | 3.00 m                  |
| Peso específico                 | 7.20 kg/dm <sup>3</sup> |
| Espesor                         | 5.00 mm                 |
| Volumen                         | 0.3540 m <sup>3</sup>   |
| Peso                            | 2548.80 kg              |
| Capacidad                       | 53.00 m <sup>3</sup>    |

Fuente: Elaboración propia.

Carga rotatoria total

$$W = \text{equipo} + \text{material}$$

Donde:

$$\text{Equipo} = (\text{Peso del tambor} + \text{Aletas}) * 1.10 = 4492 \text{ kg}$$

Entonces:

$$W = 9904 + 9347 = 8732 \text{ kg}$$

La potencia necesaria para mover el tambor será:

$$BHP = [N(4.75d * W + 0.1925D * W + 0.33)]/100000$$

Donde:

### **Potencia nominal del motor de accionamiento**

Potencia nominal del motor eléctrico trifásico en

$$P(kW) = \frac{\text{Potencia eje} * FS}{\eta_{\text{secador}}}$$

Donde:

Factor de servicio (FS): 1.25

Potencia eje secador: 49.6 KW

$\eta_{\text{secador}}$ : 90 %

Se elegirá un motor trifásico de las siguientes características:

Potencia: 75 Kw = 100 hp

Voltaje: 440 V

Factor de potencia: 0.86

Rendimiento del secador: 90%

### **Evaluación técnica:**

La humedad en el bagazo es una variable muy importante en el PCI del bagazo, por lo que es necesario tener un valor constante, para asegurar el suministro adecuado de vapor, que demanda los turbogeneradores y el proceso de cocimiento.

Es por eso con esta investigación de diseño se mantendrá constante el valor de la humedad en el bagazo con un 40 %, además esta variable está relacionada directamente con la eficiencia de la Caldera. Al conseguir evaporar cierto porcentaje de humedad en el bagazo, se alargará el periodo endotérmico de la combustión, lo que retarda la ignición.

### **Mejoras con la instalación del secador de bagazo**

Los beneficios que se obtienen del secado de bagazo y de la posibilidad de mantener su humedad lo más constante posible, pueden resumirse de la siguiente manera:

- Mayor transferencia de calor por radiación en el hogar.

- Mejor estabilidad en el proceso de combustión.
- Mayor retención en el quemado del particular del bagazo.
- Menos exceso de aire.
- Menor consumo de energía en ventiladores de aire forzado y de tiro inducido.
- Eliminación de cualquier combustible adicional.
- Reducción en las pérdidas por bagazo inquemado.
- Reducción de polución de bagacillo.
- Menor impacto ambiental.

A continuación, se cuantificarán otras mejoras de la instalación del secador de bagazo.

### **Aumento del poder calorífico del bagazo PCI**

Al reducir la humedad del bagazo en 40 %, el poder calorífico aumentara en:

$$PCI = 17793.9 - (50.20 * s) - (203 * w) = [kJ/kg]$$

Donde:

$w$  = Humedad en bagazo 40 %

$s$  = Pol en bagazo 2.87 %

$$PCI = 9529.826 [kJ/kg]$$

Se logró incrementar en un 27% el PCI del bagazo.

### **Aumento de la temperatura de combustión**

$$t_{gc} = 20 + \frac{PCI + \lambda * G_{arh} * C_{pa} * (t_a - t_0)}{(1 + \lambda * G_{arh}) * C_{pgc}} = [^{\circ}C]$$

Donde:

$PCI$  = Poder calorífico inferior a 40% de humedad 2276.159 kcal / kg

$\lambda$  = Exceso de aire 1.333

$t_0$  = Temperatura ambiente 20°C

$G_{arh}$  = Relación aire - combustible 3.894 kg aire / kg bagazo

$C_{pa}$  = Calor específico del aire 0.24 kcal/kg°C

$t_a$  = Temperatura del aire caliente 130°C

$C_{pgc}$  = Calor específico de gases de combustión 0.335 kcal/kg°C

$G_{gh}$  = Relación gases de combustión - combustible 4.883 kg gases / kg bagazo

Entonces la temperatura teórica de combustión, o también llamada temperatura adiabática; teniendo un 40 % de humedad en el bagazo será:

$$t_{gc} = 1206.6 [^{\circ}C]$$

Se puede apreciar que la temperatura de combustión aumento en un 26%.

### **Menor perdida de calor en gases de salida**

$$q = t(w) \left( 1.4 * \gamma + \frac{0.50}{w} - 0.12 \right) * 4.184 = [kJ / kg]$$

Donde:

$q$  = Perdida de calor sensible en los gases

$t$  = Temperatura de los gases en la chimenea 160° C

$w$  = Humedad del bagazo 40 %

$\gamma$  = Exceso de aire = 1.3

$$q = 789.939 [kJ/kg] \approx 188.673[kcal/kg]$$

### **Aumento del calor transmitido al vapor**

Para efectos de este cálculo se evaluará en qué medida se han reducido las pérdidas en la Caldera, con la instalación del secador.

### **Disminución de pérdidas por bagazo no quemado**

Con la instalación del secador de bagazo las pérdidas por sólidos son mínimas de acuerdo al estado de las toberas de inyección de aire y la mampostería del horno, el coeficiente será de 0.98.

### **Disminución de pérdidas por combustión incompleta**

Con la instalación del secador, esta pérdida disminuye, gracias a estos parámetros:

- Baja humedad en el bagazo, de 50 a 40%
- Poco exceso de aire, 30%
- Elevada temperatura de combustión, que aumentó en un 26%.

Ahora el coeficiente aumentará por la reducción de humedad en el bagazo, entonces será de 0.94

Entonces el calor transmitido al vapor por la combustión de 1 kg de bagazo con una humedad de 40%, será:

$$Q = \left( 4250 - 4850 * w - \frac{q}{4.184} \right) \alpha * \beta * \eta * 4.184 = [kJ/kg]$$

Donde:

Q = Calor transmitido al vapor KJ/Kg

w = Humedad del bagazo 0.40 %

q = Pérdida de calor sensible en los gases 789.939 kJ/kg

$\alpha$  = Coeficiente que incluye las pérdidas en los sólidos no quemados 0.98

$\beta$  = Coeficiente que incluye las pérdidas debidas a la radiación 0.87



$\eta$  = Coeficiente que incluye las pérdidas combustión incompleta 0.94

$$Q = 7112.896 [kJ/kg] \approx 1698.886[kcal/kg]$$

El calor aportado al vapor aumento en un 44% con la instalación del secador de bagazo.

El coeficiente de perdida por radiación se mantiene, por la condición actual del aislamiento de la caldera.

### **Ahorro de combustible**

$$m_{cb} = \frac{m_v * (h_{vs} - h_a)}{Q} [kg/seg]$$

Donde:

$m_{cb}$  = Flujo másico de combustible kg/s

$m_v$  = Flujo másico de vapor = 21 ton/h = 5.833 kg/seg

$h_{vs}$  = Entalpia de vapor sobrecalentado 3162.77 kJ/kg

$h_a$  = Entalpia de agua de alimentación 377.039 kJ/kg

$Q$  = Calor transmitido al vapor 7112.896 kJ/kg

El flujo de combustible para la caldera será:

$$m_{cb} = 2.304 [kg/seg] \approx 8.295 [tn/h]$$

### **Disminución de gases de combustión**

$$G_g = G_{gh} * m_{cb} = 40.508 [tn gases/h]$$

$$V_g = V_{gh} * m_{cb} = 33.523 [Nm^3 gases/h]$$

Donde:

$G_g$  = Flujo másico de los gases de salida ton/h

$G_{gh}$  = Peso de los gases húmedos 4.8835 kg gases / kg bagazo

$V_g$  = Flujo volumétrico de los gases de salida ton/h

$V_{gh}$  = Volumen de los gases húmedos 4.0414 Nm<sup>3</sup> gases/kg bagazo

$m_{cb}$  = Consumo de bagazo en la caldera 11.876 ton/h

### Aumento de la eficiencia de la Caldera

$$\eta = \frac{Q}{PCI} = 75 \text{ [\%]}$$

Donde:

$\eta$  = Rendimiento de la Caldera %

$Q$  = Calor transmitido al vapor por kg de bagazo húmedo 7112.896 kJ/kg

$PCI$  = Poder calorífico inferior del bagazo húmedo 9529.826 kJ/kg

### Evaluación financiera:

Tabla 14. Costo de mano de obra.

| Puesto de trabajo | Cant. | Costo    | Sueldo mensual | Sueldo anual |
|-------------------|-------|----------|----------------|--------------|
| Operarios         | 3     | 1,130.00 | 3,955.00       | 47,460.00    |
| Total             |       |          | 3,955.00       | 47,460.00    |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15. Costos fijos de producción anual.

| Concepto                 | Costo S/. |
|--------------------------|-----------|
| Mano de obra directa     | 47,460.00 |
| Mantenimiento de equipos | 6,720.00  |
| Reparación de maquinaria | 3,600.00  |
| Total                    | 57,780.00 |

Fuente: Elaboración propia.

*Tabla 16. Costos de inversión*

| Concepto                     | Costo S/.  |
|------------------------------|------------|
| Costo de los equipos         | 295,455.00 |
| Costo instalación de equipos | 35,450.00  |
| Total                        | 330,905.00 |

Fuente: Elaboración propia.

*Tabla 17. Producción de bagazo*

| Producto     | Cantidad | Costo | Mensual    | Anual        |
|--------------|----------|-------|------------|--------------|
| Bagazo (ton) | 220      | 40.00 | 220,000.00 | 2,640,000.00 |
| Ceniza (ton) | 11       | 12.00 | 3,960.00   | 47,520.00    |
| Total        |          |       | 223,960.00 | 2,687,520.00 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18. Análisis financiero

| Inversiones                              | Mes 0       | Mes 1      | Mes 2      | Mes 3      | Mes 4      | Mes 5      | Mes 6      | Mes 7      | Mes 8      | Mes 9      | Mes 10     | Mes 11     | Mes 12     |
|--|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| <b>Egresos</b>                           |             | 4,955.00   | 4,390.00   | 4,390.00   | 4,390.00   | 4,390.00   | 5,890.00   | 4,390.00   | 4,390.00   | 4,390.00   | 4,390.00   | 4,390.00   | 4,390.00   |
| Mano obra indirecta                      |             | 3,955.00   | 3,390.00   | 3,390.00   | 3,390.00   | 3,390.00   | 3,390.00   | 3,390.00   | 3,390.00   | 3,390.00   | 3,390.00   | 3,390.00   | 3,390.00   |
| Mantenimiento de equipos                 |             | 1,000.00   | 1,000.00   | 1,000.00   | 1,000.00   | 1,000.00   | 1,000.00   | 1,000.00   | 1,000.00   | 1,000.00   | 1,000.00   | 1,000.00   | 1,000.00   |
| Reparación de maquinaria                 |             | 0.00       | 0.00       | 0.00       | 0.00       | 0.00       | 1,500.00   | 0.00       | 0.00       | 0.00       | 0.00       | 0.00       | 0.00       |
| <b>Ingresos</b>                          |             | 220,000.00 | 220,000.00 | 220,000.00 | 220,000.00 | 220,000.00 | 220,000.00 | 220,000.00 | 220,000.00 | 220,000.00 | 220,000.00 | 220,000.00 | 220,000.00 |
| Bagazo - S/.60.00 ton                    |             | 220,000.00 | 220,000.00 | 220,000.00 | 220,000.00 | 220,000.00 | 220,000.00 | 220,000.00 | 220,000.00 | 220,000.00 | 220,000.00 | 220,000.00 | 220,000.00 |
| <b>Beneficio</b>                         |             | 215,045.00 | 215,610.00 | 215,610.00 | 215,610.00 | 215,610.00 | 214,110.00 | 215,610.00 | 215,610.00 | 215,610.00 | 215,610.00 | 215,610.00 | 215,610.00 |
| <b>Inversión del proyecto</b>            | 330,905.00  |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| Costo de los equipos                     | 295,455.00  |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| Costo instalación de los equipos         | 35,450.00   |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| <b>Totales Netos</b>                     | -330,905.00 | 215,045.00 | 215,610.00 | 215,610.00 | 215,610.00 | 215,610.00 | 214,110.00 | 215,610.00 | 215,610.00 | 215,610.00 | 215,610.00 | 215,610.00 | 215,610.00 |
| <b>VAN</b>                               | 701,527.8   |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| <b>Tasa de descuento</b>                 | 18%         |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| <b>TIR</b>                               | 65%         |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| <b>Costo / Beneficio</b>                 | 3.12        |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| <b>Tiempo de retorno de la inversión</b> |             |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| <b>mes</b>                               | 1.54        |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |

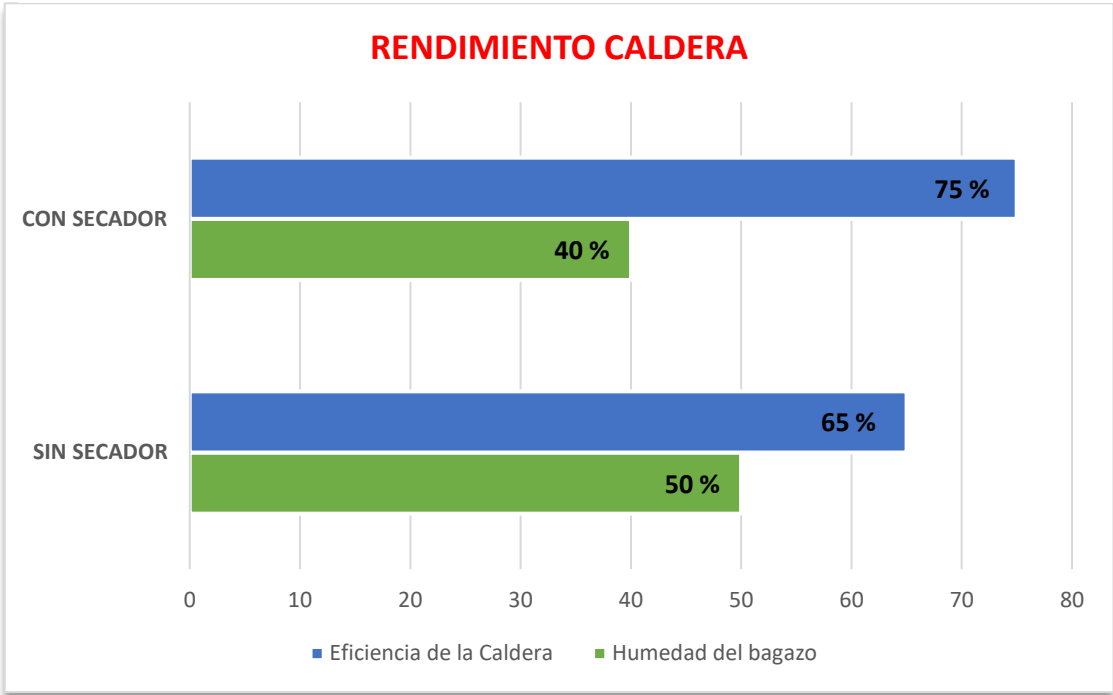
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 19.** Análisis comparativo de la Caldera c/s secador de bagazo.

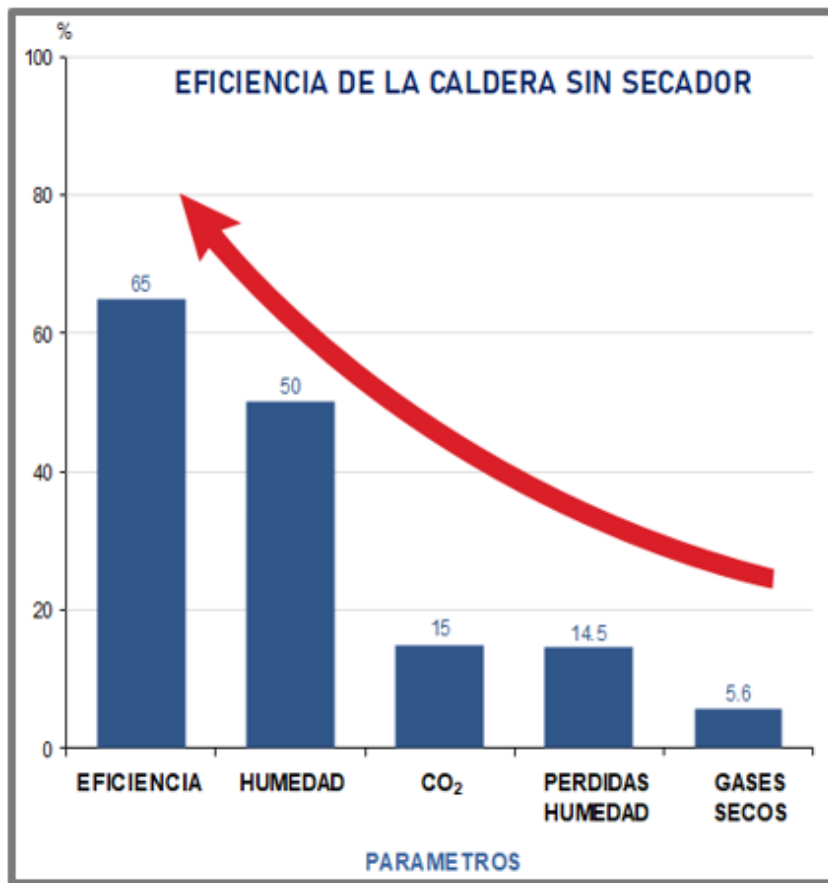
| <b>ANÁLISIS COMPARTIVO</b>                 |                    |                    |                    |
|--|--------------------|--------------------|--------------------|
| <b>PARÁMETROS</b>                          | <b>SIN SECADOR</b> | <b>CON SECADOR</b> | <b>UNID</b>        |
| Humedad del bagazo                         | 50.00              | 40.00              | %                  |
| PCI  | 7499.82            | 9529.82            | kJ/kg              |
| Temperatura de Combustión                  | 967.70             | 1206.60            | °C                 |
| Calor transmito al Vapor                   | 4924.82            | 7112.89            | kJ/kg              |
| Calor total en la Combustión               | 7680.53            | 9710.53            | kW/kg bag          |
| Consumo de combustible                     | 11.87              | 8.29               | ton/h bag          |
| Flujo masico de Gases                      | 57.99              | 40.50              | ton/h              |
| Flujo volumétrico de Gases                 | 47.99              | 35.52              | Nm <sup>3</sup> /h |
| CO <sub>2</sub> en Gases de Salida         | 15.00              | 12.00              | %                  |
| Perdidas de Calor en los Gases             | 909.60             | 789.93             | kJ/kg              |
| Coeficiente Perdidas Inquemados            | 0.90               | 0.98               | -                  |
| Coeficiente Perdidas Combustión Incompleta | 0.85               | 0.94               | -                  |
| Coeficiente Perdidas Radiación             | 0.87               | 0.87               | -                  |
| Cenizas                                    | 188.82             | 131.89             | kg/h               |
| Eficiencia de la Caldera                   | 65.00              | 75.00              | %                  |

Fuente: Elaboración propia.

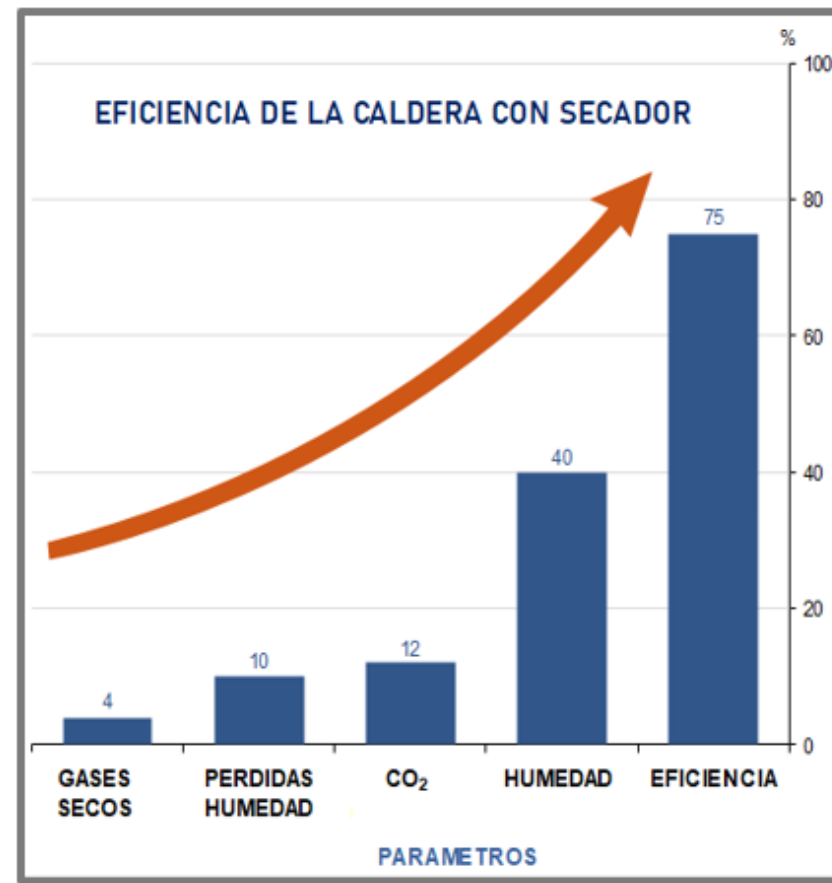
**Gráfica 3.** Análisis comparativo de la Caldera c/s secador de bagazo.



Fuente: Elaboración propia



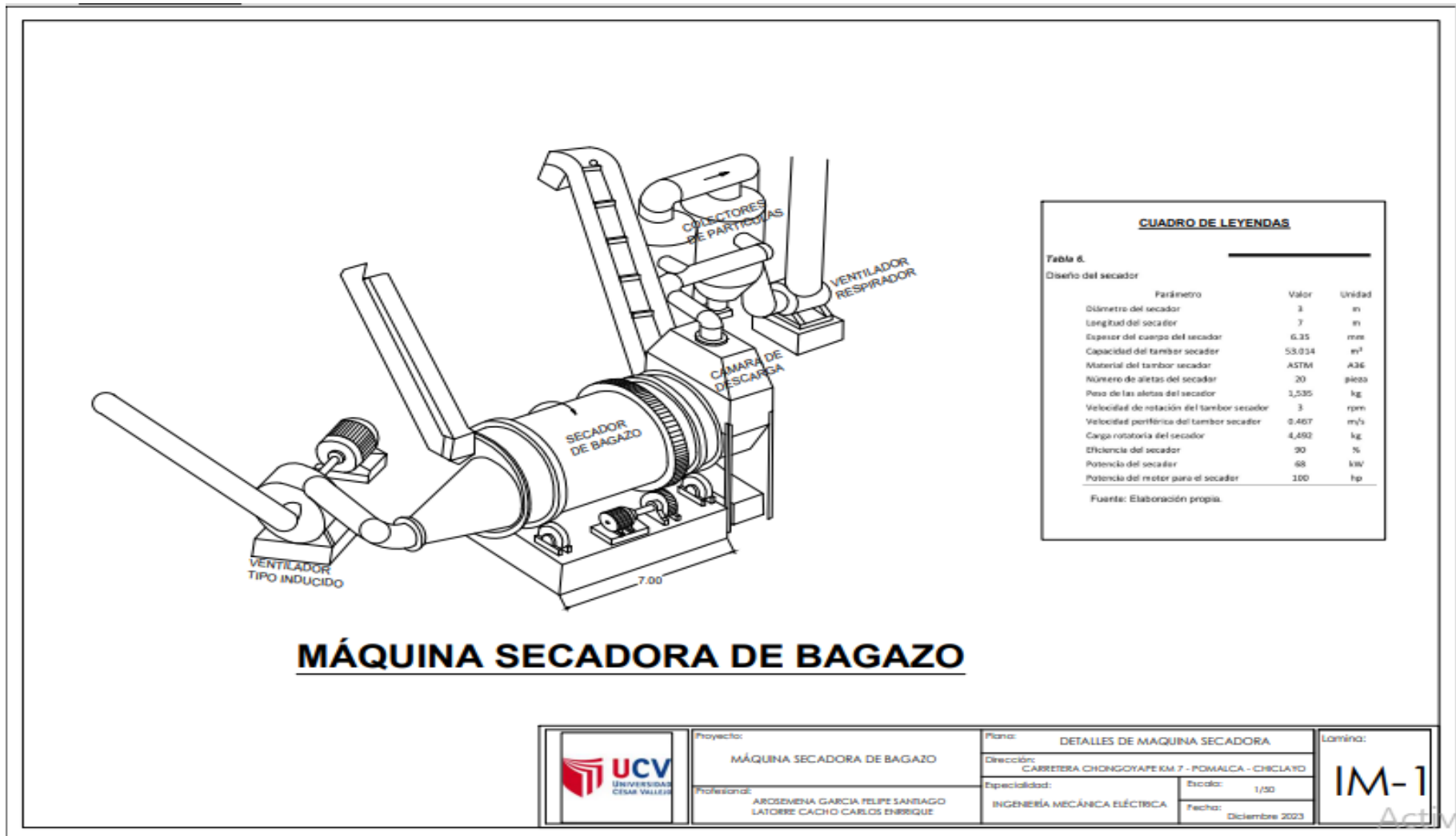
**VS**



**Figura 10.** Análisis comparativo, Caldera No 01 c/s secador de bagazo

Fuente: Elaboración propi

**Gráfica 4.** Plano de secadora de bagazo.







**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

### **Declaratoria de Autenticidad del Asesor**

Yo, SOVERO LAZO NELLY ROXANA, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - CHICLAYO, asesor de Tesis titulada: "Diseño de Máquina Secadora de Bagazo de 60 ton/h para Estabilizar la Producción de Vapor en Ingenio Azucarero Pomalca", cuyos autores son AROSEMENA GARCIA FELIPE SANTIAGO, LATORRE CACHO CARLOS ENRIQUE, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 14.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

CHICLAYO, 21 de Diciembre del 2023

| <b>Apellidos y Nombres del Asesor:</b>  | <b>Firma</b>  |
|---|---|
| SOVERO LAZO NELLY ROXANA<br><b>DNI:</b> 20048561<br><b>ORCID:</b> 0000-0001-5688-2258 | Firmado electrónicamente<br>por: NRSOVEROS el 21-<br>12-2023 13:36:34 |

Código documento Trilce: TRI - 0704572