



**UNIVERSIDAD NACIONAL
“PEDRO RUIZ GALLO”**



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

III Programa de Elaboración de

TESIS

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

**“Propuesta de modernización del filtro rotativo al vacío
para mejorar el proceso de filtrado en la Empresa
Agroindustrial Pomalca”**

Autor:

Bach. Martinez Bonilla, Daniel

Asesor:

M.Sc. Dávila Hurtado, Fredy

LAMBAYEQUE – PERÚ

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

III Programa de Elaboración de

TESIS

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

**“Propuesta de modernización del filtro rotativo al vacío
para mejorar el proceso de filtrado en la Empresa
Agroindustrial Pomalca”**

Autor:

Bach. Martinez Bonilla, Daniel

Aprobado por el Jurado Examinador

PRESIDENTE	:	Dr. Salazar Mendoza, Anibal Jesús
SECRETARIO	:	Ing. Méndez Cruz, Oscar
MIEMBRO	:	Ing. Puyen Mateo, Nestor Daniel
ASESOR	:	M.Sc. Dávila Hurtado, Fredy

LAMBAYEQUE - PERÚ

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

III Programa de Elaboración de

TESIS

TÍTULO:

**“Propuesta de modernización del filtro rotativo al vacío para
mejorar el proceso de filtrado en la Empresa Agroindustrial
Pomalca”**

CONTENIDOS

CAPITULO I	: INTRODUCCIÓN.
CAPITULO II	: MARCO TEÓRICO.
CAPÍTULO III	: METODOLOGÍA.
CAPÍTULO IV	: DESARROLLO DE OBJETIVOS.
CAPÍTULO V	: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Bach. Martinez Bonilla, Daniel

PRESIDENTE

SECRETARIO

MIEMBRO

ASESOR

LAMBAYEQUE – PERÚ

2019

Dedicatoria

A mis padres, quien, con sus enseñanzas,
su cariño y determinación, me apoyaron
y guiaron para poder afrontar los retos
encontrados a lo largo de mi camino.

A mi familia que siempre me motivó
a superar mis metas propuestas e ir
en busca de nuevos retos.

Agradecimientos

A Dios, por permitirme tener y disfrutar de mi familia y darme todos los días la fuerza para cumplir mis propósitos.

A mis padres, por el sacrificio realizado para brindarme una educación de calidad, dejando muchas veces de lado su propio beneficio y motivarme a crecer profesionalmente.

A mi asesor, el Ing. Fredy Dávila Hurtado, por su apoyo y guía en la culminación de los objetivos de mi trabajo de investigación.

A la Empresa Agroindustrial Pomalca, por facilitarme los datos necesarios para el desarrollo de mi trabajo de investigación.

Resumen

La Empresa Agroindustrial Pomalca se dedica a la elaboración y producción de azúcar rubia y sus derivados (melaza, cachaza y bagazo). Sin embargo, a lo largo de su línea de producción, presentan fallas y pérdidas, y con la fábrica operando en su máxima capacidad, la antigüedad de las instalaciones es un factor importante en la reparación de los equipos, sumado con el ineficiente plan de mantenimiento adoptado por la empresa, motiva a realizar este trabajo de investigación en optar por reducir las pérdidas para optimizar el proceso de filtrado.

Analizando la situación actual del área de filtrado se encuentra que el % Pol en cachaza esta en 3.11% y va en aumento según los indicadores fabriles, esto muestra una gran desviación de acuerdo al rango que se maneja en otros ingenios azucareros, que varía entre el 0.5 al 0.8%. Estos valores de % Pol en cachaza representan pérdidas a la empresa de 30 bolsas de azúcar diarios, lo que implica un valor de \$ 189000 anuales.

Las mejoras planteadas en este trabajo indican que la empresa debería invertir \$ 61578 para la modernización de los equipos de tecnología obsoleta, además para la implementación de tareas de mantenimiento predictivas se asumiría un costo de \$ 24470 anuales.

El análisis económico evidencia que asumir estos costos es rentable y a partir del quinto mes se recuperaría el costo total de la inversión para consecuentemente generar ingresos a la empresa.

Palabras claves: azúcar, mantenimiento, optimizar, indicadores fabriles, % Pol en cachaza, tareas predictivas.

Abstract

Pomalca Agroindustrial Company is dedicated to the elaboration and production of blond sugar and its derivatives (molasses, cachaza and bagasse). However, along its production line, there are failures and losses, and with the factory operating at its maximum capacity, the age of the facilities is an important factor in the repair of the equipment, coupled with the inefficient maintenance plan adopted by the company, motivates to carry out this research work in choosing to reduce losses to optimize the filtering process.

Analyzing the current situation of the filtering area, it is found that the % Pol in cachaza is at 3.11% and is increasing according to the manufacturing indicators, this shows a large deviation according to the range that is handled in other sugar mills, which varies between 0.5 to 0.8%. These values of % Pol in cachaza represent losses to the company of 30 bags of sugar per day, which implies a value of \$ 189000 per year.

The improvements presented in this work indicate that the company should invest \$ 61578 for the modernization of obsolete technology equipment, in addition to the implementation of predictive maintenance tasks a cost of \$ 24470 per year would be assumed.

The economic analysis shows that assuming these costs is profitable and as of the fifth month the total cost of the investment would be recovered to consequently generate income for the company.

Keywords: sugar, maintenance, optimize, manufacturing indicators, % Pol in cachaza, predictive tasks.

ÍNDICE GENERAL

Dedicatoria	iv
Resumen	vi
ÍNDICE GENERAL.....	viii
Lista de Tablas	xi
Lista de Figuras	xii
Capítulo I.....	1
Introducción	1
1.1. Realidad Problemática.....	2
1.1.1. Realidad Problemática Internacional.	2
1.1.2. Realidad Problemática Nacional	2
1.1.3. Realidad Problemática Local	3
1.2. Trabajos Previos	3
1.3. Formulación del Problema	4
1.4. Objetivos	4
1.5. Hipótesis.....	5
1.6. Justificación.....	5
1.7. Variables.....	5
Capítulo II	7
Marco Teórico	7
2.1. Industria Azucarera	7
2.2. Caña de Azúcar	7
2.2.1. Composición de la Caña.....	8
2.3. Proceso de Elaboración de Azúcar.....	9
2.3.1. Corte y Recepción de Caña	9
2.3.2. Limpieza y Preparación de Caña.....	10
2.3.3. Extracción.....	13
2.3.4. Calentamiento del Jugo	17
2.3.5. Clarificación	18
2.3.6. Evaporación.....	18
2.3.7. Cocimiento	19
2.3.8. Cristalización.....	20
2.3.9. Centrifugación.....	20

2.3.10. Envasado	21
2.4. Filtrado de Cachaza	21
2.4.1. Filtro Prensa de Marcos y Placas	22
2.4.2. Filtro de Bandas.	22
2.4.3. Filtro Rotativo al Vacío	23
2.4.2.1. Mezclador de Cachaza	24
2.4.2.2. Cabezal de Mando del Filtro.	24
2.4.2.3. Mallas Filtrantes	25
2.4.2.4. Bomba de Vacío	25
2.5. Mantenimiento	25
2.5.1. Mantenimiento Correctivo.	26
2.5.2. Mantenimiento Preventivo	27
2.5.3. Mantenimiento Predictivo.	27
2.5.3.1. Monitoreo de Temperaturas.	27
2.5.3.2. Análisis de Lubricantes.	28
2.5.3.3. Análisis de Vibraciones.....	28
2.5.3.4. Líquidos Penetrantes	28
Capítulo III	29
Metodología	29
3.1. Variables.....	30
3.1.1. Variables de Análisis Independientes	30
3.1.2. Variables de Análisis Dependientes	30
Capítulo IV	31
Desarrollo de Objetivos.....	31
4.1. Diagnóstico de la Situación Actual del Proceso de Filtrado	31
4.1.1. Cálculo de las Toneladas de Caña Neta Molidas	31
4.1.2. Evaluación de las Pérdidas de Azúcar por Incremento en la Pol de la Torta de Cachaza.	32
4.2. Dimensionamiento de Equipos Mecánicos que Intervienen en la Modernización del Filtro Rotativo al Vacío.....	38
4.2.1. Regímenes de Filtración.....	38
4.2.1.1. Filtración a Presión Constante.....	38
4.2.1.2. Filtración a Velocidad Constante	38
4.2.2. Cálculo del Área de Filtración y Selección de Malla.	39

4.2.3. Cálculo de la Caída de Presión en la Torta	40
4.2.4. Cálculo y Selección de la Bomba de Vacío.	43
4.3. Propuesta de Tareas de Mantenimiento al Área de Filtrado	46
4.3.1. Cartilla de Mantenimiento para el Filtro Rotativo al Vacío.	46
4.3.2. Cartilla de Mantenimiento de Bomba de Vacío.	47
4.3.3. Cartilla de Mantenimiento de Gusano Transportador de Cachaza.	48
4.3.4. Cartilla de Mantenimiento de Agitador de Lodos.	49
4.3.5. Cartilla de Mantenimiento de Mezclador de Lodo y Bagacillo	50
4.3.6. Cartilla de Mantenimiento de Bomba de Filtrado	51
4.3.7. Cartilla de Mantenimiento de Bomba de Lavado de Torta	52
4.4. Análisis Económico.....	53
Capítulo V	59
Conclusiones y Recomendaciones	59
5.1. Conclusiones	59
5.2. Recomendaciones.....	60
REFERENCIAS	61
Anexos.....	62

Lista de Tablas

Tabla 1 Operacionalización de Variables.....	6
Tabla 2 Variable Independiente: Modernización del Filtro Rotativo al Vacío	30
Tabla 3 Variable Dependiente: Mejorar el Proceso de Filtrado	30
Tabla 4 Molienda del Mes de Noviembre del 2018 en el Ingenio Pomalca	31
Tabla 5 Indicadores de Fábrica de Noviembre del 2018 en Ingenio Pomalca	32
Tabla 6 Indicadores de Fábrica de Noviembre del 2018 en Ingenio Pomalca	32
Tabla 7 Cálculo de las Bolsas de Azúcar Perdidas	37
Tabla 8 Datos Técnicos del Filtro Rotatorio al Vacío.....	39
Tabla 9 Datos de Laboratorio y Fábrica en Ingenio Pomalca.	41
Tabla 10 Costo de Materiales Para Modernizar el Filtro Rotatorio al Vacío.....	53
Tabla 11 Costos Adicionales.....	54
Tabla 12 Datos Adicionales Para Calcular los Ingresos	54
Tabla 13 Pérdidas con Filtro Antiguo	55
Tabla 14 Costos de Mantenimiento Predictivo	56
Tabla 15 Ingresos y Egresos Durante la Vida del Proyecto	57

Lista de Figuras

<i>Figura 1.</i> Representación de la Caña.	8
<i>Figura 2.</i> Grúa Hilo de Ingenio Azucarero Pomalca.	10
<i>Figura 3.</i> Sistema de Limpieza de Caña en Ingenio Agrolmos.	11
<i>Figura 4.</i> Desfibrador de Ingenio Agrolmos.....	13
<i>Figura 5.</i> Molino Secador de Ingenio Agrolmos.	14
<i>Figura 6.</i> Diagrama de Flujo de un Tren de Molinos con Imbibición Compuesta	16
<i>Figura 7.</i> Calentador de Casco y Tubo de Ingenio Pomalca.	17
<i>Figura 8.</i> Tachos en Ingenio Agrolmos.	19
<i>Figura 9.</i> Filtro Rotativo al Vacío.....	24
<i>Figura 10.</i> Porcentaje de Recobrado y Pérdidas en la Elaboración de Azúcar.....	36
<i>Figura 11.</i> Gráfica de Volumen vs Presión de Bomba Alpha 14+..	45
<i>Figura 12.</i> Gráfica de Potencia vs Presión de Bomba Alpha 14+..	45
<i>Figura 13.</i> Cartilla de Mantenimiento de Filtro Rotativo al Vacío.....	46
<i>Figura 14.</i> Cartilla de Mantenimiento de Bomba de Vacío.	47
<i>Figura 15.</i> Cartilla de Mantenimiento de Gusano Transportador de Cachaza.....	48
<i>Figura 16.</i> Cartilla de Mantenimiento de Agitador de Lodos.....	49
<i>Figura 17.</i> Cartilla de Mantenimiento de Lodo y Bagacillo.	50
<i>Figura 18.</i> Cartilla de Mantenimiento de Bomba de Filtrado.....	51
<i>Figura 19.</i> Cartilla de Mantenimiento de Bomba de Lavado de Torta.	52

Capítulo I

Introducción

La Empresa Agroindustrial Pomalca, se dedica al procesamiento de la caña de azúcar para producir azúcar refinada.

En el proceso de elaboración del azúcar no se llega a aprovechar toda la sacarosa que se encuentra presente en la caña, debido a esto se presentan pérdidas en toda la línea de producción. Al pasar las fibras de caña por la primera etapa del tándem de molinos, previamente tratada por los picadores y el desfibrador, se logra extraer la mayor cantidad de sacarosa, aun así, el %Pol en bagazo es elevado y para mejorar esta situación se realiza el proceso de imbibición del bagazo. Este proceso consta en la adición de agua a una temperatura de 80°C en promedio al bagazo que se encuentra en la última etapa de extracción en los molinos.

En la etapa de cristalización la miel final o melaza contiene sacarosa, pero no se puede cristalizar y se vende como un subproducto en la elaboración de azúcar. En la etapa de clarificación los lodos que se sedimentan contienen sacarosa, estos lodos se mezclan con bagacillo y se envían a los filtros rotativos al vacío, este vacío se genera gracias a las bombas de vacío y logran deshumedecer la torta de cachaza que se genera alrededor del tambor del filtro.

Debido a que la Empresa Agroindustrial Pomalca opera en su máxima capacidad y la antigüedad de la fábrica es un factor importante en la reparación de los equipos, se opta por reducir al máximo las pérdidas para optimizar el proceso de filtrado.

1.1. Realidad Problemática

1.1.1. Realidad Problemática Internacional. En el ámbito internacional la industria azucarera se encuentra con excedentes de producción, esto se ve reflejado en los bajos precios del azúcar. Esta situación obliga a los grandes ingenios azucareros a buscar nuevos mercados con lo cual agrava la situación en el mercado peruano ya que este también ha superado la demanda local de azúcar. (Mariátegui, 2019)

1.1.2. Realidad Problemática Nacional. La agricultura juega un rol importante en la economía del Perú, el sector azucarero aporta un 3.6% del producto bruto interno (PBI), siendo uno de los cultivos más importantes del país con un total de 1600 hectáreas sembradas, distribuidas en los departamentos de Piura, Lambayeque, La Libertad, Lima, Ancash y Arequipa, según cifras de la Asociación Peruana de Agroindustrias del Azúcar y Derivados (APAAD).

En el Perú existen 12 ingenios azucares: Casa Grande, Cartavio, Sol de Laredo, Paramonga, San Jacinto, Andahuasi, Chucarapi, Pomalca, Tután, Pucalá, Azucarera del Norte y Agrolmos.

Según el director ejecutivo de la APAAD, Diego Cateriano, la producción en el año 2018 ascendió a 1'124 869 toneladas de azúcar y pronosticando un crecimiento del 15% para este año. Sin embargo, ante la caída del precio del azúcar, el incierto acuerdo comercial con Guatemala que implicaría la importación de azúcar al Perú y los conflictos que enfrentan algunas empresas agroindustriales, es necesario el apoyo del estado en el desarrollo de un plan nacional que no afecte a la industria azucarera ya que actualmente sobrepasa la demanda interna de consumo de azúcar.

1.1.3. Realidad Problemática Local. De los 12 ingenios azucareros en el Perú, 05 se encuentran en el departamento de Lambayeque: Pomalca, Tumbán, Pucallá, Azucarera del Norte y Agrolmos, siendo el segundo departamento en producción de azúcar, detrás de La Libertad.

Los conflictos que atraviesan las azucareras locales con administraciones temporales afectan el desarrollo de esta industria puesto que invierten poco en el mantenimiento de sus equipos al no contar con un plan a largo plazo.

En el año 2015 el ingenio azucarero Agrolmos empezó a producir azúcar rubia, por lo cual es necesario competir en el mercado local, pero para esto se tienen que hacer mejoras en la línea de producción para hacer más eficientes los procesos, enfocándose en minimizar las pérdidas. Es por esto que este trabajo se centra en atender una de estas deficiencias en el área de filtrado de lodos reduciendo las pérdidas.

1.2. Trabajos Previos

➤ (Romero, 2010), llega a la siguiente conclusión:

1. El porcentaje de sacarosa promedio que se pierde es de 2.30% en cachaza y 1.90% en bagazo.

➤ (Gómez & Guevara, 2014), llegan a las siguientes conclusiones:

1. Se presentan problemas en plena marcha, unas veces debido a fallas mecánicas, en las instalaciones fabriles y otras imputables al área de campo, referidas a falta de caña, problemas de carguío y transporte, entre otras.
2. Durante el proceso de fabricación de azúcar, se van produciendo perdidas porcentuales de sacarosa (%Pol), debido a factores mecánicos y químicos, tales como: pérdidas en bagazo por problemas en los molinos del trapiche o en el agua de imbibición; pérdidas en las tortas de cachaza en los filtros, pérdidas en la miel final o melaza por defectos en las centrifugaciones continua;

pérdidas indeterminadas por errores en los cálculos, arrastre en los aparatos que trabajan al vacío; por inversión de la sacarosa debido a mal saneamiento, cambios bruscos de PH., variación de temperatura, entre otros.

Estos trabajos muestran el poco interés que tienen las empresas azucareras en la inversión para mejorar sus líneas de producción, como consecuencia siguen acrecentando las pérdidas.

1.3. Formulación del Problema

En la Empresa Agroindustrial Pomalca el %Pol en cachaza se encuentra en 3.11%, y va en aumento según los indicadores, esto muestra una gran desviación de acuerdo al rango que se maneja en otros ingenios azucareros, que varía entre el 0.5 al 0.8%.

Por lo tanto, es importante plantear una alternativa para mejorar el proceso de filtrado tratando de reducir al máximo las pérdidas, mediante la reducción del % Pol en cachaza.

Es así que el presente estudio a realizarse en la Empresa Agroindustrial Pomalca, surge a partir de la siguiente incógnita:

¿Cómo mejorar el proceso de filtración y en cuanto se puede reducir el % Pol en cachaza para demostrar la viabilidad de la Propuesta de Modernización del Filtro Rotativo al Vacío?

1.4. Objetivos

A. GENERAL

- El objetivo principal es proponer la Modernización del Filtro Rotativo al Vacío para disminuir el % Pol en Cachaza y así mejorar el proceso de filtración.

B. ESPECIFICOS

- Hacer un diagnóstico de la situación actual en la que se encuentra el proceso de filtrado y cuanto influye el aumento de % Pol en cachaza.
- Dimensionar los equipos mecánicos (mallas, bombas, etc) que intervienen en la Modernización del Filtro Rotativo al Vacío

- Elaborar cuadros de actividades proponiendo tareas de mantenimiento al Área de Filtrado.
- Realizar una evaluación económica mediante los parámetros VAN y TIR para demostrar la viabilidad del proyecto.

1.5. Hipótesis

Si se Moderniza el Filtro Rotativo al Vacío, se podrá mejorar el proceso de filtrado y seguir operando bajo los mismos estándares de calidad y seguridad.

Con estas propuestas se mejorará el proceso de filtrado y por lo tanto la disponibilidad de los equipos.

1.6. Justificación

Debido a las pérdidas diarias en bolsas de azúcar, es necesario la Modernización del Filtro Rotativo al Vacío para disminuir el % Pol en Cachaza.

El negocio requiere crecer por continuidad ante la amenaza de crecimiento de la competencia. La línea de producción existente es antigua, tiene altos costos de operación y está expuesta a paradas imprevistas.

1.7. Variables

Tabla 1
Operacionalización de Variables

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicadores
VARIABLE INDEPENDIENTE Modernización del Filtro Rotativo al Vacío	Proceso mediante el cual se optimiza a los activos con el objetivo de mejorar la efectividad de estos.	Conjunto de actividades para optimizar y devolver al activo su función inicial.	-Imbibición -Disponibilidad -Masa del lodo -Masa del jugo filtrado -Fracción de área sumergida.
VARIABLE DEPENDIENTE Mejorar el Proceso de Filtrado	Realizar análisis y diagnóstico de los equipos para mejorar un proceso en la producción.	Es la optimización del área de filtrado para hacer más eficiente este proceso en la línea de producción.	-Masa de la torta -Caída de presión -Reducción de Costos -Pol% Cachaza -Aumento en Bolsas de azúcar por día

Fuente: Elaboración Propia

Capítulo II

Marco Teórico

2.1. Industria Azucarera

(Mariátegui, 2019). “Durante las décadas de 1950 y 1960, el Perú fue uno de los productores de azúcar más importantes del mundo para luego tener una estrepitosa caída en las décadas de 1970 y 1980 por la implementación de la reforma agraria y luego el terrorismo, como resultado de esto nos convertimos en importadores de azúcar.

Los ingenios azucareros, luego de muchos años de deterioro, volvieron en gran parte a manos privadas iniciando, nuevamente, su desarrollo e incremento de productividad gracias a importantes inversiones en equipos y tecnología. En la actualidad tenemos superávit de producción. La producción de azúcar en el mundo es de 194 millones de toneladas y su consumo es de 144 millones de toneladas. Por este exceso de oferta es que los precios a nivel mundial están bajando y muchos países, para proteger su industria, están utilizando diversos mecanismos de protección.”

2.2. Caña de Azúcar

La caña de azúcar es una planta herbácea de gran tamaño que se cultiva en países tropicales y subtropicales. Es un híbrido complejo de varias especies, derivadas principalmente del *Saccharum officinarum* y otras especies de *Saccharum*. La caña se propaga vegetativamente sembrando trozos de sus tallos. La nueva planta o retoño crece a partir de los cogollos o yemas de los nudos del tallo, asegurando así una descendencia uniforme. En el proceso de reproducción de la caña se desarrollan y ensayan continuamente nuevas variedades en búsqueda de nuevas y mejores plantas. Este procedimiento se ha constituido en un factor fundamental para el mejoramiento de la productividad en la industria de la caña de azúcar. (Rein, 2012, p.37)

Después de la cosecha, no se requiere sembrar nuevamente, simplemente se deja crecer para producir otra cosecha. A este proceso se le conoce como soca o rebrote. Sin embargo, este proceso llega a un punto en el que después de cada cosecha la producción empieza a bajar, para lo cual se necesitará nuevamente preparar el campo y volver a sembrar.

En el Perú, sobre todo en la zona norte, la caña puede ser cosechada en todo el año, salvo condiciones meteorológicas adversas como se viene suscitando en años anteriores como el fenómeno El Niño Costero.

2.2.1. Composición de la Caña. La caña entregada en fábrica está compuesta además por hojas, cogollos, ceniza y materia extraña. La presencia de estos componentes afecta la pureza del jugo extraído como también el aumento de fibra. La composición de un tallo limpio de caña es de agua, sacarosa y fibra. Los porcentajes de cada componente se muestran a continuación en la Figura 1.

FIGURA

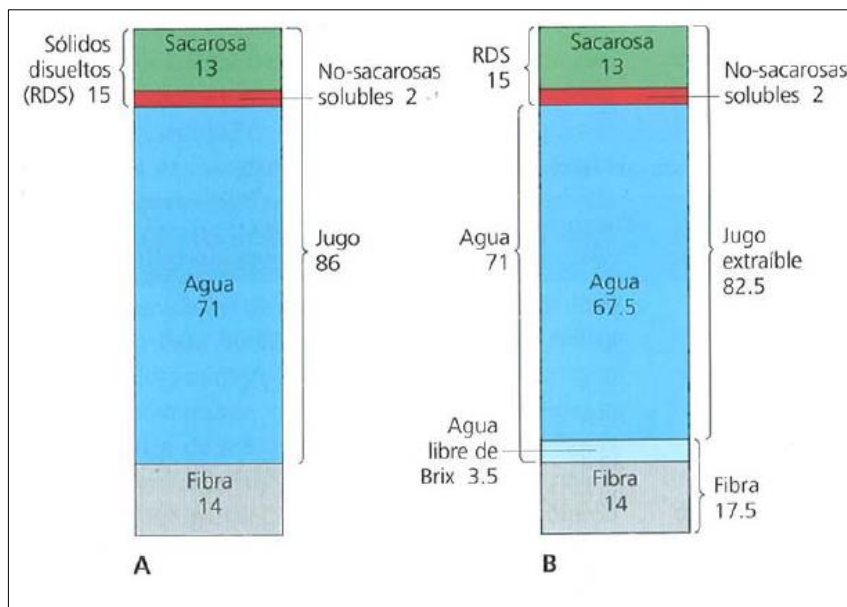


Figura 1. Representación de la Caña. Rein (2012).

2.3. Proceso de Elaboración de Azúcar

El proceso de elaboración de azúcar consiste en separar la sacarosa en su estado más puro del resto de componentes de la caña de azúcar. Para llevar a cabo este proceso se requiere la coordinación en campo y en fábrica de los operadores e ingenieros involucrados para el proceso de extracción de la sacarosa, a continuación, se explicará brevemente los pasos en la elaboración del azúcar.

2.3.1. Corte y Recepción de Caña. Con la finalidad de eliminar las hojas y facilitar el corte, se procede con la quema de los cañaverales. Luego el corte puede hacerse en forma manual o mecanizado a través de máquinas cosechadoras (para lo cual no se necesita quemar los cañaverales).

Estas máquinas cosechadoras trozan la caña en medidas de 20 a 30 cm. En el corte manual la caña es depositada en tallos enteros en las carretas de los camiones para ser transportados a la fábrica. Al ingresar a fábrica se inicia con el pesaje y se toman muestras para verificar la calidad de la caña que ingresa, esto se verá reflejado en el método de pago cuando se compra caña.

Los camiones cuentan con una malla que cubre la superficie de la carreta en el lado fijo y al otro extremo están ligados a una viga de acero. Por medio de grúas hilo se levanta esta viga y se vierte el contenido a una mesa alimentadora. Este sistema se adecua para tallos de caña enteros, para el caso de la caña cosechada mecanizada y trozada, se cuenta con volteadores de carretas de camiones, que por medio de sistemas de descarga operado hidráulicamente se levanta el camión y se vierte la caña trozada.

FIGURA

*Figura 2. Grúa Hilo de Ingenio Azucarero Pomalca.*

2.3.2. Limpieza y Preparación de Caña. La mesa alimentadora tiene como función la distribución homogénea de la caña para alimentar al conductor de caña. Además, es la etapa donde se realiza la limpieza, ya que esta traída del campo presenta materia extraña. Este proceso es muy importante ya que determinara el contenido de lodos en el clarificador. Existen dos tipos de limpieza: limpieza en seco y por lavado.

Para el sistema de limpieza en seco en algunos casos se utiliza limpieza neumática que consiste en soplar aire en contracorriente con la caída de los tallos de caña.

Aproximadamente 80% de la suciedad se removió soplando aire con una velocidad de aproximadamente 30 m/s a través de una cortina descendente de caña. Lo interesante es que se logró prácticamente sin ninguna pérdida de trozos de caña, aunque el problema de deshacerse de la enorme cantidad de basura que se acumuló rápidamente en la fábrica no fue fácil de manejar. (Rein, 2012, p.79)

Otra forma de limpieza en seco es con la instalación de ejes paralelos tubulares dotados de discos soldados a todo el largo del eje, esta disposición se da a todo el ancho de la mesa

alimentadora, acopladas a un motor eléctrico, como se muestra en la siguiente figura en el ingenio azucarero Agrolmos.

FIGURA



Figura 3. Sistema de Limpieza de Caña en Ingenio Agrolmos.

En la Empresa Agroindustrial Pomalca se utiliza el sistema de limpieza por lavado con una cortina de agua a todo el ancho de la mesa y otra cortina de agua en el conductor N°2. Este sistema tiene la ventaja de reducir los lodos en la etapa de clarificación, sin embargo, presenta las siguientes desventajas: una parte de la sacarosa se pierde cuando se lava la caña, se reduce la pureza del jugo y limita la cantidad de agua de imbibición a usar en los molinos.

Luego es trasladada por conductores de tablillas de acero atornillados a cadenas, pero están siendo reemplazados por bandas de hule para ahorrar costos de mantenimiento (verificar desgaste de cadena, rotura de pernos, desgaste de piñón, rotura de eslabones, etc.).

El colchón de caña se encuentra disparejo, para lo cual se emplean niveladores de caña para uniformizar la altura del colchón de caña que alimentará a las picadoras.

El proceso de reducir la caña alimentada al molino hasta partículas de menor tamaño, se denomina preparación de caña. La reducción de tamaño es conseguida generalmente con el

uso de picadoras o cuchillas rotativas localizadas sobre el sistema de conductores de caña y/o el paso de la caña por una desfibradora con martillos basculantes. (Rein, 2012, p.91)

En fábricas donde la caña entregada es de tallos enteros, se dispone de 02 picadoras sobre el conductor principal. Estas están compuestas por machetes o cuchillas alrededor de todo el picador. A pesar de esto el índice de preparación (PI) es muy bajo, para esto se hace necesario el uso del desfibrador para elevar el PI por encima de 90.

Dado que el tipo de preparación optima es más fácil de lograr con una desfibradora que con máquinas picadoras, existe una tendencia global hacia más desfibrado y menos picado. Una sola desfibradora de trabajo pesado con caña trozada puede lograr el grado de preparación requerido y permite tener una estación de preparación más simple. (Rein, 2012, p. 99)

La desfibradora tiene martillos basculantes montados sobre el rotor, al impactar la caña contra los martillos, se abre y quedan expuestas las fibras. A menor distancia entre la punta del martillo y el yunque asegurarán mayores índices de preparación.

El incremento en capacidad y en extracción obtenido por una desfibradora no debe menospreciarse. La instalación de un tercer aparato para proteger la caña, “paga”. (Hugot, 1986, p.85)

FIGURA



Figura 4. Desfibrador de Ingenio Agrolmos.

El equipo de preparación de caña puede representar más del 25% de la demanda total de potencia en una fábrica. El tipo de accionamiento empleado y la eficiencia con la cual la potencia es utilizada son por lo tanto muy importantes. (Rein, 2012, p. 91)

En Australia se realizaron una gran cantidad de estudios para identificar los factores que afectan al grado alcanzado en la preparación de caña. La velocidad de operación de los martillos ha mostrado tener el efecto mas significativo. La operación de una desfibradora a 1200 min^{-1} en lugar de 960 min^{-1} mostró incrementar el POC en 6 unidades. (Rein, 2012, p. 103)

2.3.3. Extracción. El objetivo primordial de la extracción es separar el jugo (agua + jugo) de la fibra, para esto hay 02 métodos: por difusión y molienda. La extracción de sacarosa por medio del proceso de difusión se da de la siguiente manera;

Según Rein (2012):

“En este proceso las moléculas disueltas en soluciones de diferentes concentraciones se difunden debido al gradiente de concentración hasta que se logra alcanzar el equilibrio” (p.184).

La caña previamente tratada, ingresa al difusor y con la adición de vapor se produce la extracción por difusión, de donde el jugo extraído por las dos primeras bandejas se envía a proceso, el jugo procedente de las demás bandejas se utiliza para un proceso de imbibición compuesta. A pesar de que, a la salida, un rodillo cargado con agua, efectúa una compresión para retirar el jugo del colchón de bagazo, se tiene un arreglo de 02 molinos, el primero llamado molino desaguador consta de dos mazas y el segundo, llamado molino secador consta de 04 mazas. Este sistema se utiliza en el ingenio Agrolmos.

FIGURA



Figura 5. Molino Secador de Ingenio Agrolmos.

En Lambayeque los demás ingenios azucareros utilizan la extracción por tándem de molinos. La alimentación se efectúa al primer molino a través de la tolva Donnelly en la que la alimentación es dosificada por un operador.

El ingenio azucarero Pomalca cuenta con un tándem de extracción conformado por 07 molinos, el molino N°5 no se encuentra operativo, los molinos N°1,3,4 y 7 cuentan con cuarta maza, mientras que los molinos N°2 y 6 cuentan con 03 mazas.

Sin embargo, existe un límite de compresibilidad del colchón de caña (y de la materia extraña tal como rocas y trozos de metal!). Debido a esto los fabricantes de molinos han introducido diseños donde una o más de las mazas tienen la capacidad de “flotar”, las cuales son cargadas con pesos muertos, resortes, cilindros neumáticos o hidráulicos para aplicar la máxima presión sobre el colchón de caña que se puede ejercer de manera segura. Usualmente en los molinos de tres mazas se permite que la maza superior sea la flotante, aunque Walkers en Australia produjo varios molinos con mazas bagaceras flotantes. (Rein, 2012, p. 122)

El jugo de la extracción del primer y segundo molino se deposita en bateas, de donde es impulsado por bombas hacia las cribas vibratorias para eliminar el bagacillo en suspensión. El jugo que ha sido colado se envía al área de elaboración, el bagacillo es retornado al conductor para nuevamente pasar por el tándem de molinos. El bagazo que sale del segundo molino ha perdido la mayor parte de jugo, pero aún tiene sacarosa en las fibras, para seguir con la extracción se agrega agua condensada o llamada agua de imbibición a una temperatura de 80 a 85°C en los dos últimos con la finalidad de humedecer las fibras y extraer la mayor cantidad de sacarosa. Los jugos enriquecidos son recirculados de atrás hacia adelante (imbibición compuesta). Esto se referencia en la siguiente Figura 6.

FIGURA

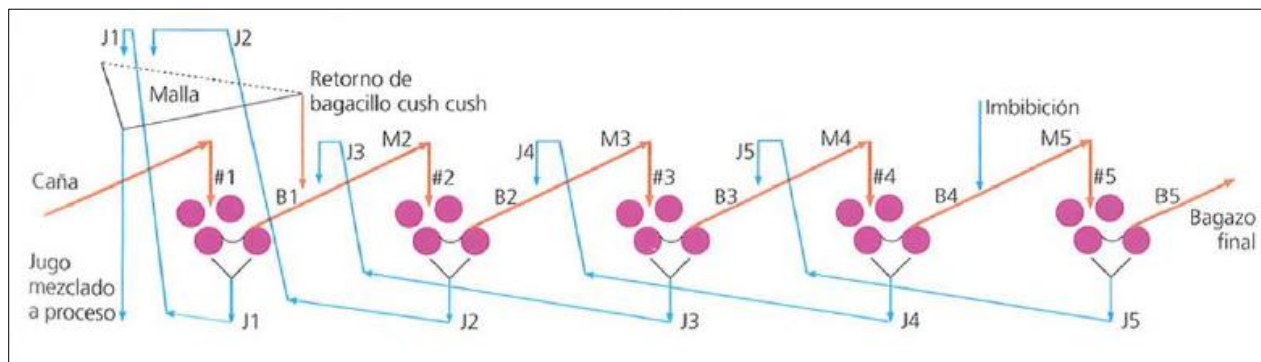


Figura 6. Diagrama de Flujo de un Tren de Molinos con Imbibición Compuesta. Rein (2012).

En la práctica, la extracción de trenes de molinos se incrementa rápidamente con el aumento de la tasa de imbibición hasta al menos 250 – 280% fibra. A partir de este momento la respuesta comienza a declinar, aunque continúan siendo posibles ganancias significativas de extracción hasta aproximadamente 350% fibra. (Rein, 2012, p. 153)

En el tándem de molinos el jugo aumenta su carga microbiana que ocasiona pérdidas de sacarosa por descomposición. Para evitar esta situación se agrega bactericida en los tanques colectores de jugos que envían las bombas del cuarto y sexto molino. El bagazo al salir por el ultimo molino es enviado a la pampa bagacera por medio de conductores de tablillas con cadenas, allí se secará para luego ser enviado a las calderas para la generación de vapor que será aprovechado por las turbinas y accionaran los generadores. El vapor de escape de las turbinas será enviado a elaboración.

Para ambos procesos, molienda y difusión, un mayor rompimiento de las células que contienen azúcar resulta en una mayor extracción y en menor humedad del bagazo final. Esta

última mejora la extracción y produce un material combustible que quema mejor en las calderas. (Rein, 2012, p. 92)

2.3.4. Calentamiento del Jugo. Antes de llegar a la estación de calentamiento, se realiza el proceso de encalado, el jugo extraído de los molinos se envía a un tanque donde se le adiciona cal, esto se hace necesario para provocar una reacción química entre el óxido de calcio y el ácido fosfórico presente en el jugo, de esta manera se neutraliza la acidez natural del jugo y se forman compuestos que absorben alrededor de sus moléculas las impurezas del jugo a fin de clarificarlo.

El jugo del tanque de encalado se encuentra alrededor de 60°C, si se enviara el jugo directo al clarificador afectaría su temperatura, entonces se calienta el jugo para mantener una temperatura constante en el clarificador.

Para el calentamiento del jugo se utilizan intercambiadores de calor de casco y tubo. el ingenio azucarero Pomalca cuenta con 06 calentadores verticales, de los cuales 04 trabajan y 02 se reservan para mantenimiento. El jugo se recircula por los tubos del intercambiador de calor y en el exterior se ingresa vapor con la finalidad de elevar la temperatura del jugo a unos 102°C, necesaria para una buena clarificación.

FIGURA



Figura 7. Calentador de Casco y Tubo de Ingenio Pomalca.

Los tubos pueden limpiarse mecánicamente o químicamente. Para la limpieza química se emplea casi que exclusivamente soda caustica, que es bombeada a través del calentador a varias concentraciones durante 4 a 12 h. con frecuencia se permite el ingreso de vapor al calentador para mantener la temperatura de la soda alrededor de 80°C y acelerar la limpieza. (Rein, 2012, p. 249)

2.3.5. Clarificación. Previo al ingreso del clarificador el jugo ya encalado y calentado, ingresa a un tanque flash para eliminar la mayor parte de las burbujas y disminuir la velocidad con la que ingresa al clarificador y obtener un flujo laminar con menor posibilidad de revolturas.

El objetivo del clarificador es generar los flocs para atrapar la materia suspendida y así pueda sedimentarse mediante decantación. El jugo clarificado es enviado a un tanque receptor, el cual cuenta con mallas finas para poder atrapar impurezas. Los lodos sedimentados son enviados a una estación de filtrado para su tratamiento.

Pomalca cuenta con un clarificador de 480 m³ y con un tiempo de retención de 2 a 3 horas.

2.3.6. Evaporación. Un pre-evaporador y una batería de evaporadores de cuádruple efecto es la encargada de eliminar el agua y concentrar el jugo clarificado. El vapor utilizado en esta etapa es el de salida de los turbogeneradores. El vapor de agua del primer efecto se condensará para regresar como agua a calderos, mientras que el vapor de agua del jugo clarificado se enviará al segundo efecto como elemento calefactor así sucesivamente hasta el último efecto, el vapor del agua del ultimo efecto es condensado con agua fría para utilizarse en el lavado de la caña.

A la salida del ultimo evaporador se encontrará una masa más espesa llamada jarabe o meladura con una unidad de cantidad brix, que es el cociente de azúcares disueltos en un líquido.

2.3.7. Cocimiento. El jarabe elaborado en los evaporadores se dirige a la estación de vacumpanes o llamados tachos, aquí el agua se evapora en un simple efecto para formar la denominada masa cocida.

Los tachos son evaporadores simples trabajando con un vacío de 25" de Hg, utilizando como elemento calefactor el vapor de salida del pre-evaporador. Los tachos cuentan con mirillas, para observar el cocimiento de las masas como también su altura.

El cocimiento empleado es el de 03 templeas: masa A, masa B y masa C. El azúcar C es transformado en magma y es utilizado como pie de templa para las masas cocidas A y B. La templa A es elaborada a partir de magma y jarabe. Las mieles A procedente de la purga en centrifugas de masa A, es utilizada en los cocimientos de masa B con magma y las mieles B procedentes de estos se utilizan en el proceso de la masa cocida C.

El azúcar comercial es elaborado con las masas cocidas A y B, mientras que la masa C es recirculada para formar magma. Este sistema de 03 templeas es muy beneficioso ya que al empezar las templeas de las masas en los tachos A y B ya se tiene un buen grano facilitando el proceso de formación de granos, además de acelerar el proceso.

FIGURA



Figura 8. Tachos en Ingenio Agrolmos.

2.3.8. Cristalización. La masa cocida que sale de los tachos se vierte a los cristalizadores, aquí se enfría la masa cocida y los granos de sacarosa van aumentando su tamaño debido que el licor madre se deposita en los cristales.

El cristizador no es más que un tanque dispuesto de un eje con paletas que da vueltas y permite que la formación de granos sea uniforme.

La cristalización es entonces un proceso que consiste en mezclar la masa cocida por cierto tiempo después de caer del tacho y antes de pasar a las centrifugas y que tiene como finalidad completar la formación de los cristales y forzar un agotamiento más completo del licor madre. (Hugot,1986, p.493)

2.3.9. Centrifugación. Luego de la cristalización la masa cocida ingresa a las máquinas centrifugas donde se separará los cristales de azúcar de las mieles. La masa cocida por consecuencia de la fuerza centrífuga se deposita en las paredes de la canasta, en estas se encuentran unas mallas que permitirán el paso de las mieles y quedarán separados los cristales de azúcar.

Sin embargo, los cristales presentan una capa fina de licor madre que permanece alrededor del cristal, se aplica agua o vapor sobre la canasta para lavar los cristales, pero asegurándose de tener cuidado con la cantidad de agua o vapor agregado para no causar disolución de los cristales. Mediante un raspador se retiran los cristales, por la disposición en V de la canasta y la fuerza centrífuga los cristales saldrán expulsados por la parte superior y caerán por las paredes de la maquina centrifuga hacia la descarga. Del otro lado del tamiz de la canasta caerán las mieles.

Las mieles de las masas A y B se utilizan como pie de templa, el azúcar obtenido de las centrifugas de masa C será fundido y utilizado como magma, la miel final o llamada melaza contiene sacarosa, pero es económicamente imposible recuperarse.

2.3.10. Envasado. En el ingenio azucarero Pomalca el azúcar A y B es mezclado y transportado por un elevador directamente a las tolvas de envase donde se dispondrá el producto final en bolsas de papel de 50 kg para ser comercializadas. El traslado directo de las centrifugas al área de envasado es perjudicial en cuanto a las siguientes características:

- Presencia de alta humedad del azúcar de la descarga de las centrifugas debido al lavado con agua o vapor.
- Formación de terrones de azúcar.
- La humedad del azúcar la hace susceptible a la acción microbiana.
- Pérdida de la calidad (color, aspecto, etc.), sobre todo cuando se necesite ingresar a mercados más exigentes.

Para evitar esto se dispone de equipos de secado, en Lambayeque el ingenio azucarero Agrolmos dispone de un secador rotatorio, este equipo comprende un tambor cilíndrico rotatorio al cual se le añade una corriente de aire para eliminar la humedad del azúcar.

2.4. Filtrado de Cachaza

Los flóculos de lodo sedimentado durante el proceso de clarificación son removidos para ser tratados en el área de filtrado. El lodo con contenido de sacarosa es mezclado con bagacillo para tener una masa consistente y poder formar la torta alrededor del tambor del filtro, además también de servir como ayuda filtrante.

El jugo recuperado es enviado al tanque de enclavamiento y la cachaza mediante un conductor helicoidal a las tolvas de cachaza para ser descargados en camiones en donde se despacharán al campo como abono.

La cantidad de lodo a ser procesado y el criterio para el desempeño de los filtros (área de filtros requerida, pérdida de pol en cachaza, demanda de bagacillo como ayuda filtrante) están estrechamente relacionados con el nivel de sólidos de lodo en el jugo y por consiguiente son influenciados fuertemente por el contenido de suelo en caña. (Rein, 2012, p. 288)

2.4.1. Filtro Prensa de Marcos y Placas. Un filtro prensa se compone de una serie de placas separadas por marcos del mismo espesor, unas y otros independientes y móviles que corren sobre 2 barras soporte y que pueden apretarse las unas contra los otros por medio de un dispositivo de tornillo o por medio de una presión hidráulica. (Hugot, 1986, p.319)

Este sistema fue el primero en utilizarse para el filtrado de lodos, sin embargo, presentaba muchas desventajas.

La principal ventaja del sistema de marcos y placas (o platos) era poder alcanzar un elevado contenido de sólidos de lodo en la torta de filtros, incluso cuando la razón de bagacillo es relativamente baja. (Rein, 2012, p. 294)

Las desventajas eran un gran requerimiento de área, altos costos de personal, elevados costos de mantenimiento de las telas filtrantes y una eficiencia de lavado insatisfactoria con el ciclo del agua de lavado. Las desventajas forzaron el reemplazo de los filtros prensa de marcos y placas por los filtros de tambor rotativo hacia 1960. (Rein, 2012, p.294)

2.4.2. Filtro de Bandas. Se requiere un control estricto del pH para tratar el lodo antes de ingresar a los filtros de bandas, además de la adición de floculante para la formación de la torta. La primera etapa de filtrado se da por gravedad, donde el jugo que se obtiene es muy limpio, la banda avanza hacia la etapa de filtración por vacío de donde se extrae otra fracción de jugo (de menor calidad), y por último se coloca una tela secundaria sobre la torta y se exprime otra fracción de jugo para luego separar las dos telas y como consecuencia se produce la caída de la torta de cachaza. Este sistema de filtración es más beneficioso que el filtro rotativo al vacío. El ingenio azucarero Cartavio siendo el más antiguo del Perú, en el año 2017 adquirió un filtro de banda para reemplazar a los 04 filtros rotativos que se encontraban en operación. Sin duda que, desde la adquisición por parte del Grupo Gloria en el año 2007, Cartavio cuenta con mayor capital para poder mejorar sus procesos, algo

prácticamente imposible para la empresa agroindustrial Pomalca de asumir costos por cambio del sistema de filtración.

2.4.3. Filtro Rotativo al Vacío. El filtro rotativo al vacío está compuesto por un tambor fabricado en acero inoxidable que gira en torno a su eje horizontal, este tambor se encuentra sumergido una tercera parte. Se divide en 24 secciones de 15° cada una.

El tambor está constituido por 03 sectores: en el primer sector se encuentra una etapa de bajo vacío para adherir la torta al tambor, luego mediante aspersores se lava la torta, el segundo sector cuenta con una etapa de alto vacío mediante el cual se succiona el jugo a través de las mallas de acero inoxidable provista de finas perforaciones. El último sector está conectado a la atmosfera para desprender la torta mediante raspadores.

Los filtros de tambor rotativo al vacío han sido ampliamente utilizados durante muchos años en la industria azucarera y en otra variedad de industrias. Estos se ajustan bien en aplicaciones donde se requiere efectuar tanto deshumidificación como lavado y parecen ser los mejores equipos disponibles para el tratamiento de los lodos de caña de azúcar. (Rein, 2012, p. 294)

FIGURA



Figura 9. Filtro Rotativo al Vacío. Rein (2012).

2.4.3.1. Mezclador de Cachaza. Los mezcladores de cachaza o lodos tienen como función incorporar el bagacillo que es adicionado y acondicionar el lodo a una temperatura y un pH satisfactorios.

En algunos casos se adiciona solución de floculante en el mezclador de cachaza, aunque es preferible adicionarle por separado usando pequeños mezcladores conectados individualmente a cada uno de los filtros. (Rein, 2012, p.292)

2.4.3.2. Cabezal de Mando del Filtro. Los materiales utilizados en la construcción de los cabezales de mando de los filtros han cambiado muy poco a través del tiempo, que en su mayoría se construyen de hierro fundido provistos de insertos de bronce para los bloques de separación entre sectores. El hierro fundido puede desgastarse severamente en aquellas áreas donde se presente turbulencia excesiva. Cabezales de mando de tres etapas de acero inoxidable han sido empleados en algunos ingenios exitosamente durante varios años. (Rein, 2012, p.297)

2.4.3.3. Mallas Filtrantes. Las mallas para los filtros de lodos normalmente se fabrican taladrando con punzón agujeros de aproximadamente 0.5 mm de diámetro y están disponibles en acero inoxidable o en cobre, aunque se prefiere a las mallas de acero inoxidable debido a su superior servicio, durabilidad y mejores costos. (Rein, 2012, p.299)

2.4.3.4. Bomba de Vacío. Por lo general los ingenios no desean adquirir la bomba de vacío porque cuentan con sistemas de vacío del vapor utilizado en tachos, pero los filtros no necesariamente funcionan al mismo ritmo de los tachos, además de que al filtro ingresa aire en la succión generada por el vacío y esto perturbaría el vacío central.

El ingenio azucarero Pomalca cuenta con una bomba de vacío, pero al ser muy antigua presenta pérdidas, fugas, vibraciones altas, transmisión defectuosa, des alineamiento, sobrecalentamiento, etc. La mejor alternativa es la adquisición de una bomba de vacío de anillo líquido, este anillo líquido se forma debido a la excentricidad del rotor con la carcasa de la bomba, a continuación, se presentan las siguientes ventajas:

- Pequeños ruidos y bajos niveles de vibración
- Pequeño incremento de la temperatura debido a la formación del anillo líquido
- Baja velocidad de giro
- Se puede poner en funcionamiento o parar continuamente
- El deterioro de sus componentes es mínimo debido a la formación del anillo líquido.

2.5. Mantenimiento

Durante los últimos veinte años, el Mantenimiento ha cambiado, quizás más que cualquier otra disciplina gerencial. Estos cambios se deben principalmente al enorme aumento en número y en variedad de los activos físicos (planta, equipamiento, edificaciones) que deben ser mantenidos en todo el mundo, diseños más complejos, nuevos métodos de mantenimiento, y una óptica cambiante en la organización del mantenimiento y sus responsabilidades.

El mantenimiento también está respondiendo a expectativas cambiantes. Estas incluyen una creciente toma de conciencia para evaluar hasta qué punto las fallas en los equipos afectan a la seguridad y al medio ambiente; conciencia de la relación entre el mantenimiento y la calidad del producto, y la presión de alcanzar una alta disponibilidad en la planta y mantener acotado el costo. (Moubray, 2004, p.1)

En síntesis, la misión principal de mantenimiento es garantizar que el parque industrial este con la máxima disponibilidad cuando lo requiera el cliente o usuario. Con la máxima confiabilidad y fiabilidad, durante el tiempo solicitado para operar. Con las velocidades requeridas, en las condiciones técnicas y tecnológicas exigidas previamente por el demandante, para producir bienes o servicios que satisfagan sus necesidades, deseos o requerimientos. Con los niveles de calidad, cantidad y tiempo solicitados, en el momento oportuno al menor costo posible. Y con los mayores índices de productividad y competitividad posibles para optimizar su rentabilidad. Es decir, para generar mayores ingresos. (Mora, 2009, p.39)

2.5.1. Mantenimiento Correctivo. “El mantenimiento correctivo consiste en ir reparando las averías a medida que se van produciendo. El personal encargado de avisar de las averías es el propio usuario de los equipos y el encargado de las reparaciones el personal de mantenimiento”. (Navarro, Pastor & Mugaburu, 1997, p.31)

El principal inconveniente con que nos encontramos con este tipo de mantenimiento, es que el usuario detecta la avería en el momento que necesita el equipo, ya sea al ponerlo en marcha o bien durante su utilización. En muchos casos, con el fin de obtener un mayor rendimiento del equipo, el usuario no dará parte de la avería hasta que esta le impida continuar trabajando. Si añadimos que el personal encargado del uso de los equipos no es experto en averías, pasara por alto ruidos y anomalías que puedan preceder al fallo. Llevar el equipo al límite de su funcionamiento puede agravar el fallo inicial o degenerar en otros de mayor importancia. (Navarro *et al.*, 1997, p.32)

2.5.2. Mantenimiento Preventivo. El mantenimiento preventivo puede ser definido como la conservación planeada de fábrica y equipo, producto de inspecciones periódicas que descubren condiciones defectuosas. Su finalidad es reducir al mínimo las interrupciones y una depreciación excesiva, resultantes de negligencias. No debería permitirse que ninguna maquina o instalación llegase hasta el punto de ruptura. (Newbrough, 1974, p.69)

2.5.3. Mantenimiento Predictivo. El mantenimiento predictivo consiste en el conocimiento permanente del estado y operatividad de los equipos, mediante la medición de determinadas variables. El estudio de los cambios en estas variables determina la actuación o no del mantenimiento correctivo. Las ventajas frente a otros tipos de mantenimiento preventivo se basan en la velocidad con la que se obtiene la información; en otros casos se establece una frecuencia mientras que en el predictivo es inmediata. El predictivo incorpora, además, ciertas variables que aumentan la información del estado de los equipos. (Navarro *et al.*, 1997, p.35)

2.5.3.1. Monitoreo de Temperaturas. El monitoreo de temperatura con pirómetros nos ayuda a identificar problemas de sobrecalentamiento en rodamientos, carcasas, etc., y con la cámara termográfica se efectúa un análisis más exhaustivo en tableros, transformadores, interruptores, etc.

2.5.3.2. *Análisis de Lubricantes.* El análisis de lubricantes nos permite hallar desgaste en componentes, degradación del lubricante por sobrecalentamiento, además de un análisis de las propiedades de los aceites: punto de goteo, viscosidad, punto de inflamación, resistencia a la oxidación, resistencia a la emulsificación, etc.

2.5.3.3. *Análisis de Vibraciones.* Mediante el análisis de vibraciones se pueden identificar problemas de des alineamiento de rodamientos y poleas, soltura mecánica, desgaste de engranajes, variación en la frecuencia de vibraciones, espectros, etc.

2.5.3.4. *Líquidos Penetrantes.* Son usados para encontrar grietas en los componentes, fisuras provocadas por desgaste, corrosión, verificación de grietas en cordones de soldaduras, etc.

Capítulo III

Metodología

La contrastación de la hipótesis de este trabajo de investigación se realizó mediante la demostración de la situación actual que presenta el Área de Filtrado en la Empresa Agroindustrial Pomalca, que, como consecuencia de la antigüedad de sus equipos, encontramos grandes pérdidas en el proceso.

Mediante esta Propuesta de Modernización de los equipos se logrará minimizar las pérdidas y se podrá seguir operando con el Filtro Rotativo al Vacío actual y se demuestra que mediante esta reducción de pérdidas es viable la Propuesta de Modernización.

Además, con las tareas de mantenimiento propuestas se realizará un monitoreo de la condición de los equipos para intervenir en el momento adecuado antes de que suceda una falla.

El proceso seguido para la contrastación de la hipótesis fue el siguiente:

1. Realizar la evaluación de la situación actual del Área de Filtrado.
2. Calcular las bolsas de azúcar perdidas por la antigüedad de los equipos.
3. Seleccionar una nueva malla que permita obtener una mayor retención.
4. Calcular la presión de vacío óptima y seleccionar una nueva bomba de vacío para filtrar la mayor cantidad de jugo.
5. Proponer tareas de mantenimiento que permitirán analizar la tendencia de una anomalía antes de que suceda una falla.
6. Realizar una evaluación económica que demuestra la viabilidad del proyecto.

3.1. Variables

Las variables que tienen efecto sobre los resultados finales del tema de estudio fueron las siguientes.

3.1.1. Variables de Análisis Independientes. Son aquellas variables que pueden cambiar libremente su valor y se conocen al inicio.

Tabla 2

Variable Independiente: Modernización del Filtro Rotativo al Vacío

Indicador	Unidad
Disponibilidad	Horas
Masa del Lodo	Toneladas / día
Masa del Jugo Filtrado	Toneladas / día
Imbibición	Toneladas / día
Fracción de área sumergida	---

Fuente: Elaboración Propia.

3.1.2. Variables de Análisis Dependientes. Son aquellas variables cuyo valor depende del valor numérico que adopta la variable independiente.

Tabla 3

Variable Dependiente: Mejorar el Proceso de Filtrado

Indicador	Unidad
Masa de la torta	Toneladas / hora
Caída de presión en el filtro	Pulg Hg
Bolsas de azúcar por día	Bolsas / día
Pol%Cachaza	%

Fuente: Elaboración Propia

Capítulo IV

Desarrollo de Objetivos

4.1. Diagnóstico de la Situación Actual del Proceso de Filtrado

4.1.1. Cálculo de las Toneladas de Caña Neta Molidas. En la siguiente tabla se muestra

las toneladas de caña neta molidas en un mes:

Tabla 4

Molienda del Mes de Noviembre del 2018 en el Ingenio Pomalca

Día	Caña Neta Molida	Día	Caña Neta Molida
1	2944.37 Ton	16	2779.76 Ton
2	2720.25 Ton	17	3321.05 Ton
3	3272.41 Ton	18	3297.90 Ton
4	2228.46 Ton	19	2757.00 Ton
5	3409.05 Ton	20	1309.03 Ton
6	2621.16 Ton	21	2793.85 Ton
7	3033.19 Ton	22	1482.80 Ton
8	3355.23 Ton	23	1649.97 Ton
9	3106.01 Ton	24	3147.37 Ton
10	2719.62 Ton	25	3096.57 Ton
11	3041.2 Ton	26	2253.39 Ton
12	3323.41 Ton	27	2622.75 Ton
13	3322.62 Ton	28	2862.33 Ton
14	3311.37 Ton	29	2795.54 Ton
15	1705.12 Ton	30	2138.29 Ton

Fuente: Elaboración Propia.

Entonces el promedio de caña neta molida al día en el mes de noviembre del 2018 es de 2747.37 Ton.

4.1.2. Evaluación de las Pérdidas de Azúcar por Incremento en la Pol de la Torta de Cachaza.

A continuación, se muestran datos obtenidos en laboratorio de fábrica:

Tabla 5

Indicadores de Fábrica de Noviembre del 2018 en Ingenio Pomalca

MATERIAL	BRIX	POL	%PUREZA	%HUMEDAD
Jugo Mezclado	16.68	14.07	84.35	
Jugo Residual	6.88	5.23	76.017	
Melaza	94.38	35.93	38.07	
Bagazo		2.82		49.59
Cachaza		3.11		
Azúcar		98.10		

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 6

Indicadores de Fábrica de Noviembre del 2018 en Ingenio Pomalca

Indicador	Cantidad	Unidad
Materia Extraña en Caña	4.36	%
Fibra% Caña	15	%
Imbibición% Caña	17.75	%
Cachaza% Caña	2.37	%
Melaza% Caña	3.50	%
Recobrado	81.60	%

Fuente: Elaboración Propia.

En el proceso de elaboración de azúcar se van produciendo pérdidas en los distintos niveles de producción, desde el corte de la caña se presentan las primeras pérdidas de sacarosa, ya sea por el mismo corte o por la degradación hasta llegar a fábrica y la espera en patio. La humedad presente en el bagazo a la salida del tándem de molinos presenta aun sacarosa que no se logra extraer, por más eficiente que sea el proceso de filtración también se presentarían pérdidas de sacarosa, pero se debe en lo posible reducir al máximo en el tratamiento de lodos en el filtro rotativo al vacío. La miel de la masa C o melaza es la que mayores pérdidas de sacarosa presenta, pero éstas son económicamente inviable tratar de recuperar. Las fugas en bombas, válvulas, el lavado de la caña en las mesas alimentadoras, inversión de sacarosa por ácido láctico son algunas de las pérdidas indeterminadas que se presentan. A continuación, se mostrarán los cálculos de las pérdidas de sacarosa.

En el ingenio azucarero Pomalca se procesan 2747.37 toneladas de caña limpia al día, las toneladas de caña que ingresan a fábrica se calcula en la siguiente formula:

$$TCM = \frac{Caña\ Neta \times 100}{100 - MEC}$$

$$TCM = \frac{2747.37 \times 100}{100 - 4.36}$$

$$TCM = 2872.62\ Ton/día$$

Cálculo de Imbibición en trapiche:

$$Imbibición = TCM \times \frac{Imb\%Caña}{100}$$

$$Imbibición = 2872.62 \times \frac{17.75}{100}$$

$$Imbibición = 509.89\ Ton/día$$

Cálculo del Porcentaje de Fibra en Bagazo:

$$Fibra\%Bagazo = 100\% - (\%Humedad\ en\ Bagazo + \frac{Pol\%Bagazo \times 100\%}{Pureza\ Jugo\ Residual})$$

$$Fibra\%Bagazo = 100\% - (49.6\% + \frac{2.82\% \times 100\%}{76.017\%})$$

$$Fibra\%Bagazo = 46.7\%$$

Cálculo de las Toneladas de Bagazo en Caña:

$$Bagazo = \frac{Fibra\%Caña}{Fibra\%Bagazo} \times Caña Neta$$

$$Bagazo = \frac{15\%}{46.7\%} \times 2747.37$$

$$Bagazo = 882.45 \text{ Ton/día}$$

Cálculo de las Toneladas de Jugo Mezclado:

$$Jugo Mezclado = Caña Neta + Imbibición - Bagazo$$

$$Jugo Mezclado = 2747.37 + 509.89 - 882.45$$

$$Jugo Mezclado = 2374.81 \text{ Ton/día}$$

Cálculo de las Toneladas de Sacarosa presente en el Jugo Mezclado:

$$Ton Pol en J. Mezclado = J. Mezclado \times Pol\%Jugo Mezclado$$

$$Ton Pol en J. Mezclado = 2374.81 \times 0.1407$$

$$Ton Pol en J. Mezclado = 334.14 \text{ Ton/día}$$

Cálculo de las Toneladas de Sacarosa presente en Bagazo:

$$Ton Pol en Bagazo = Bagazo \times Pol\%Bagazo$$

$$Ton Pol en Bagazo = 882.45 \times 2.82\%$$

$$Ton Pol en Bagazo = 24.89 \text{ Ton/día}$$

Cálculo de las Toneladas de Sacarosa presente en la caña:

$$Ton Pol en Caña = Ton Pol en J. Mezclado + Ton Pol en Bagazo$$

$$Ton Pol en Caña = 334.14 + 24.89$$

$$Ton Pol en Caña = 359.03 \text{ Ton/día}$$

Cálculo del Porcentaje de Sacarosa presente en Caña:

$$Pol\%Caña = \frac{Ton Pol en Caña}{Caña Neta} \times 100\%$$

$$Pol\%Caña = \frac{359.03}{2747.37} \times 100\%$$

$$Pol\%Caña = 13.07\%$$

Cálculo de las Toneladas de Melaza producida al día:

$$Melaza = Caña Neta \times Melaza\%Caña$$

$$Melaza = 2747.37 \times 3.5\%$$

$$Melaza = 96.16 \text{ Ton/día}$$

Cálculo de las Toneladas de Sacarosa en Melaza:

$$Ton Pol Melaza = Melaza \times Pol\%Melaza$$

$$Ton Pol Melaza = 96.16 \times 35.93\%$$

$$Ton Pol Melaza = 34.55 \text{ Ton/día}$$

Cálculo de las Toneladas de Torta de Cachaza al día:

$$Torta de Cachaza = Caña Neta \times Cachaza\%Caña$$

$$Torta de Cachaza = 2747.37 \times 2.37\%$$

$$Torta de Cachaza = 65.11 \text{ Ton/día}$$

Cálculo de las Toneladas de Sacarosa en Cachaza:

$$Ton Pol Cachaza = Torta de Cachaza \times Pol\%Cachaza$$

$$Ton Pol Cachaza = 65.11 \times 0.8\%$$

$$Ton Pol Cachaza = 0.52 \text{ Ton/día}$$

Cálculo del Porcentaje de las Pérdidas Indeterminadas:

$$1. \text{ Ton Pol Bagazo}\%Ton Pol Caña = \frac{Ton Pol Bagazo}{Ton Pol Caña} \times 100\%$$

$$Ton Pol Bagazo\%Ton Pol Caña = \frac{24.89}{359.03} \times 100\%$$

$$Ton Pol Bagazo\%Ton Pol Caña = 6.93\%$$

$$2. \text{Ton Pol Melaza} \% \text{Ton Pol Caña} = \frac{\text{Ton Pol Melaza}}{\text{Ton Pol Caña}} \times 100\%$$

$$\text{Ton Pol Bagazo} \% \text{Ton Pol Caña} = \frac{34.55}{359.03} \times 100\%$$

$$\text{Ton Pol Bagazo} \% \text{Ton Pol Caña} = 9.62\%$$

$$3. \text{Ton Pol Cachaza} \% \text{Ton Pol Caña} = \frac{\text{Ton Pol Cachaza}}{\text{Ton Pol Caña}} \times 100\%$$

$$\text{Ton Pol Cachaza} \% \text{Ton Pol Caña} = \frac{0.5208}{359.03} \times 100\%$$

$$\text{Ton Pol Cachaza} \% \text{Ton Pol Caña} = 0.145\%$$

$$P. \text{ Indeterminadas} = 100\% - (\text{Recobrado} + \text{Ton Pol Bagazo} \% \text{Ton Pol Caña} + \text{Ton Pol}$$

$$\text{Melaza} \% \text{Ton Pol Caña} + \text{Ton Pol Cachaza} \% \text{Ton Pol Caña})$$

$$P. \text{ Indeterminadas} = 100\% - (81.60 + 6.93 + 9.62 + 0.145)\%$$

$$P. \text{ Indeterminadas} = 1.705\%$$

FIGURA

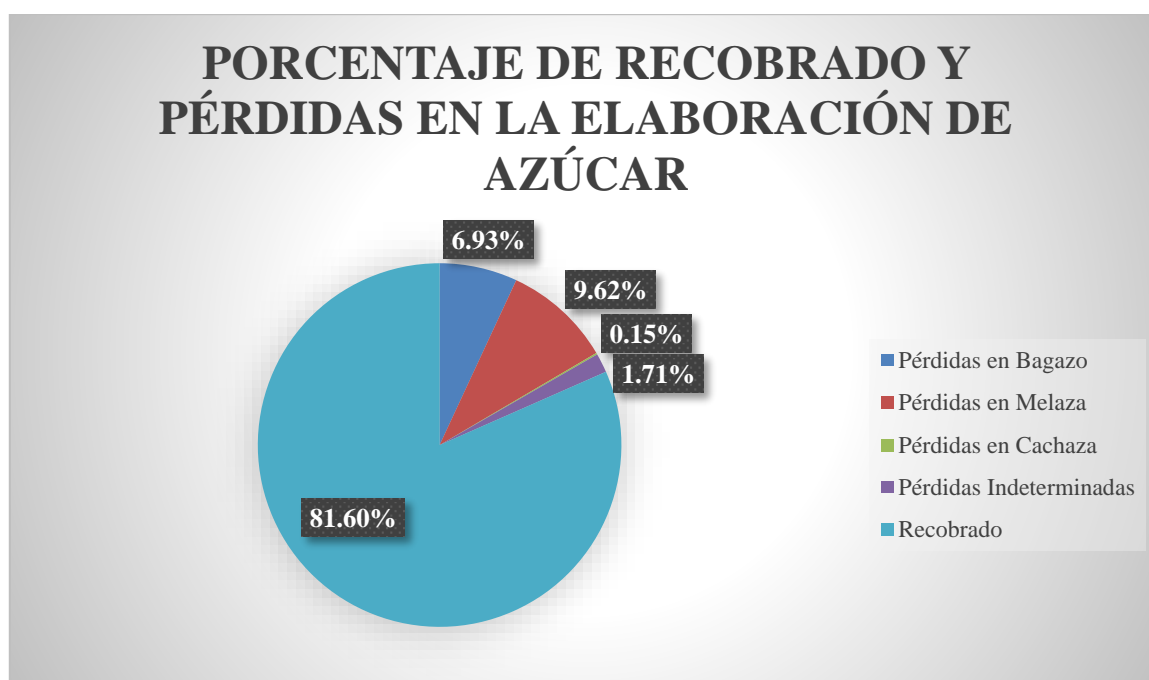


Figura 10. Porcentaje de Recobrado y Pérdidas en la Elaboración de Azúcar.

Cálculo de las bolsas de azúcar producidas:

$$\text{Azúcar} = \text{Ton Pol Caña} \times \text{Pol en Azúcar} \times \text{Recobrado}$$

$$\text{Azúcar} = 359.03 \times 0.981 \times 0.816 \times 20$$

$$\text{Azúcar} = 5748.04 \text{ Bolsas}$$

Se considerará el %Pol en Cachaza en 0.8% para una estación de filtrado en óptimas condiciones (de acuerdo a estudios realizados en otros ingenios azucareros), sin embargo, el valor real se deberá demostrar de manera experimental después de la modernización del filtro. En el siguiente cuadro se calculará la cantidad de bolsas perdidas por el incremento gradual de Pol en la torta de cachaza.

Tabla 7
Cálculo de las Bolsas de Azúcar Perdidas

Pol Torta de Cachaza	Toneladas de Torta de Cachaza	Ton Pol en Cachaza = Ton Torta Cachaza x Pol Torta Cachaza	Diferencia de Ton de Pol	Bolsas de Azúcar Perdidas
0.80%	65.11 Ton/día	0.52	0	0
1.00%	65.11 Ton/día	0.65	0.13	2.60
1.20%	65.11 Ton/día	0.78	0.26	5.21
1.40%	65.11 Ton/día	0.91	0.39	7.81
1.60%	65.11 Ton/día	1.04	0.52	10.42
1.80%	65.11 Ton/día	1.17	0.65	13.02
2.00%	65.11 Ton/día	1.30	0.78	15.63
2.20%	65.11 Ton/día	1.43	0.91	18.23
2.40%	65.11 Ton/día	1.56	1.04	20.84
2.60%	65.11 Ton/día	1.69	1.17	23.44
2.80%	65.11 Ton/día	1.82	1.30	26.04
3.00%	65.11 Ton/día	1.95	1.43	28.65
3.11%	65.11 Ton/día	2.02	1.50	30.08

Fuente: Elaboración Propia.

Entonces con el aumento de Pol en la torta de cachaza a 3.11% se ve reflejado en la pérdida de 30 bolsas de azúcar por día.

4.2. Dimensionamiento de Equipos Mecánicos que Intervienen en la Modernización del Filtro Rotativo al Vacío

4.2.1. Regímenes de Filtración. Existen dos tipos de regímenes de filtración en los filtros rotativos al vacío, a presión constante y a velocidad constante.

4.2.1.1. Filtración a Presión Constante. Se realiza cuando se filtra un líquido turbio que forma una torta apenas sensible a la presión, el líquido turbio llega al filtro con una presión que se ha de mantener constante durante toda la operación, lo cual indica que la velocidad de filtración ha de ir disminuyendo, pues a medida que crece el espesor de la torta la resistencia a la filtración es mayor.

4.2.1.2. Filtración a Velocidad Constante. La filtración a velocidad constante se inicia a presión baja, la cual ha de ir elevándose a medida que transcurre el proceso (aumento del espesor de la torta) para mantener constante la velocidad de filtración.

El filtro que opera en el ingenio Pomalca es de régimen a velocidad constante, por medio de diferencias de presión entre la entrada de la suspensión y la salida del filtrado se succiona el jugo filtrado. A lo largo del proceso se presentan dos resistencias, la resistencia que ofrece la torta y la resistencia del medio filtrante (malla), sin embargo, la resistencia del medio filtrante es despreciable en comparación con la resistencia de la torta.

4.2.2. Cálculo del Área de Filtración y Selección de Malla.

Datos del filtro:

Tabla 8

Datos Técnicos del Filtro Rotatorio al Vacío

Item	Unidad
Diámetro del Tambor	10 pies = 120 pulg
Largo del Tambor	16 pies = 160 pulg
Tiempo del Ciclo	5.2 minutos
Fracción del área sumergida	1/3

Fuente: Elaboración Propia.

$$\text{Área de filtrado} = \text{Área lateral del tambor}$$

$$\text{Área de filtrado} = \pi \times \text{Diámetro del Tambor} \times \text{Largo del Tambor}$$

$$\text{Área de filtrado} = \pi \times 120 \text{ pulg} \times 160 \text{ pulg}$$

$$\text{Área de filtrado} = 72345.6 \text{ pulg}^2$$

$$\text{Área de filtrado} = 46.67 \text{ m}^2$$

El ingenio azucarero Pomalca trabaja con malla de 0.5 mm de diámetro de las perforaciones con una densidad de aproximadamente 116 agujeros por cm^2 , pero un estudio experimental de Polonio en 2004 en 13 ingenios azucareros demostró los siguiente, “Los mejores resultados se obtienen con una malla de acabado superficial fino obtenida mediante el proceso químico de foto-corrosión, con 143 agujeros de 0.5 mm de diámetro por cm^2 , la cual logró claramente la tasa de filtración más elevada” (Rein, 2012).

El tambor cuenta con 24 secciones de 15.75 pulgadas de ancho por 192 pulgadas de largo, se añadirá 1 pulgada por cada lado al ancho para la sujeción al tambor, por lo tanto, se

necesitará 24 secciones de 0.020 pulgadas de espesor por 17.75 pulgadas de ancho por 192 pulgadas de largo.

4.2.3. Cálculo de la Caída de Presión en la Torta. Ecuación que rige a los filtros rotatorios continuos al vacío:

$$U = \frac{A \cdot t}{V} = \frac{\mu \cdot \alpha^* \cdot C}{2 \Delta P^{(1-S)}} \left(\frac{V}{A} \right) + \frac{R_M \cdot \mu}{\Delta P} \dots\dots (1)$$

Donde:

U : Velocidad de Filtración

A : Área de filtración

t : Tiempo que permanece sumergido el filtro

V : Volumen de jugo filtrado

μ : Viscosidad del lodo

α^* : Resistencia específica de la torta

C : Concentración de sólidos

ΔP : Caída de presión en el filtro

S : Coeficiente de compresibilidad

R_M : Resistencia del medio filtrante

Considerando la resistencia del medio filtrante igual a cero y despejando la ecuación queda:

$$\Delta P^{(1-S)} = \frac{\mu \cdot \alpha^* \cdot C}{2t} \left(\frac{V^2}{A^2} \right) \dots\dots (2)$$

Datos brindados por laboratorio y fábrica:

Tabla 9
Datos de Laboratorio y Fábrica en Ingenio Pomalca.

Item	Unidad
μ	$8.535 \times 10^{-6} \text{ lb.f.s} / \text{pulg}^2$
α^*	$8.037 \times 10^6 \frac{\text{pulg}^{1.276}}{\text{lb}^{1.138} \text{ f}^{0.138}}$
Masa de jugo filtrado	81.71 Ton
Densidad del jugo filtrado ($\rho_{\text{Jugo filtrado}}$)	$1050 \text{ kg} / \text{m}^3$
Densidad de la torta (ρ_{Torta})	$199.79 \text{ kg} / \text{m}^3$
Altura de la torta antes del filtrado	29 mm
Altura de la torta después del filtrado	25 mm

Fuente: Elaboración Propia.

Calculando el volumen de la torta y el jugo filtrado:

$$V_{\text{torta}} = \frac{\text{Masa de la torta}}{\rho_{\text{Torta}}}$$

$$V_{\text{jugo filtrado}} = \frac{\text{Masa jugo filtrado}}{\rho_{\text{Jugo filtrado}}}$$

$$V_{\text{torta}} = \frac{65110 \text{ kg}}{199.79 \text{ kg/m}^3}$$

$$V_{\text{jugo filtrado}} = \frac{81710 \text{ kg}}{1050 \text{ kg/m}^3}$$

$$V_{\text{torta}} = 325.89 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{jugo filtrado}} = 77.82 \text{ m}^3$$

Cálculo de la concentración de sólidos en solución (C):

Volumen de lodo que ingresa al filtro es la suma del volumen de la torta más el volumen del jugo filtrado.

$$V_{\text{lodo}} = V_{\text{torta}} + V_{\text{jugo filtrado}}$$

$$V_{\text{lodo}} = 325.89 \text{ m}^3 + 77.82 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{lodo}} = 403.71 \text{ m}^3$$

Entonces por regla de tres simple se calcula la concentración de sólidos en solución.

V lodo	Masa de Torta Filtrada
403.71 m ³	65110 kg
1 m ³	C

$$C = 161.28 \text{ kg} / \text{m}^3 = 5.828 \times 10^{-3} \text{ lb} / \text{pulg}^3$$

Cálculo del coeficiente de compresibilidad de la torta:

$$S = \frac{\text{Altura de la torta antes del filtrado} - \text{Altura de la torta despues del filtrado}}{\text{Altura de la torta antes del filtrado}}$$

$$S = \frac{29 \text{ mm} - 25 \text{ mm}}{29 \text{ mm}}$$

$$S = 0.138$$

Reemplazando en la formula (2):

$$\Delta P^{(1-S)} = \frac{\mu \cdot \alpha^* \cdot C}{2t} \left(\frac{V^2}{A^2} \right) \dots\dots (2)$$

$$\Delta P^{(1-0.138)} = \frac{8.535 \times 10^{-6} \text{ lb.f.s/pulg}^2 \times 8.037 \times 10^6 \text{ pulg}^{1.276} / (\text{lb}^{1.138} \cdot \text{f}^{0.138}) \times 5.828 \times 10^{-3} \text{ lb / pulg}^3}{2 \times \left(\frac{5.2}{3} \right) \times 60 \text{ s}} \times \frac{(77.89 \text{ m}^3)^2}{(46.67 \text{ m}^2)^2}$$

$$\Delta P^{0.862} = 5.3443 \times 10^{-3} \frac{\text{lb}^{0.862} \cdot \text{f}^{0.862} \cdot \text{m}^2}{\text{pulg}^{3.724}} \times \frac{(39.37 \text{ pulg})^2}{1 \text{ m}^2}$$

$$\Delta P^{0.862} = 8.2831 \frac{\text{lb}^{0.862} \cdot \text{f}^{0.862}}{\text{pulg}^{1.724}}$$

$$\Delta P = 11.62 \frac{\text{lb.f}}{\text{pulg}^2}$$

$$\Delta P = 11.62 \frac{\text{lb.f}}{\text{pulg}^2} = 23.66 \text{ pulg Hg}$$

Entonces para la selección de la bomba de vacío se necesitaría un vacío de 24 pulg Hg = 812.7 mm Bar.

4.2.4. Cálculo y Selección de la Bomba de Vacío. Se considerará el agua de servicio del anillo líquido a temperatura ambiente (25°C), el tanque condensador del Filtro Rotatorio al Vacío trabaja a una tasa de 902.3 kg / hr de aire saturado en vapor de agua a una temperatura de 40°C (313K), del cálculo anterior la presión de succión de la bomba sería de 812.7 mbar y teniendo en cuenta que la presión de saturación del agua a 40°C es 73.8 mbar.

En las bombas de vacío de anillo líquido con los canales interálabes encerrados entre el cubo y el anillo líquido se cumple la Ley de Dalton y si el aire aspirado por la bomba, no está saturado de humedad, puede llegar a saturarse totalmente debido a la evaporación del agua del anillo.

El caudal total que debe manipular la bomba se obtiene de la siguiente formula:

$$V = \frac{83.14 \times T \times \left(\frac{G_A}{M_A} + \frac{G_V}{M_V} \right)}{P}, (m^3/h)$$

Donde:

T = Temperatura de la mezcla, K

P = Presión total, mbar

G_A = Flujo másico de aire, kg/h

G_V = Flujo másico de vapor, kg/h

M_A = Masa molecular del aire, 28.97 kg/kmol

M_V = Masa molecular del vapor, 18 kg/kmol

83.14 = Constante universal de gases ideales, mbar. m^3 /kmol.K

Calculando la presión del aire:

$$P_{mezcla} = P_{aire} + P_{vapor}$$

$$P_{aire} = P_{mezcla} - P_{vapor}$$

$$P_{aire} = 812.7 \text{ mbar} - 73.8 \text{ mbar}$$

$$P_{aire} = 738.9 \text{ mbar}$$

Calculando la masa de vapor por unidad de tiempo previo al ingreso de la bomba:

$$G_V = G_A \times \frac{M_V}{M_A} \times \frac{P_V}{P_A}$$

$$G_V = 902.93 \text{ kg/h} \times \frac{18 \text{ kg/kmol}}{28.97 \text{ kg/kmol}} \times \frac{73.8 \text{ mbar}}{738.9 \text{ mbar}}$$

$$G_V = 56.03 \text{ kg/h}$$

Entonces reemplazando datos en la ecuación:

$$V = \frac{83.14 \times T \times \left(\frac{G_A}{M_A} + \frac{G_V}{M_V} \right)}{P}$$

$$V = \frac{83.14 \text{ mbar} \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{kmol} \cdot \text{K}} \times 313 \text{ K} \times \left(\frac{56.03 \text{ kg/h}}{18 \text{ kg/kmol}} + \frac{902.93 \text{ kg/h}}{28.97 \text{ kg/kmol}} \right)}{812.7 \text{ mbar}}$$

$$V = 1097.67 \text{ m}^3/\text{h}$$

Los datos para la selección de la bomba de vacío son los siguientes:

$$P_{vacío} = 812.7 \text{ mbar}$$

$$\text{Volumen a evacuar} = 1100 \text{ m}^3/\text{h}$$

Del catálogo de Boc Edwards se selecciona la Bomba de Vacío de Anillo Liquido de una Etapa Alpha 14+.

Interceptando los valores de presión (812.7 mbar) y Capacidad de succión (1100 m³/h) la bomba se encuentra en el rango de operación a una velocidad de 1070 rpm

FIGURA

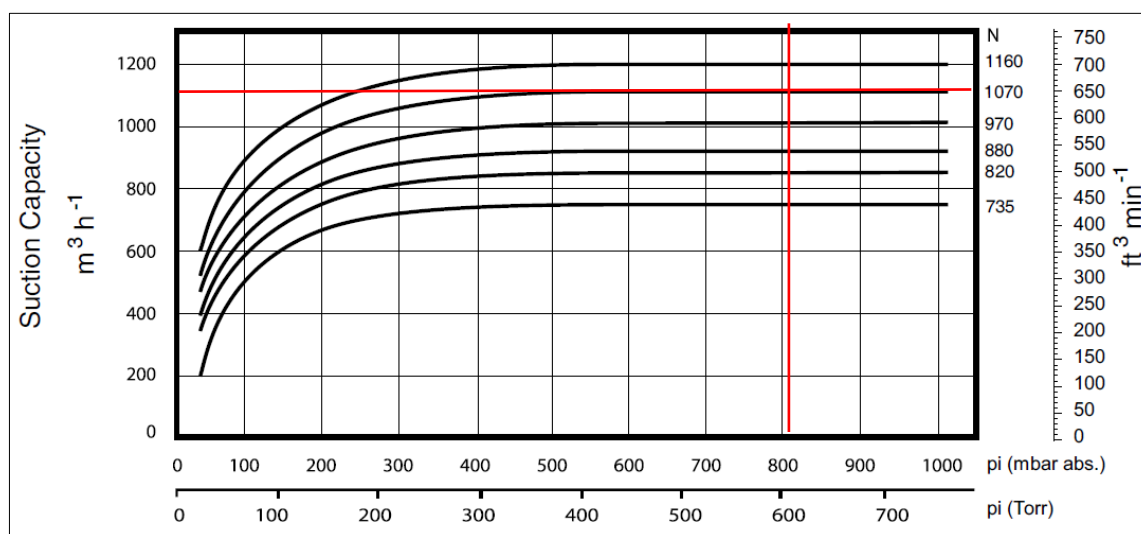


Figura 11. Gráfica de Volumen vs Presión de Bomba Alpha 14+. Recuperada del catálogo de Boc Edwards.

Interceptando la presión (812.7 mbar = 609.6 mmHg) con la velocidad de 1070 rpm muestra una potencia de 27 kW, pero se elegirá un motor de potencia estandar de 30 kW.

FIGURA

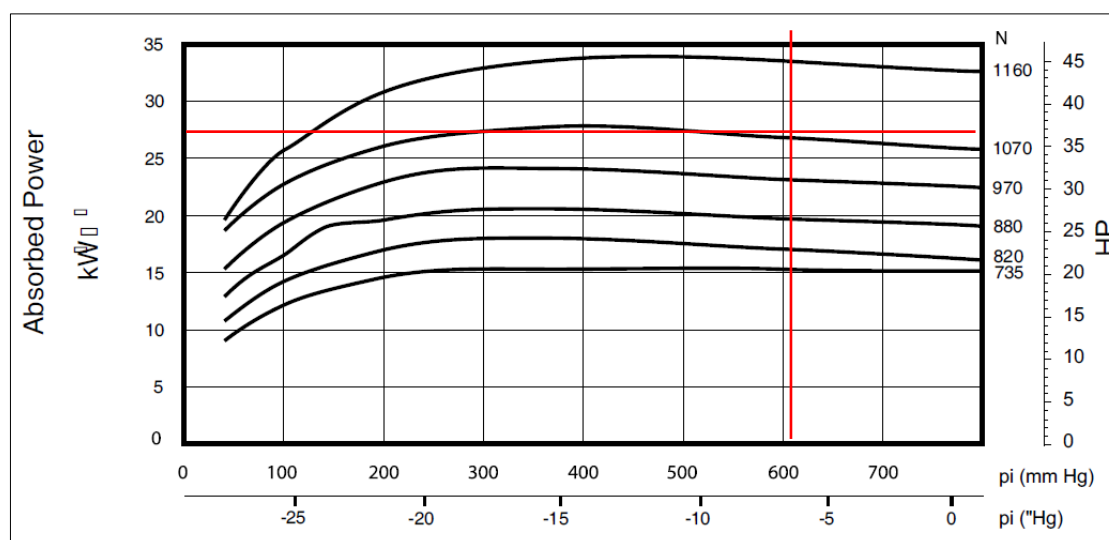


Figura 12. Gráfica de Potencia vs Presión de Bomba Alpha 14+. Recuperada del catálogo de Boc Edwards.

4.3. Propuesta de Tareas de Mantenimiento al Área de Filtrado

4.3.1. Cartilla de Mantenimiento para el Filtro Rotativo al Vacío.

FIGURA

EMPRESA AGROINDUSTRIAL POMALCA S.A				
CARTILLA DE MANTENIMIENTO				
FILTRO ROTATIVO AL VACÍO				
EQUIPO		Tiempo de Realización		Fecha:
Área:		De:	A:	/ /
Código:		Trabajador:		
TAMBOR				
SERVICIO A REALIZAR		FRECUENCIA	REALIZADA	
Verificar si hay soldadura de pernos de la estructura		Semanal	<input type="radio"/>	
Limpiar con agua a presión las mallas		Semanal	<input type="radio"/>	
Verificar si hay desgaste y/o rotura de mallas		Semanal	<input type="radio"/>	
Verificar corrosión en el tambor		Semanal	<input type="radio"/>	
Lubricar chumaceras del eje del tambor		Semanal	<input type="radio"/>	
Monitorear temperatura de las chumaceras		Diario	<input type="radio"/>	
Realizar limpieza de los aspersores de agua de lavado		Semanal	<input type="radio"/>	
MOTOR ELÉCTRICO 5KW DE ACCIONAMIENTO DEL TAMBOR				
SERVICIO A REALIZAR		FRECUENCIA	REALIZADA	
Verificar estado y ajuste de los cables, terminales y conexiones		4 Semanas	<input type="radio"/>	
Medir y registrar la resistencia de aislamiento		24 Semanas	<input type="radio"/>	
Monitorear vibración con vibropen y analizar tendencia		Semanal	<input type="radio"/>	
Realizar limpieza del ventilador, caja de conexiones y carcasa		2 Semanas	<input type="radio"/>	
Monitorear temperatura de la carcasa del motor en los lados del rodamiento		Diario	<input type="radio"/>	
Verificar y ajustar pernos de base del motor y tapa del ventilador		4 Semanas	<input type="radio"/>	
CAJA REDUCTORA				
SERVICIO A REALIZAR		FRECUENCIA	REALIZADA	
Verificar nivel de aceite		Semanal	<input type="radio"/>	
Monitorear vibración con vibropen y analizar tendencia		Semanal	<input type="radio"/>	
Inspeccionar estado del filtro respirador		Semanal	<input type="radio"/>	
Inspeccionar fugas de aceite		Diario	<input type="radio"/>	
Monitorear temperatura de la carcasa		Diario	<input type="radio"/>	
Observaciones:				
_____ Trabajador		_____ Ingeniero de Mantenimiento		

Figura 13. Cartilla de Mantenimiento de Filtro Rotativo al Vacío.

4.3.2. Cartilla de Mantenimiento de Bomba de Vacío.

FIGURA

EMPRESA AGROINDUSTRIAL POMALCA S.A				
CARTILLA DE MANTENIMIENTO				
BOMBA DE VACÍO				
EQUIPO		Tiempo de Realización		Fecha:
Área:		De:	A:	/ /
Código:		Trabajador:		
BOMBA				
SERVICIO A REALIZAR		FRECUENCIA	REALIZADA	
Verificar si hay soltura de pernos de la base		Semanal	<input type="radio"/>	
Monitorear temperatura de rodamientos y analizar tendencia		Diario	<input type="radio"/>	
Monitorear vibraciones con vibropen y analizar tendencia		Semanal	<input type="radio"/>	
Inspeccionar fugas por sellos		Diario	<input type="radio"/>	
Lubricar rodamientos		Semanal	<input type="radio"/>	
Monitorear temperatura del agua de servicio		Diario	<input type="radio"/>	
MOTOR ELÉCTRICO 30 KW DE ACCIONAMIENTO				
SERVICIO A REALIZAR		FRECUENCIA	REALIZADA	
Verificar estado y ajuste de los cables, terminales y conexiones		4 Semanas	<input type="radio"/>	
Medir y registrar la resistencia de aislamiento		24 Semanas	<input type="radio"/>	
Monitorear vibracion con vibropen y analizar tendencia		Semanal	<input type="radio"/>	
Realizar limpieza del ventilador, caja de conecciones y carcasa		2 Semanas	<input type="radio"/>	
Registrar tensión y corriente		Diario	<input type="radio"/>	
Monitorear temperatura de la carcasa del motor en los lados del rodamiento		Diario	<input type="radio"/>	
Verificar y ajustar pernos de base del motor y tapa del ventilador		4 Semanas	<input type="radio"/>	
<div style="border: 1px solid black; height: 100px; margin-bottom: 20px;"></div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%; text-align: center;"> <hr style="border: 0; border-top: 1px solid black; margin-bottom: 5px;"/> Trabajador </div> <div style="width: 45%; text-align: center;"> <hr style="border: 0; border-top: 1px solid black; margin-bottom: 5px;"/> Ingeniero de Mantenimiento </div> </div>				

Figura 14. Cartilla de Mantenimiento de Bomba de Vacío.

4.3.3. Cartilla de Mantenimiento de Gusano Transportador de Cachaza.

FIGURA

EMPRESA AGROINDUSTRIAL POMALCA S.A					
CARTILLA DE MANTENIMIENTO					
GUSANO TRANSPORTADOR DE CACHAZA					
EQUIPO		Tiempo de Realización		Fecha:	
Área:		De:	A:	/	/
Código:		Trabajador:			
GUSANO TRANSPORTADOR					
SERVICIO A REALIZAR			FRECUENCIA	REALIZADA	
Verificar si hay soltura de pernos			Semanal	<input type="radio"/>	
Lubricar rodamientos			Semanal	<input type="radio"/>	
MOTOR ELÉCTRICO 4 KW DE ACCIONAMIENTO					
SERVICIO A REALIZAR			FRECUENCIA	REALIZADA	
Verificar estado y ajuste de los cables, terminales y conexiones			4 Semanas	<input type="radio"/>	
Medir y registrar la resistencia de aislamiento			24 Semanas	<input type="radio"/>	
Monitorear vibracion con vibropen y analizar tendencia			Semanal	<input type="radio"/>	
Realizar limpieza del ventilador, caja de conecciones y carcasa			2 Semanas	<input type="radio"/>	
Registrar tensión y corriente			Diario	<input type="radio"/>	
Monitorear temperatura de la carcasa del motor en los lados del rodamiento			Diario	<input type="radio"/>	
Verificar y ajustar pernos de base del motor y tapa del ventilador			4 Semanas	<input type="radio"/>	
CAJA REDUCTORA					
SERVICIO A REALIZAR			FRECUENCIA	REALIZADA	
Verificar nivel de aceite			Semanal	<input type="radio"/>	
Monitorear vibración con vibropen y analizar tendencia			Semanal	<input type="radio"/>	
Inspeccionar estado del filtro respirador			Semanal	<input type="radio"/>	
Inspeccionar fugas de aceite			Diario	<input type="radio"/>	
Monitorear temperatura de la carcasa			Diario	<input type="radio"/>	
<div style="border: 1px solid black; height: 60px; margin-bottom: 10px;"></div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%; text-align: center;"> <div style="border-top: 1px solid black; margin-bottom: 5px;"></div> Trabajador </div> <div style="width: 45%; text-align: center;"> <div style="border-top: 1px solid black; margin-bottom: 5px;"></div> Ingeniero de Mantenimiento </div> </div>					

Figura 15. Cartilla de Mantenimiento de Gusano Transportador de Cachaza.

4.3.4. Cartilla de Mantenimiento de Agitador de Lodos.

FIGURA

EMPRESA AGROINDUSTRIAL POMALCA S.A				
CARTILLA DE MANTENIMIENTO				
AGITADOR DE LODOS				
EQUIPO		Tiempo de Realización		Fecha:
Área:		De:	A:	/ /
Código:		Trabajador:		
AGITADOR				
SERVICIO A REALIZAR		FRECUENCIA	REALIZADA	
Verificar si hay soltura de pernos		Semanal	<input type="radio"/>	
Lubricar rodamientos		Semanal	<input type="radio"/>	
MOTOR ELÉCTRICO 5 KW DE ACCIONAMIENTO				
SERVICIO A REALIZAR		FRECUENCIA	REALIZADA	
Verificar estado y ajuste de los cables, terminales y conexiones		4 Semanas	<input type="radio"/>	
Medir y registrar la resistencia de aislamiento		24 Semanas	<input type="radio"/>	
Monitorear vibración con vibropen y analizar tendencia		Semanal	<input type="radio"/>	
Realizar limpieza del ventilador, caja de conexiones y carcasa		2 Semanas	<input type="radio"/>	
Registrar tensión y corriente		Diario	<input type="radio"/>	
Monitorear temperatura de la carcasa del motor en los lados del rodamiento		Diario	<input type="radio"/>	
Verificar y ajustar pernos de base del motor y tapa del ventilador		4 Semanas	<input type="radio"/>	
CAJA REDUCTORA				
SERVICIO A REALIZAR		FRECUENCIA	REALIZADA	
Verificar nivel de aceite		Semanal	<input type="radio"/>	
Monitorear vibración con vibropen y analizar tendencia		Semanal	<input type="radio"/>	
Inspeccionar estado del filtro respirador		Semanal	<input type="radio"/>	
Inspeccionar fugas de aceite		Diario	<input type="radio"/>	
Monitorear temperatura de la carcasa		Diario	<input type="radio"/>	
Observaciones:				
_____ Trabajador		_____ Ingeniero de Mantenimiento		

Figura 16. Cartilla de Mantenimiento de Agitador de Lodos.

4.3.5. Cartilla de Mantenimiento de Mezclador de Lodo y Bagacillo

FIGURA

EMPRESA AGROINDUSTRIAL POMALCA S.A				
CARTILLA DE MANTENIMIENTO				
MEZCLADOR DE LODO Y BAGACILLO				
EQUIPO		Tiempo de Realización		Fecha:
Área:		De:	A:	/ /
Código:		Trabajador:		
MEZCLADOR				
SERVICIO A REALIZAR		FRECUENCIA	REALIZADA	
Verificar si hay soltura de pernos		Semanal	<input type="radio"/>	
Lubricar rodamientos		Semanal	<input type="radio"/>	
MOTOR ELÉCTRICO 3 KW DE ACCIONAMIENTO				
SERVICIO A REALIZAR		FRECUENCIA	REALIZADA	
Verificar estado y ajuste de los cables, terminales y conexiones		4 Semanas	<input type="radio"/>	
Medir y registrar la resistencia de aislamiento		24 Semanas	<input type="radio"/>	
Monitorear vibración con vibropen y analizar tendencia		Semanal	<input type="radio"/>	
Realizar limpieza del ventilador, caja de conexiones y carcasa		2 Semanas	<input type="radio"/>	
Registrar tensión y corriente		Diario	<input type="radio"/>	
Monitorear temperatura de la carcasa del motor en los lados del rodamiento		Diario	<input type="radio"/>	
Verificar y ajustar pernos de base del motor y tapa del ventilador		4 Semanas	<input type="radio"/>	
TRANSMISIÓN POR ENGRANAJES				
SERVICIO A REALIZAR		FRECUENCIA	REALIZADA	
Verificar nivel de aceite		Semanal	<input type="radio"/>	
Monitorear vibración con vibropen y analizar tendencia		Semanal	<input type="radio"/>	
Inspeccionar desgaste o rotura de dientes de los engranajes		Semanal	<input type="radio"/>	
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">Observaciones:</div>				
<div style="border-top: 1px solid black; width: 100%;"></div>		<div style="border-top: 1px solid black; width: 100%;"></div>		
Trabajador		Ingeniero de Mantenimiento		

Figura 17. Cartilla de Mantenimiento de Lodo y Bagacillo.

4.3.6. Cartilla de Mantenimiento de Bomba de Filtrado

FIGURA

EMPRESA AGROINDUSTRIAL POMALCA S.A				
CARTILLA DE MANTENIMIENTO				
BOMBA DE FILTRADO				
EQUIPO		Tiempo de Realización		Fecha:
Área:		De:	A:	/ /
Código:		Trabajador:		
BOMBA				
SERVICIO A REALIZAR		FRECUENCIA	REALIZADA	
Verificar si hay soltura de pernos de la base		Semanal	<input type="radio"/>	
Monitorear temperatura de rodamientos y analizar tendencia		Diario	<input type="radio"/>	
Monitorear vibraciones con vibropen y analizar tendencia		Semanal	<input type="radio"/>	
Inspeccionar fugas por sellos		Diario	<input type="radio"/>	
Lubricar rodamientos		Semanal	<input type="radio"/>	
MOTOR ELÉCTRICO 15 KW DE ACCIONAMIENTO				
SERVICIO A REALIZAR		FRECUENCIA	REALIZADA	
Verificar estado y ajuste de los cables, terminales y conexiones		4 Semanas	<input type="radio"/>	
Medir y registrar la resistencia de aislamiento		24 Semanas	<input type="radio"/>	
Monitorear vibracion con vibropen y analizar tendencia		Semanal	<input type="radio"/>	
Realizar limpieza del ventilador, caja de conecciones y carcasa		2 Semanas	<input type="radio"/>	
Registrar tensión y corriente		Diario	<input type="radio"/>	
Monitorear temperatura de la carcasa del motor en los lados del rodamiento		Diario	<input type="radio"/>	
Verificar y ajustar pernos de base del motor y tapa del ventilador		4 Semanas	<input type="radio"/>	
Observaciones:				
_____ Trabajador		_____ Ingeniero de Mantenimiento		

Figura 18. Cartilla de Mantenimiento de Bomba de Filtrado.

4.3.7. Cartilla de Mantenimiento de Bomba de Lavado de Torta

FIGURA

EMPRESA AGROINDUSTRIAL POMALCA S.A					
CARTILLA DE MANTENIMIENTO					
BOMBA DE LAVADO DE TORTA					
EQUIPO		Tiempo de Realización		Fecha:	
Área:		De:	A:	/ /	
Código:		Trabajador:			
BOMBA					
SERVICIO A REALIZAR			FRECUENCIA	REALIZADA	
Verificar si hay soltura de pernos de la base			Semanal	<input type="radio"/>	
Monitorear temperatura de rodamientos y analizar tendencia			Diario	<input type="radio"/>	
Monitorear vibraciones con vibropen y analizar tendencia			Semanal	<input type="radio"/>	
Inspeccionar fugas por sellos			Diario	<input type="radio"/>	
Lubricar rodamientos			Semanal	<input type="radio"/>	
MOTOR ELÉCTRICO 3 KW DE ACCIONAMIENTO					
SERVICIO A REALIZAR			FRECUENCIA	REALIZADA	
Verificar estado y ajuste de los cables, terminales y conexiones			4 Semanas	<input type="radio"/>	
Medir y registrar la resistencia de aislamiento			24 Semanas	<input type="radio"/>	
Monitorear vibracion con vibropen y analizar tendencia			Semanal	<input type="radio"/>	
Realizar limpieza del ventilador, caja de conecciones y carcasa			2 Semanas	<input type="radio"/>	
Registrar tensión y corriente			Diario	<input type="radio"/>	
Monitorear temperatura de la carcasa del motor en los lados del rodamiento			Diario	<input type="radio"/>	
Verificar y ajustar pernos de base del motor y tapa del ventilador			4 Semanas	<input type="radio"/>	
SET DE TRANSMISIÓN POR POLEAS					
SERVICIO A REALIZAR			FRECUENCIA	REALIZADA	
Inspeccionar desgaste en poleas y correas de transmisión			4 Semanas	<input type="radio"/>	
Inspeccionar tensado de correas de transmisión			4 Semanas	<input type="radio"/>	
Verificar alineamiento de poleas			4 Semanas	<input type="radio"/>	
Observaciones:					
_____ Trabajador			_____ Ingeniero de Mantenimiento		

Figura 19. Cartilla de Mantenimiento de Bomba de Lavado de Torta.

4.4. Análisis Económico

Dos parámetros usados para evaluar la rentabilidad de un proyecto son el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), estos se utilizarán para demostrar la viabilidad del proyecto.

A continuación, detallará los costos de la inversión:

Tabla 10

Costo de Materiales para Modernizar el Filtro Rotativo al Vacío

Item	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
1. Malla: Sección de 17.75 pulg de ancho por 192 pulg de largo y espesor de 0.02 pulg.	24 Unid	\$ 300.00	\$ 7200.00
2. Bomba de vacío de anillo líquido de una etapa Alpha 14+ más motor eléctrico de 30 Kw.	1 Unid	\$ 27000.00	\$ 27000.00
3. Tubería colectora 1 ¼ pulg de diámetro de acero inoxidable 304.	20 Unid	\$ 332.00	\$ 6640.00
4. Rejillas de polipropileno de 18 pulg de alto por 24 pulg de ancho por 5/8 pulg de espesor.	159 Unid	\$ 50.00	\$ 7950.00
5. Empaque de caucho redondo EPDM de 17/32 pulg de diámetro.	383 Pies	\$ 2.25	\$ 860.00
6. Raspador de 4 pies de longitud por 6 pulg de ancho por 1 pulg de espesor fabricado en acero inoxidable 304 con empaque EPDM de 7/8 pulg de espesor.	4 Unid	\$ 800.00	\$ 3200.00
7. Materiales para conexiónado eléctrico del motor eléctrico de la bomba de vacío.	-	-	\$ 2500.00

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se detallan costos adicionales:

Tabla 11

Costos Adicionales

Item	N° Trab	Hr/Día	Días	\$/HH	Costo Total
1. Desmontaje del tambor del filtro y bomba de vacío antiguos.	6	12	3	5.5	\$ 1188.00
2. Montaje de filtro con mallas nuevas.	6	12	6	5.5	\$ 2376.00
3. Montaje de bomba de vacío y motor nuevos.	3	12	2	5.5	\$ 396.00
4. Ingeniero Supervisor	1	12	9	12	\$ 1296.00
5. Ingeniero de Seguridad	1	12	9	9	\$ 972.00

Fuente: Elaboración Propia

De la Tabla 7 se demuestra que con una reducción del porcentaje de Pol en torta de cachaza a 0.8%, se aprovecharían 30 bolsas de azúcar al día.

Tabla 12

Datos Adicionales para Calcular los Ingresos

Consideraciones	
Días de molienda al mes	27
Meses de molienda al año	11
Precio de bolsa de azúcar de 50 kg	S/.70.00
Tipo de cambio del dólar	S/.3.30

Fuente: Elaboración Propia

Las consideraciones planteadas en la Tabla 12 nos servirán para calcular los ingresos mensuales y anuales con la Modernización del Filtro Rotativo al Vacío.

Tabla 13

Pérdidas con Filtro Antiguo

	Bolsas de	Pérdida en	Pérdida en
	Azúcar	Soles	Dólares
1. Pérdidas de bolsas de azúcar por día con filtro anterior.	30	S/. 2100.00	\$ 636.36
2. Pérdidas de bolsas de azúcar por mes con filtro anterior.	810	S/. 56700.00	\$ 17181.82
3. Pérdidas de bolsas de azúcar por año con filtro anterior.	8910	S/. 623700.00	\$ 189000.00

Fuente: Elaboración Propia

Tomando en cuenta las recomendaciones de mantenimiento predictivo se asumirán los siguientes costos mostrados en la Tabla 14:

Tabla 14

Costos de Mantenimiento Predictivo

	Cantidad	Costo Unitario	Costo Anual
1. Inspector Predictivo.	1	\$ 1500.00	\$ 18000.00
2. Grasa LGHP 2 18kg.	1	\$ 720.00	\$ 720.00
3. Aceite Mobil SHC XMP 320 20 Litros.	2	\$ 350.00	\$ 750.00
4. Otros gastos.	-	-	\$ 5000.00

Fuente: Elaboración Propia

Como se indica en los Tablas 10 y 11, los costos de inversión suman un total de \$ 61578.00 dólares y lo ahorrado por mes con la recuperación de 30 bolsas de azúcar al día es de \$ 17181.82 dólares.

Adicionalmente se asumirán costos de la contratación de un Inspector Predictivo que realice las pruebas indicadas en las cartillas de mantenimiento, el costo anual sería de \$ 24470.00 pero que a largo plazo ahorrarán costos por paradas no programadas.

Teniendo en cuenta estos datos se procederá a calcular el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR).

Tabla 15

Ingresos y Egresos Durante la Vida del Proyecto

Año	Flujo de Beneficio	Flujo de Costo	Flujo de Beneficio Neto
0	\$ 0	\$ 61 578.00	- \$ 61 578.00
1	\$ 189 000.00	\$ 24 470.00	\$ 164 530.00
2	\$ 189 000.00	\$ 24 470.00	\$ 164 530.00
3	\$ 189 000.00	\$ 24 470.00	\$ 164 530.00
4	\$ 189 000.00	\$ 24 470.00	\$ 164 530.00
5	\$ 189 000.00	\$ 24 470.00	\$ 164 530.00
6	\$ 189 000.00	\$ 24 470.00	\$ 164 530.00
7	\$ 189 000.00	\$ 24 470.00	\$ 164 530.00
8	\$ 189 000.00	\$ 24 470.00	\$ 164 530.00
9	\$ 189 000.00	\$ 24 470.00	\$ 164 530.00
10	\$ 189 000.00	\$ 24 470.00	\$ 164 530.00
11	\$ 189 000.00	\$ 24 470.00	\$ 164 530.00
12	\$ 189 000.00	\$ 24 470.00	\$ 164 530.00
13	\$ 189 000.00	\$ 24 470.00	\$ 164 530.00
14	\$ 189 000.00	\$ 24 470.00	\$ 164 530.00
15	\$ 189 000.00	\$ 24 470.00	\$ 164 530.00

Fuente: Elaboración Propia

Cálculo del VAN con la siguiente formula:

$$VAN = -I_0 + \frac{F_1}{(1+K)^1} + \frac{F_2}{(1+K)^2} + \dots + \frac{F_N}{(1+K)^N}$$

Donde:

 I_0 = Inversión Inicial

F = Flujo de Beneficio Neto

K = Tasa de interés

Entonces reemplazando valores en la formula anterior:

$$VAN = -61578 + \frac{164530}{(1+0.12)^1} + \frac{164530}{(1+0.12)^2} + \dots + \frac{164530}{(1+0.12)^{15}}$$

$$VAN = \$ 1\,059\,013.53$$

Con el VAN positivo se demuestra la viabilidad del proyecto.

Para calcular la Tasa Interna de Retorno la teoría nos dice que el VAN debe ser igual a cero, entonces reemplazamos el $VAN = 0$ en la formula anterior:

$$0 = VAN = -I_0 + \frac{F_1}{(1+K)^1} + \frac{F_2}{(1+K)^2} + \dots + \frac{F_N}{(1+K)^N}$$

$$0 = -61578 + \frac{164530}{(1+K)^1} + \frac{164530}{(1+K)^2} + \dots + \frac{164530}{(1+K)^{15}}$$

$$K = 267.19\%$$

Entonces reemplazando el $VAN = 0$, nos muestra que la $TIR = 267.19\%$ que es mayor que la tasa de descuento de 12%, con lo cual también se demuestra que el proyecto es viable.

Con la modernización del Filtro la inversión se recuperaría en 5 meses y luego de esto generaría ganancias a la empresa.

Capítulo V

Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

- Es evidente que la situación actual del filtro rotativo al vacío es deplorable, causando grandes pérdidas a la empresa con el transcurrir de los días, al encontrar pérdidas de 30 bolsas de azúcar al día lo cual se demuestra en este trabajo de investigación en la Tabla 7 en la pág. 37.
- Con la puesta en marcha de los nuevos equipos se eliminarán las paradas imprevistas, ya que con este tipo de bomba de anillo líquido la operación es más confiable y sencilla. Lo cual queda evidenciado en las pág. 44 y 45.
- Con las cartillas de mantenimiento propuestas se realizará un monitoreo de los equipos para poder intervenir o programar el mantenimiento en el momento adecuado, evitando así agravar los daños en los equipos o las pérdidas por paradas imprevistas. Estas cartillas propuestas se encuentran de la pág. 46 a la pág. 52.
- Queda demostrado en la pág. 58 el Análisis Económico que el proyecto de modernización del filtro es totalmente viable, e incluso en el corto periodo de 5 meses se recuperará la inversión y se podrá asumir los costos de implementar tareas de mantenimiento predictivo.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda que con el filtro modernizado se realicen análisis de laboratorio a la cachaza para contrastar el valor de Pol en cachaza, pero según lo demostrado por Peter Rein en filtros operando en buenas condiciones el rango de Pol en cachaza se encontrará entre 0.6 a 0.8%.
- Se deberían tratar las demás pérdidas en la línea de producción expuestas en este trabajo mediante la modernización de los equipos, ya que la antigüedad de la fábrica es el mayor factor que influencia en la producción.
- Se recomienda implementar el mantenimiento predictivo a toda la línea de producción para evitar paradas imprevistas y poder programar el mantenimiento. Aunque en el mantenimiento de clase mundial se hable de mantenimiento predictivo, mantenimiento productivo total (TPM), etc., aún quedan rezagadas las empresas antiguas por la falta de personal calificado o por el desconocimiento del personal involucrado en el mantenimiento.

REFERENCIAS

1. Gómez, F., & Guevara, M. (2014). Factores Asociados a la Productividad de la Caña de Azúcar en la Empresa Agroindustrial Tumán S.A.A: 2008-2012. (*Tesis de Ingeniería*). Universidad Privada Juan Mejía Baca, Chiclayo.
2. Hugot, E. (1986). *Handbook of Cane Sugar Engineering*. Amsterdam, Holanda: Elsevier.
3. Mariátegui, L. (17 de Junio de 2019). *RPP*. Obtenido de <https://rpp.pe/columnistas/leandromariategui/la-industria-azucarera-en-el-peru-noticia-1203330>
4. Mora, A. (2009). *Mantenimiento. Planeación, ejecución y control* (Primera ed.). México D.F., México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.
5. Moubray, J. (2004). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II* (Edición en Español ed.). North Carolina, Estados Unidos: Aladon LLC.
6. Navarro, L., Pastor, C., & Mugaburu, M. (1997). *Gestión integral de mantenimiento*. Barcelona, España: MARCOMBO, S.A.
7. Newbrough, E. (1974). *Administración de mantenimiento industrial* (Primera ed.). México D.F., México: Diana, S.A.
8. Rein, P. (2012). *Ingeniería de la Caña de Azúcar*. Berlín, Alemania: Verlag Dr. Albert Bartens Kt.
9. Romero, G. (2010). El Proceso de Elaboración de Azúcar de Caña. (*Tesis de Ingeniería*). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo.

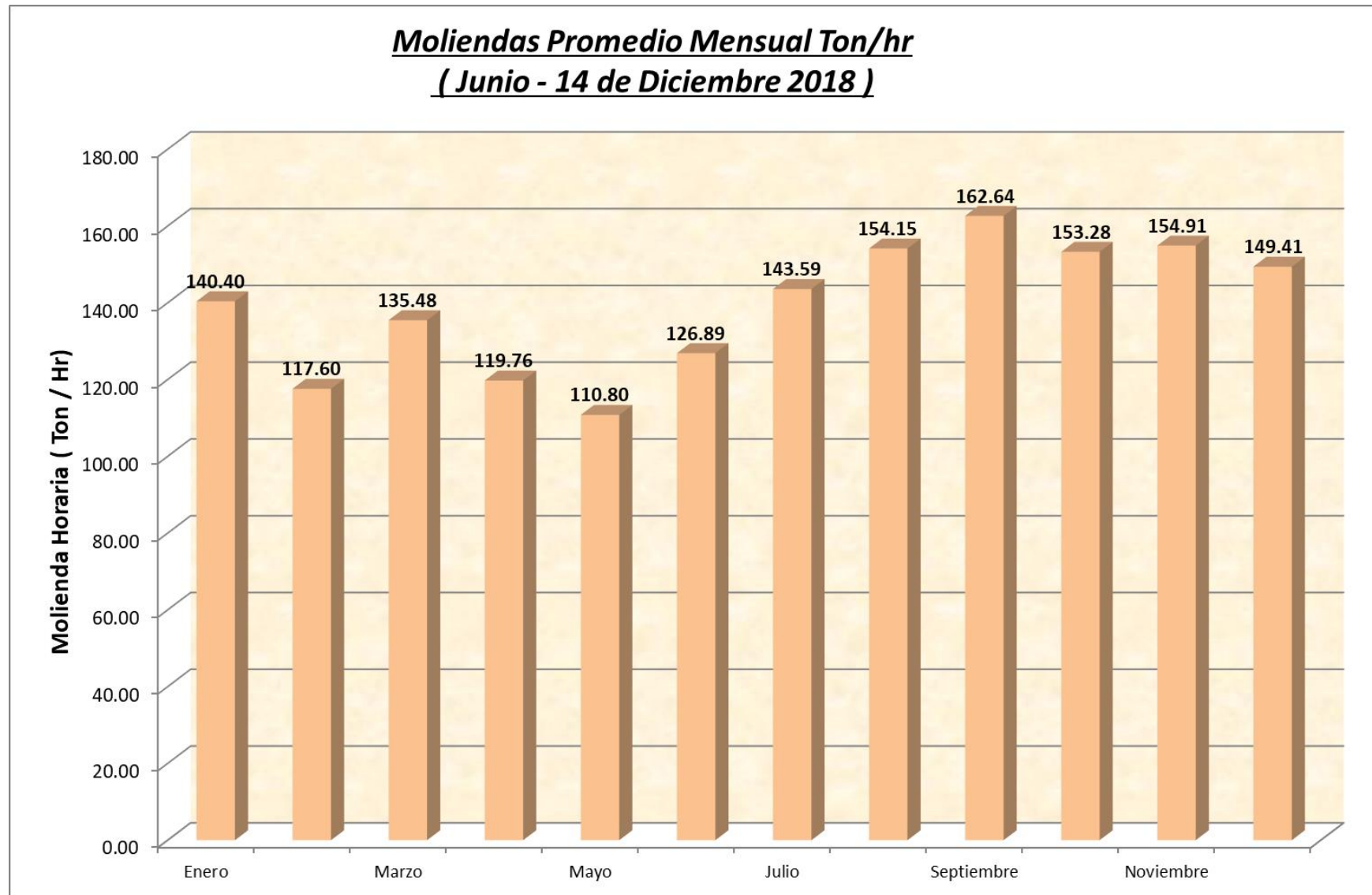
Anexos

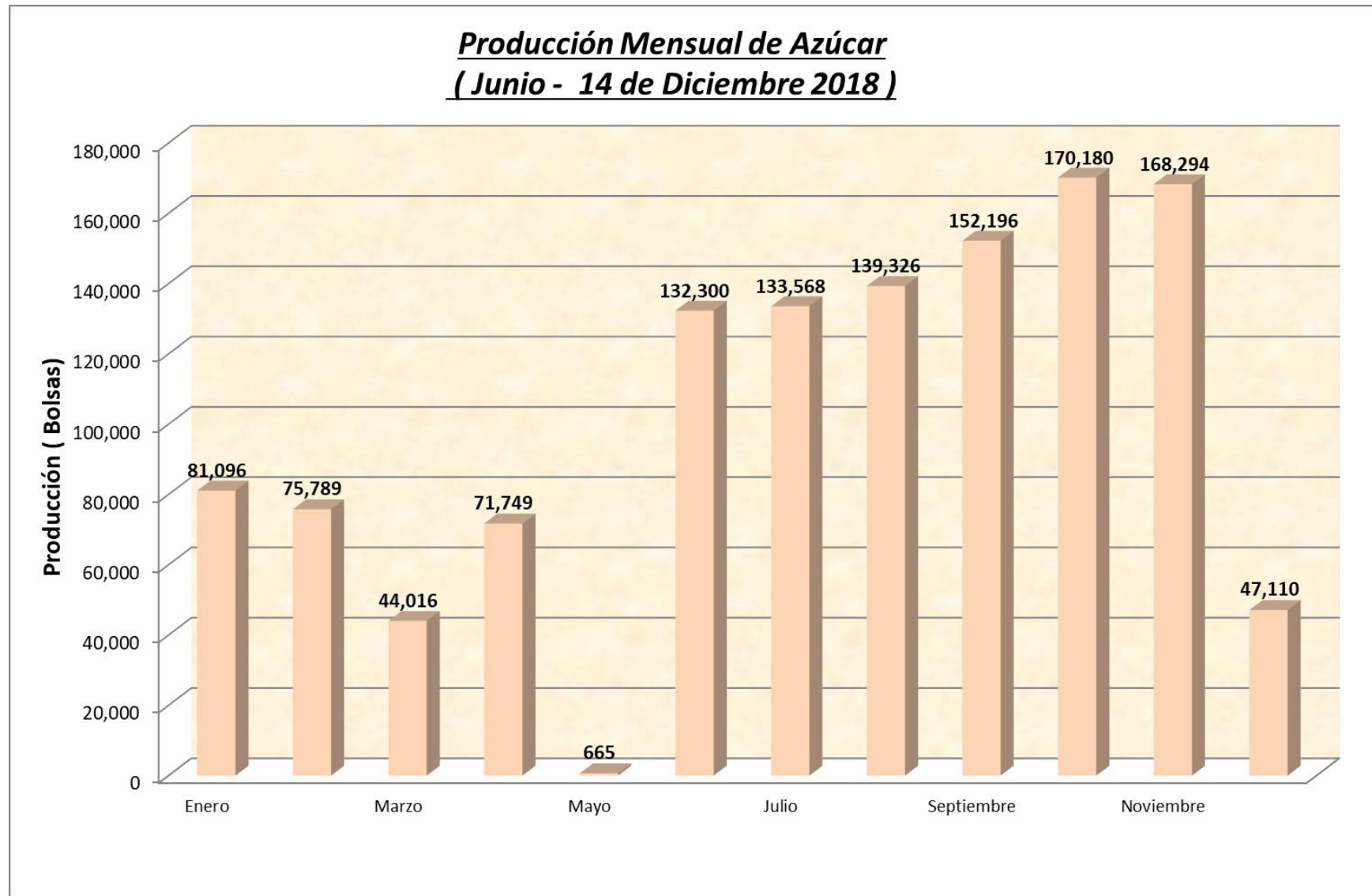
Anexo N°1: Molienda y Producción del Año 2018

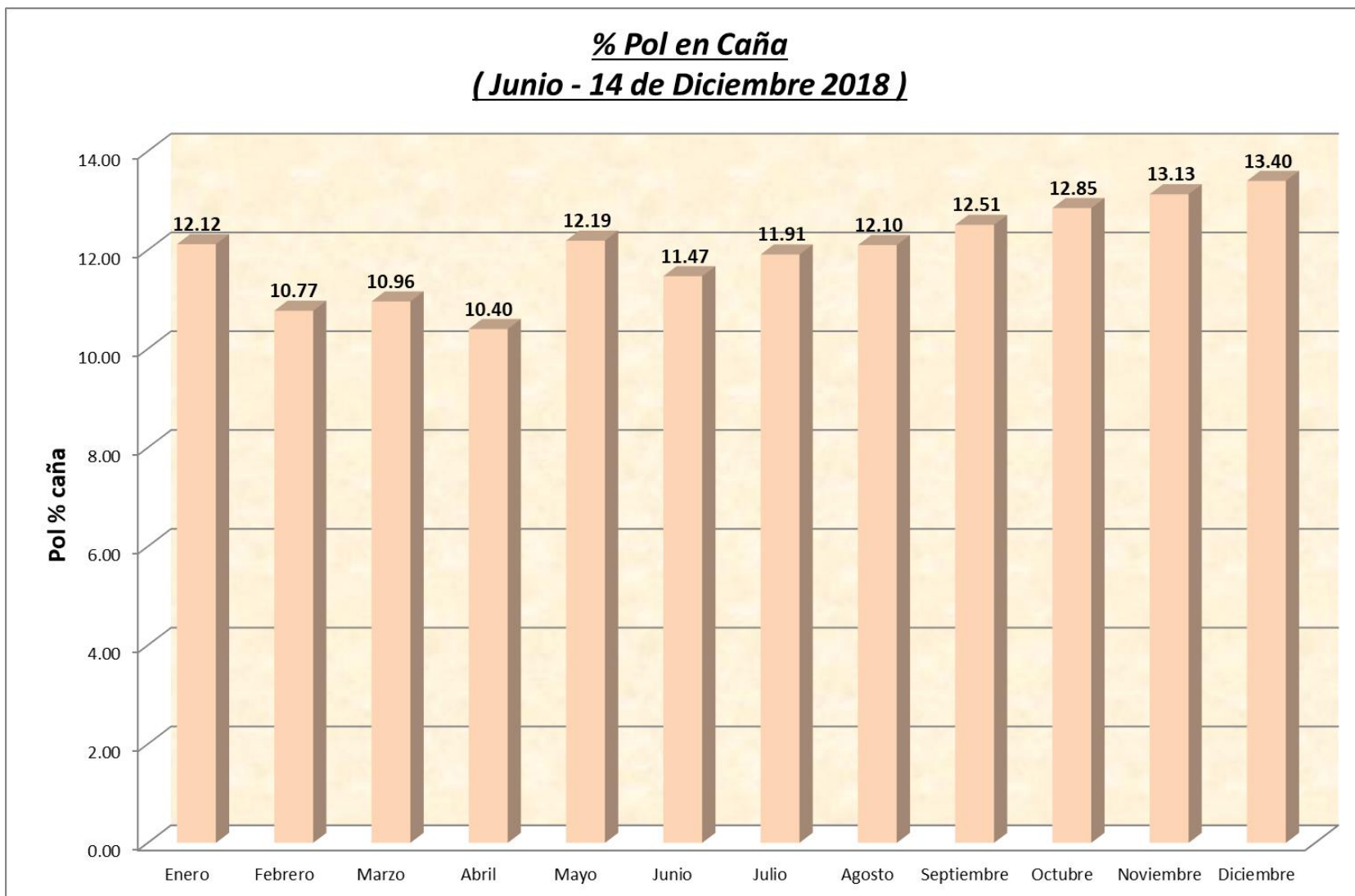
MOLIENDA Y PRODUCCIÓN AÑO 2018							
MES	CAÑA MOLIDA (T.M.)					T.M. AZUCAR PRODUCIDA	AZUCAR BOLSAS
	POMALCA	%	SEMBRADOR	%	TOTAL		
Enero	27,837.56	64.26	15,482.62	35.74	43,320.18	4,054.80	81,096.00
Febrero	33,835.05	76.97	10,122.80	23.03	43,957.85	3,789.45	75,789.00
Marzo	23,013.83	86.40	3,623.31	13.60	26,637.14	2,200.80	44,016.00
Abril	42,672.03	93.58	2,927.66	6.42	45,599.69	3,587.45	71,749.00
Mayo	1,256.56	86.57	194.96	13.43	1,451.52	33.25	665.00
Junio	65,038.87	86.67	10,007.40	13.33	75,046.27	6,615.00	132,300.00
Julio	60,388.84	85.07	10,598.69	14.93	70,987.53	6,678.40	133,568.00
Agosto	53,005.19	70.53	22,144.36	29.47	75,149.55	6,966.30	139,326.00
Setiembre	60,685.85	76.10	19,058.84	23.90	79,744.69	7,609.80	152,196.00
Octubre	66,784.54	79.35	17,383.68	20.65	84,168.22	8,509.00	170,180.00
Noviembre	69,393.54	84.19	13,027.53	15.81	82,421.07	8,414.70	168,294.00
Diciembre	18,158.74	75.30	5,957.92	24.70	24,116.66	2,355.50	47,110.00
Total	522,070.600	80.00	130,529.8	20.0	652,600.4	60,814.5	1,216,289.0

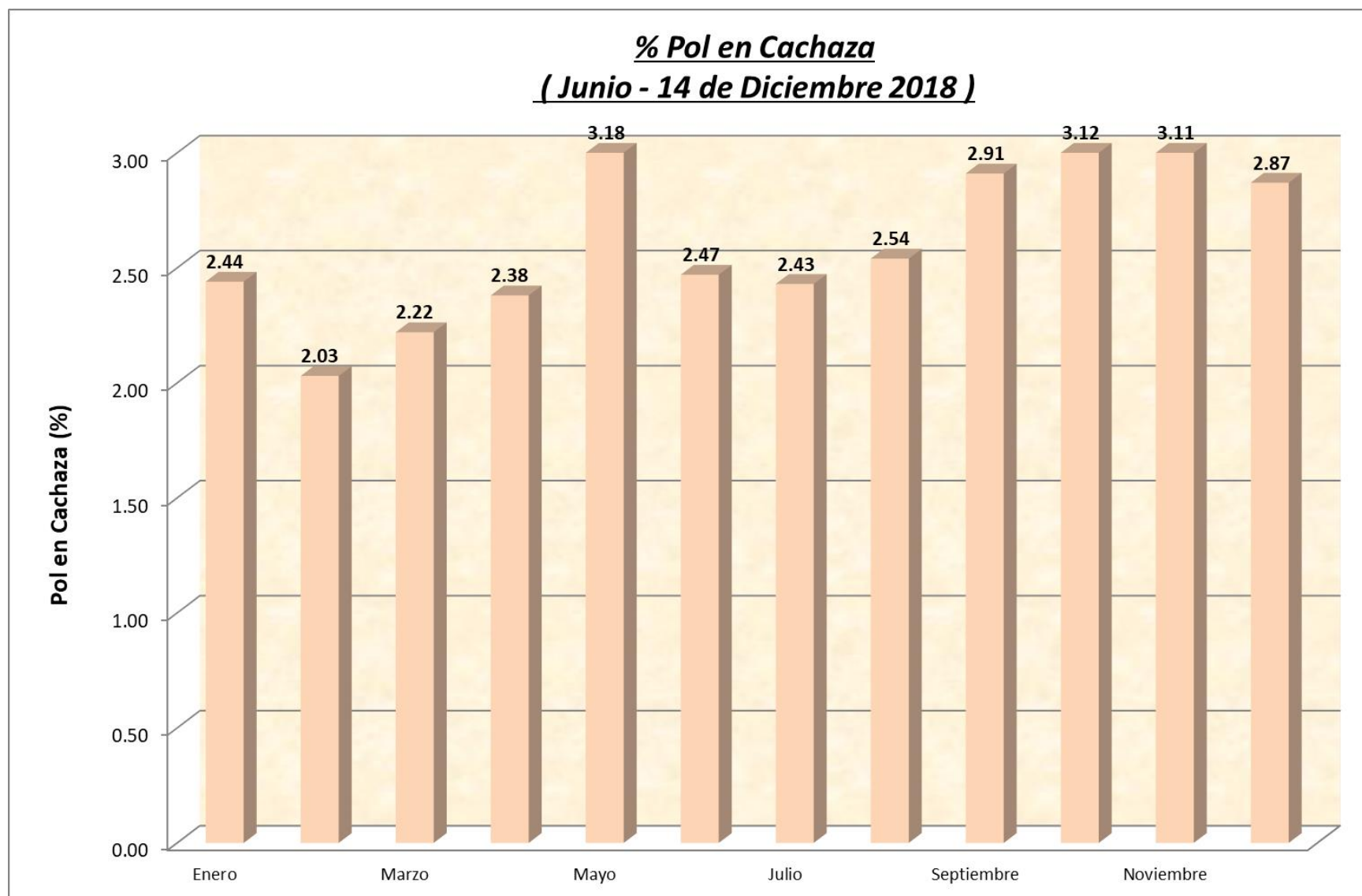
Anexo N°2: Indicadores Fabriles Acumulados

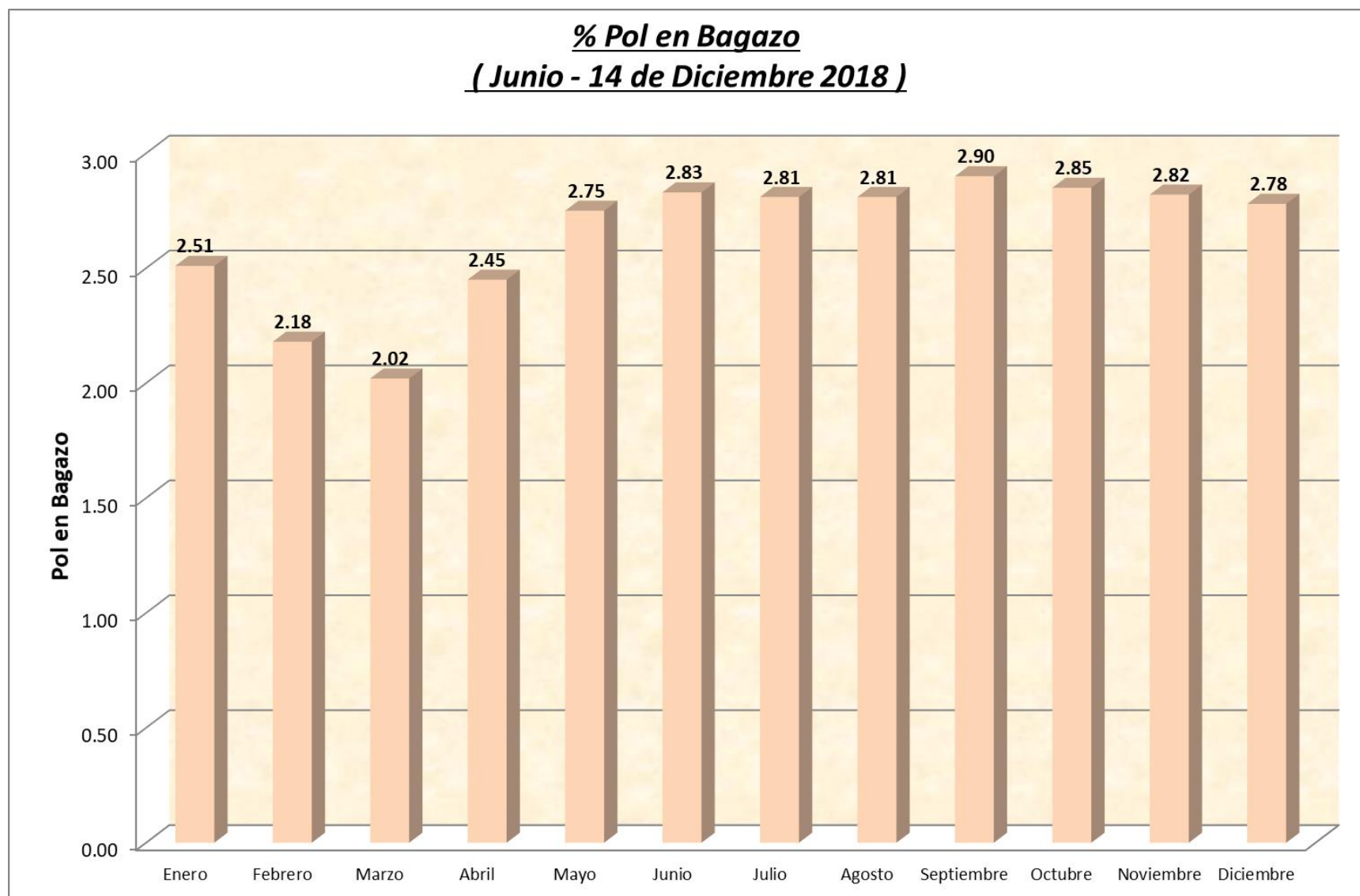
<u>Indicadores Acumulados al 14 de Diciembre del 2018</u>									
	MIN	MAX							
			Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Molienda Mes (Ton Neta)	70000	NA	75,046.27	70,987.53	75,149.55	79,744.69	84,168.22	82,421.07	24,116.66
Molienda Horaria (Ton / Hora)	122.38	NA	126.89	143.59	154.15	162.64	153.28	154.91	149.41
Producción de Azúcar (Bolsas)	126000	NA	132,300	133,568	139,326	152,196	170,180	168,294	47,110
Rendimiento Comercial de Azúcar (Kg / TC)	90	NA	88.15	94.08	92.70	95.43	101.10	102.09	97.67
Pol % Caña (caña%sacarosa)	12.5	NA	11.47	11.91	12.10	12.51	12.85	13.13	13.40
Extracción % Caña	93	NA	92.54	92.74	92.78	92.79	93.08	93.25	93.48
Imbibición % Caña	31	33.00	19.77	20.32	18.57	17.47	18.47	17.75	19.82
Pol % Bagazo (bagazo%sacarosa)	NA	2.32	2.83	2.81	2.81	2.90	2.85	2.82	2.78
Pol % Cachaza (cachaza%sacaroza)	NA	1.60	2.47	2.43	2.54	2.91	3.12	3.11	2.87
PH Jugo Clarificado	6.7	7.00	6.98	6.88	6.88	6.88	6.88	6.87	6.87
Brix Jarabe	57	65.00	48.95	50.10	52.41	53.28	51.67	50.44	52.72

Anexo N°3: Molienda Promedio Mensual en Ton/hr

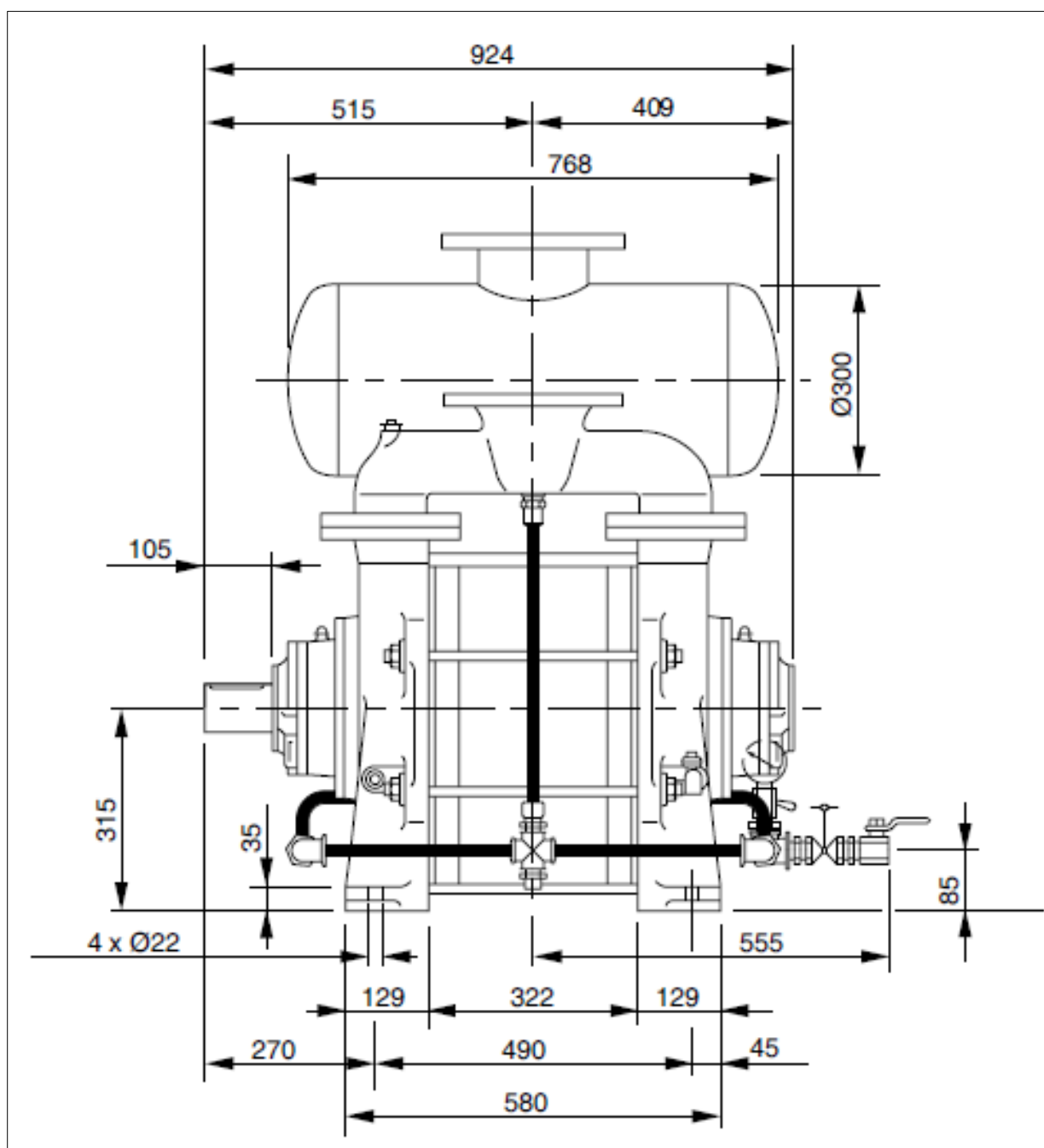
Anexo N°4: Producción de Azúcar

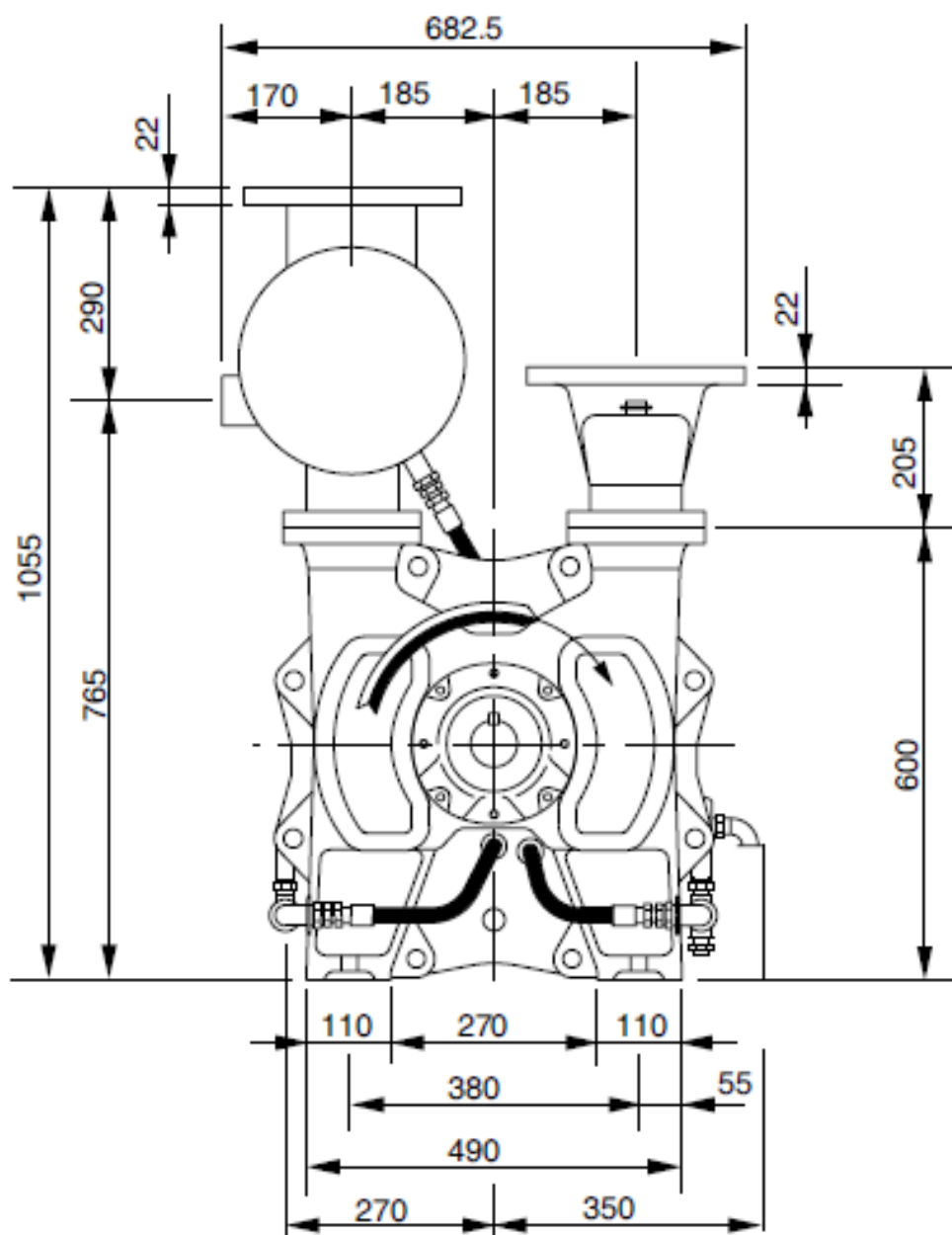
Anexo N°5: %Pol en Caña

Anexo N°6: %Pol en Cachaza

Anexo N°7: %Pol en Bagazo

Anexo N°8: Vista de Montaje de Bomba de Vacío



Anexo N°9: Vista de Montaje de Bomba de Vacío

Tamaño de aspiración/descarga

DN150 PN10

Anexo N°10: Datos Técnicos de la Bomba de Vacío

DATOS TÉCNICOS

Detalles de desempeño a velocidad máxima

Capacidad nominal	1200 m ³ h ⁻¹
Presión de aspiración	33 mbar A
Velocidad nominal	1150 rpm
Potencia del motor	55 kW
Flujo del agua de servicio	4 m ³ h ⁻¹

Detalles de desempeño a velocidad mínima

Capacidad nominal	1000 m ³ h ⁻¹
Presión de aspiración	33 mbar A
Velocidad nominal	980 rpm
Potencia del motor	30 kW
Flujo del agua de servicio	3,5 m ³ h ⁻¹

Materiales de fabricación

	ESTÁNDAR	ACERO INOXIDABLE	MONTADA CON ACERO INOXIDABLE
Carcasa	Hierro fundido	CF8M	Hierro fundido
Impulsor	Hierro SG	CF8M	CF8M
Placa del orificio	Hierro fundido	CF8M	Hierro fundido
Cuerpo	Hierro fundido	CF8M	Hierro fundido
Eje	Hierro SG	CF8M	CF8M
Sello mecánico	Carbono / silicio carburo / Viton®	Carbono / silicio carburo / Viton®	Carbono / silicio carburo / Viton®