

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

Rediseño del sistema de transporte de los fluidos (agua, aceite, condensados, efluentes y vapor) para mejorar la capacidad de la planta extractora de aceite de palma perteneciente a la empresa "Entrepalmas SAS" ubicada en el sector de San Martín, Meta, Colombia.

Sebastian Cuadros Candela

Oscar Fabián Santos Bastilla

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Mecánico

Director:

Manuel de Jesús Martínez

PhD. Mecánica computacional

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Bucaramanga

2024

Agradecimientos

A mí por demostrarme cada día que puedo con cualquier cosa que me propongo.

A mis padres Hugo Cuadros y Zeida Candela por el apoyo en cada etapa de mi vida, por la paciencia, la enseñanza brindada, los valores inculcados y por el esfuerzo para sacarme adelante, por brindarme la oportunidad de estudiar, de poder llegar lejos, este merito les pertenece más a ustedes.

A mi hermano Brayang que estuvo a lo largo de este camino apoyando, por haberme aconsejado, por ser un referente para mí y por todo su conocimiento compartido.

A mi abuelo José por estar siempre ahí apoyando, por los valores inculcados y por estar siempre pendiente de mí.

A mi abuela Ana María, aunque no pudo estar presente conmigo en esta etapa de mi vida para celebrar este logro, sentí en todo momento su presencia y guía desde el cielo en cada paso que doy.

A mi mascota Tony, que no pudo estar presente, pero me acompañó en más de un traspaso, me brindó felicidad, compañía y por demostrarme el amor verdadero desinteresado.

A mis compañeros de infancia, con los que tuve el placer de compartir tanto mi etapa bachiller como mi etapa de Universitario, por enseñarme el verdadero valor de la amistad y lealtad.

A mis compañeros de la universidad, por toda la cantidad de anécdotas que me llevo de esta etapa de mi vida.

A mi compañero de proyecto Oscar Santos, por todo el tiempo compartido, por la paciencia, por los traspasos y las risas.

Al profesor Manuel de Jesús por guiarnos en este proyecto, por la paciencia y por las enseñanzas.

A la Universidad Industrial de Santander y a la escuela de ingeniería mecánica por brindarme todos los recursos necesarios para formarme como Ingeniero UIS.

Sebastian Cuadros Candela

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

Agradecimientos

Agradecimiento a mi madre Esperanza y a mi padre Felix, por el amor y apoyo incondicional, quienes han sido el pilar fundamental de mi vida e impulso en los momentos difíciles.

A mi hermano Felix por la compañía, la incondicionalidad y siempre creer en mí.

A mi gato, por tanta compañía y amor brindado.

A Diego y Andrés, que más que mis amigos son mis hermanos.

A mis amigos de la universidad, quienes hicieron tan especial esta etapa de vida, gracias por el apoyo y el cariño desinteresado.

A Jesús, Liliana y Samantha por la oportunidad de crecimiento y el apoyo brindado en todo momento.

A mi compañero Sebastian, por compartir conmigo esta última etapa y los años de amistad.

Gracias a la vida por permitirme demostrar que soy capaz.

Al ingeniero Manuel de Jesús, por su confianza, paciencia y enseñanzas en este proyecto.

A la Universidad Industrial de Santander y a la escuela de ingeniería mecánica por brindarme todos los recursos necesarios para formarme como ingeniero.

Oscar Fabián Santos Bastilla

Tabla de contenido

	Pag
Introducción	19
1. Objetivos	21
1.1. <i>Objetivo general</i>	21
1.2. <i>Objetivos específicos</i>	21
2. Marco teórico e investigativo.....	22
2.1. <i>Antecedentes de investigación</i>	22
2.1.1. Diseño y construcción de un sistema de transporte de fluidos para la medición de caudales (Yanzapanta & Marcelo, 2013).	22
2.1.2. Fabricación y montaje de los equipos para una planta extractora de aceite de palma (Mesa & Piñeros, 2018).....	23
2.1.3. Diseño de un sistema de transporte para un fluid Herschel – Bulkley (mayonesa) (Acurio & Choes, 2021)	24
2.2. <i>La palma de aceite</i>	24
2.2.1. Origen de la palma de aceite	24
2.2.2. La palma de aceite en Colombia	25
2.2.3. Generalidades de la palma de aceite	28
2.2.4. Partes de la palma de aceite.....	28
2.2.5. Composición nutricional	29

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

<i>2.3. Planta extractora de aceite de palma</i>	30
2.3.1. Entrepalmas SAS.....	30
2.3.2. Descripción a detalle del proceso de extracción de aceite de palma de la planta extractora Entrepalmas SAS.....	31
2.3.2.1. Proceso de recepción.	31
2.3.2.2 Proceso de esterilización (Horizontal).....	33
2.3.2.3. Desfrutado.	35
2.3.2.4. Prensado y tratamiento del RFV.....	37
2.3.2.5. Extracción.....	38
2.3.2.6. Clarificación.	40
2.3.2.6.1. Tanque preclarificador.....	40
2.3.2.6.2 Tanque clarificador.....	41
2.3.2.7. Tanque pulmón de lodos.....	42
2.3.2.8. Centrifugas.....	43
2.3.2.9. Florentinos.	44
2.3.2.10. Desfibrilación.	44
2.3.2.11. Palmisteria.	45
<i>2.3. Diseño y tramos de tubería a considerar</i>	45
<i>2.4. Diseño de la bomba</i>	46
2.4.1. Determinación del diámetro óptimo de la conducción en la bomba	46

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

2.4.2. Aspectos a considerar para el cálculo de las bombas.....	48
2.4.3. Cálculo de la bomba.....	49
2.4.3.1. Ecuación de Bernoulli.	49
2.4.3.2. Cálculo de las pérdidas.....	50
2.4.3.2.1. Pérdidas primarias.	51
2.4.3.2.2. Pérdidas secundarias.....	54
2.4.3.3. Potencia de la bomba y del motor.	56
2.4.3.4 Cálculo del NPSH disponible.....	57
2.5. Accesorios para los sistemas de transporte de fluidos.....	58
2.5.1. Codos.....	58
2.5.2. Tes.....	59
2.5.3. Bridas.....	60
2.5.4. Reducciones.....	60
2.6. Válvulas.....	60
2.6.1. Válvula de compuerta.....	60
2.6.2. Válvula de retención.....	61
2.6.3. Válvula de asientos o globo.....	62
3. Datos iniciales.....	63
3.1. Caracterización de los fluidos.....	63

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

3.2. Caudales de la planta actual	64
3.2.1. Proceso de clarificación	65
3.2.2. Caudal línea de agua actual	67
3.2.3. Caudal línea de efluentes.....	68
3.3. Acerca de los sistemas	69
3.3.1. Ruta de los tramos del transporte de los fluidos.....	69
3.3.1.1. Ruta de transporte del agua.	69
3.3.1.1.1. Bomba de agua alimentación a la planta.	71
3.3.1.1.2. Bombas de agua de las calderas.	72
3.3.1.1.3. Bomba de agua al des aireador.	73
3.3.1.2. Ruta de análisis condensados.	74
3.3.1.3. Ruta de análisis de aceite.....	75
3.3.1.3.1. Bomba de aceite virgen y bomba licor de prensa.	76
3.3.1.3.2. Bomba de Tanque aceite virgen a sedimentador.	76
3.3.1.3.3. Bomba de tanque recuperados a clarificador.....	77
3.3.1.3.4. Bomba de Tanque aceite ácido a tanque licor de prensa.	77
3.3.1.4. Ruta de análisis de lodo.	78
3.3.1.5. Ruta análisis de efluentes.	80
3.3.1.6. Ruta análisis de vapor.....	81

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

4. Resultados	81
4.1. Rediseño rutas.....	81
4.1.1. Línea de agua:	81
4.1.2. Línea de lodos	85
4.1.3. Línea de aceite.....	88
4.1.4. Línea de condensados.....	94
4.2. Cálculos	95
4.2.1. Cálculo de los nuevos caudales	95
4.2.2. Sistemas Abiertos	97
4.2.3. Sistemas cerrados	113
5. Simulación	122
6. Selección de elementos	124
6.1. Selección bombas.....	124
6.1.1. Análisis de la curva	125
6.1.1.1. Bombas licor de prensa y recuperados	125
6.1.1.2. Bombas de tanque de aceite sedimentador 1 y 2, tanque auxiliar de aceite ácido, tanque clarificador convencional y bomba de aceite ácido.	128
6.1.1.3. Bomba de lodos a desarenadores.....	129
6.1.1.4. Bomba efluentes.	130
6.1.1.5. Bomba alimentación general.	130

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

6.1.1.6. Bomba de agua alimentación al des aireador.	131
6.1.1.7. Bomba de las calderas.	131
<i>6.2 Selección de tuberías.</i>	<i>132</i>
7. Conclusiones.....	134
8. Referencias.....	134

Lista de tablas

Tabla 1. Composición nutricional del aceite de palma.....	29
Tabla 2. Datos generales del proceso de esterilización	35
Tabla 3. Datos generales del proceso de desfrutado del RFF.....	36
Tabla 4. Datos generales del proceso de digestión.....	38
Tabla 5. Datos generales del proceso de prensado	40
Tabla 6. Datos generales del proceso de clarificación.....	42
Tabla 7. Velocidades recomendadas para fluidos en tuberías y bombas.....	47
Tabla 8. Resistencia en válvulas y accesorios expresada como la longitud equivalente	54
Tabla 9. Densidad y viscosidad dinámica de los fluidos a 90°C.....	63
Tabla 10. Caudal total de las bombas en el proceso de clarificación actual	67
Tabla 11. Caudal total de las bombas de agua actuales.....	68
Tabla 12. Caudal total de la bomba de efluente actual.....	68
Tabla 13. Análisis de los sistemas de transporte de agua	70
Tabla 14. Datos línea de agua actual	73
Tabla 15. Datos línea de aceite actual	78
Tabla 16. Datos línea de lodo actual	80
Tabla 17. Datos línea de efluente actual.....	80
Tabla 18. Caudal total bombas del proceso de clarificación nuevas	95
Tabla 19. Caudal total bombas de agua nuevas	96
Tabla 20. Caudal total bomba de efluente nueva	96
Tabla 21. Clasificación sistemas abiertos y sistemas cerrados	96
Tabla 22. Datos tanque de licor de prensa al tamiz	103
Tabla 23. Datos tanque de aceite virgen al sedimentador 1	104

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

Tabla 24. Datos tanque de aceite virgen al sedimentador 2	105
Tabla 25. Datos tanque recuperado a clarificador	106
Tabla 26. Datos bomba de aceite ácido al licor de prensa	107
Tabla 27. Datos tanque auxiliar de aceite ácido al tanque de aceite terminado	108
Tabla 28. Datos tanque pulmón de lodos a desarenadores	109
Tabla 29. Datos tanque clarificador convencional a tanque pulmón de lodos	110
Tabla 30. Datos efluente	111
Tabla 31. Datos alimentacion general	112
Tabla 32. Alimentación a la caldera VR10	118
Tabla 33. Alimentación a la caldera VR15	120
Tabla 34. Alimentación la des aireador	121
Tabla 35. Potencia del motor y bombe por sistemas recalculados	125
Tabla 36. Selección de las bombas según rediseño	131
Tabla 37. Selección de SCH de la tubería según norma ASME B36	133

Lista de figuras

Figura 1. La palma de aceite en Colombia	27
Figura 2. Báscula camionera de Entrepalmas SAS	32
Figura 3. Tolva de recepción de Entrepalmas SAS	33
Figura 4. Esterilizador de Entrepalmas SAS	33
Figura 5. Picos de esterilización	34
Figura 6. Tambor de volteo en operación de Entrepalmas SAS.....	36
Figura 7. Tambor desfrutador de Entrepalmas SAS	37
Figura 8. Prensa de raquis de Entrepalmas SAS	38
Figura 9. Digestor numero 6 del proceso de Entrepalmas SAS	39
Figura 10. Prensa de fruto T15 de Entrepalmas SAS	39
Figura 11. Tanque preclarificador de Entrepalmas SAS	41
Figura 12. Tanque clarificador de Entrepalmas SAS	42
Figura 13. Tanque pulmón de lodos bipartido de Entrepalmas SAS	43
Figura 14. Centrifuga deslodadora número 2 de entrepalmas SAS	44
Figura 15. Diagrama de Moody	53
Figura 16. Coeficiente de pérdida secundaria montaje en el tanque de succión	55
Figura 17. Tipos de codos	59
Figura 18. Tipos de T's.....	59
Figura 19. Válvula de compuerta	61
Figura 20. Válvula de retención tipo oscilante	61
Figura 21. Válvula de retención tipo bola	62
Figura 22. Válvula de asientos o globo	62

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

Figura 23. Balance de masa proceso de la planta Entrepalmas SAS	64
Figura 24. Caudales del proceso de clarificación de Entrepalmas SAS	66
Figura 25. Caudal de las bombas en la línea de agua actual	67
Figura 26. Esquema general de la planta extractora de aceite de palma Entrepalmas SAS ..	69
Figura 27. Esquema general de la línea de agua actual	70
Figura 28. Bomba de agua alimentación de planta de Entrepalmas SAS	72
Figura 29. Bomba alimentación a caldera VR10 de Entrepalmas SAS	72
Figura 30. Bomba de agua alimentación al des aireador de Entrepalmas SAS	73
Figura 31. Esquema general línea de condensados actual	74
Figura 32. Esquema general línea de aceites actual	75
Figura 33. Bomba de licor prensa de Entrepalmas SAS	76
Figura 34. Bomba de tanque de aceite virgen a sedimentador de Entrepalmas SAS	76
Figura 35. Bomba de tanque recuperados a clarificador de Entrepalmas SAS	77
Figura 36. Bomba de tanque aceite acido a tanque licor de prensa de Entrepalmas SAS	77
Figura 37. Esquema general línea de lodos actual	79
Figura 38. Bomba de tanque pulmón de lodos bipartido a desarenadores de Entrepalmas SAS	80
Figura 39. Arreglo I – Línea de alimentación de agua	83
Figura 40. Arreglo II – Línea de alimentación de agua.....	84
Figura 41. Tramo nuevo de la ruta de agua	85
Figura 42. Arreglo I – Línea de lodos	85
Figura 43. Tanque pulmón de lodos de Entrepalmas SAS	86
Figura 44. Arreglo II – Línea de lodos	87
Figura 45. Tramo nuevo de la ruta de lodos	87

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

Figura 46. Línea de recuperación de aceite de centrifugas de Entrepalmas SAS .	88
Figura 47. Arreglo I – Línea de aceite	89
Figura 48. Arreglo II – Tramo I – I, línea de aceite	90
Figura 49. Arreglo II – Tramo I – II, línea de aceite	91
Figura 50. Arreglo II – Tramo II, línea de aceite	92
Figura 51. Arreglo completo línea de aceite	93
Figura 52. Tramo nuevo ruta de aceite	94
Figura 53. Método para montar los sistemas en epanet	122
Figura 54. Simulación visual mediante colores de la velocidad y la presión del sistema bomba licor prensa al tamiz	123
Figura 55. Graficas proporcionadas por epanet del sistema bomba licor prensa al tamiz	124
Figura 56. Curva de rendimiento bomba centrifuga tipo mediana presión 2518	126
Figura 57. Curva de rendimiento bomba centrifuga tipo mediana presión 2014	127
Figura 58. Curva de rendimiento bomba centrifuga tipo mediana presión 1510	128
Figura 59. Curva de rendimiento bomba centrifuga tipo mediana presión 3030	129
Figura 60. Curva de rendimiento bomba centrifuga tipo mediana presión 3065 A70	130

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

Lista de ecuaciones

Ecuación 1. Caudal de un fluido	48
Ecuación 2. Ecuación de bernoulli	49
Ecuación 3. Pérdidas de carga o pérdidas primaria	51
Ecuación 4. Número de Reynolds	52
Ecuación 5. Coeficiente de fricción – flujo laminar	52
Ecuación 6. Coeficiente de fricción – flujo turbulento	52
Ecuación 7. Coeficiente de pérdidas accesorio	55
Ecuación 8. Pérdidas secundaria	56
Ecuación 9. Potencia de la bomba	56
Ecuación 10. Potencia del motor	57
Ecuación 11. NPSH disponible	57
Ecuación 12. Espesor tubería	132

Lista de apéndices

Ver apéndices adjuntos y pueden ser consultados en la base de datos de la Biblioteca UIS.

Apéndice A. Balance de masa y Caudales.

Apéndice B. Planos actuales Entrepalmas SAS.

Apéndice C. Arreglos sistemas.

Apéndice D. Planos nuevos Entrepalmas SAS.

Apéndice E. Cálculos.

Apéndice F. Rutas en SolidWorks.

Apéndice G. Simulaciones en epanet.

Apéndice H. Evaluación cálculos vs simulación.

Resumen

Título: Rediseño del sistema de transporte de los fluidos (agua, aceite, condensados, efluentes y vapor) para mejorar la capacidad de la planta extractora de aceite de palma perteneciente a la empresa "Entrepalmas SAS" ubicada en el sector de San Martín, Meta, Colombia.

Autores: Sebastian Cuadros Candela y Oscar Fabián Santos Bastilla

Palabras clave: Transporte de fluidos, planta extractora, aceite de palma.

Se realizó un rediseño conceptual de los sistemas de transporte de fluidos de la planta extractora de aceite de palma Entrepalmas SAS ubicada en San Martín, Meta, con el fin de aumentar la capacidad de procesamiento de la planta y verificar el correcto funcionamiento y distribución de esta.

Se inició el proyecto con el estudio del proceso productivo de una planta extractora, conociendo las diferentes etapas del proceso, posterior a esto se realizó el estudio a la planta extractora de aceite de palma Entrepalmas donde los principales focos fueron factores que afectan la capacidad de planta, estudio de sistema de transporte de fluidos, balance de masas, esto con el fin de tener unos datos iniciales para realizar los análisis posteriores.

Conociendo el funcionamiento de la planta, se plantearon nuevas rutas e implementación de nuevos sistemas para optimizar el proceso productivo, minimizar pérdidas de energía y apoyar la calidad del aceite terminado. Con el fin de elevar la capacidad de planta sin dejar de lado el funcionamiento de los equipos rotativos de los sistemas de transporte de fluidos se realizaron una serie de procedimientos y simulaciones para seleccionar los accesorios correctos en la distribución de la planta, posterior a esto se obtuvo una normalización de las bombas para facilidad de mantenimiento y repuestos en la planta.

Este rediseño permite conocer las condiciones de trabajo, los requerimientos y dar una idea de los cambios a realizar para que el aumento de la capacidad de planta no se vea afectada por los diferentes sistemas de transporte de fluidos de la planta.

Abstract

Title: Redesign of the fluid transportation system (water, oil, condensate, effluent and steam) to improve the capacity of the palm oil extraction plant of the company "entrepalmas" located in the San Martín sector, Meta, Colombia.

Authors: Sebastian Cuadros Candela y Oscar Fabian Santos Bastilla

Keywords: Fluid transportation, extraction plant, palm oil.

A conceptual redesign of the fluid transport systems of a Palm Oli extraction plant of the company Entrepalmas SAS located in San Martin/Meta was performed. The goal was to increase the processing capacity of the plant and check the right operation and distribution of the systems.

The project started with a review of the productive process of an extraction plant, identifying the different steps involved. Following this, a study of the Entrepalmas plant was conducted. The main focuses were the factors that affect the plant's capacity, the study of the transport systems, and mass balances, to recollect the initial database to develop the next analysis.

Knowing the operation of the plant, new roads for the transport systems were proposed and implemented to optimize the productive process, minimize energy losses, and support the quality of the final oil.

To increase the capacity of the plant without neglecting the operation of the rotative equipment in the fluid transport system, a series of procedures and simulations were carried out to select the correct accessories in the plant layout. After that, a normalization of the pumps was obtained to reduce the complexity of the maintenance and spare parts in the plant.

This redesign allows us to know the working conditions and requirements and provides an idea of the necessary changes to ensure that the increase in the plant does not affect the different transport systems of the plant.

Introducción

En el mundo de la industria existe la necesidad de transportar un fluido desde un punto a otro, a través de sistemas de conducción, este proceso es de gran importancia y se cataloga como una operación unitaria debido a que se aplican un gran conjunto de conocimientos ingenieriles, teóricos y prácticos (Ibarz & Barbosa-Cánovas, 2005) (Minería Chilena, 2006).

Los sistemas de transporte de fluidos están diseñados bajo ciertas capacidades, las cuales en muchas ocasiones y por diferentes factores, las industrias se ven llevadas a sobrepasar, ya sea por gran crecimiento en la empresa o gran demanda en el mercado. El presente caso se debe a que hubo un gran crecimiento en el sector del aceite de palma en Colombia, por ende, la Empresa Entrepalmas SAS, se vio afectada por esta problemática.

Según estudios los cultivos de palma de aceite en Colombia van de forma ascendente, lo cual conlleva a un crecimiento en todo el sector. A pesar de la pandemia, este sector no se vio afectado, por lo que su crecimiento siguió estable hasta el día de hoy.

La empresa Entrepalmas SAS se dedica principalmente a la elaboración de aceites y grasas de origen vegetal, la cual está ubicada a 22 kilómetros del casco urbano de la localidad de San Martín, Meta.

La planta extractora de palma fue fundada el 21 de septiembre de 1992, comenzando con una producción de 5 toneladas por hora, en el año 2023 la planta trabajó para producir aproximadamente 45 toneladas de aceite por hora. Debido a este gran crecimiento, en este momento la extractora requiere un rediseño de todos sus sistemas de transporte de fluidos.

En esta planta recurre a forzar la capacidad máxima de alguna de sus máquinas y de esta forma no ver afectada la producción; por lo general las máquinas de prensado. Aunque esto puede verse como una solución rápida y a corto plazo, sin embargo, esto afecta la vida útil de

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

dichas máquinas y puede generar más problemas a futuro.

El problema principal al que este proyecto va enfocado a rediseñar el sistema de transporte de fluidos proporcionando diferentes ajustes, los cuales se van a ir evidenciando a medida que se vaya conociendo la planta, que presenta como objetivo principal mejorar la capacidad de producción del aceite de palma.

Se cuenta con la aplicación del concepto ingenieril abarcando todo lo relacionado con la mecánica de los fluidos, calculando los nuevos caudales, dependiendo de la nueva capacidad a la que se plantea alcanzar, para finalmente presentar el rediseño.

Si bien este no es un problema de distribución de planta, ya que la mayoría de plantas extractoras poseen similar estructura; lo que se evalúa en un problema de distribución es que sea enfocada al proceso, evidentemente no es la problemática principal que se pretende solucionar.

Para el rediseño hay que tener en cuenta diferentes factores, empezando desde contar con la presente documentación, es necesaria, ya que proporciona un enfoque de cómo se encuentra el estado actual de la planta, es el punto de partida para finalmente elaborar las nuevas rutas, teniendo en cuenta las tuberías, las bombas y los nuevos accesorios. Es de suma importancia cumplir lo que conlleva un diseño conceptual, también tener en cuenta que dichos rediseños van de la mano con normas, lo cual pretende dar confiabilidad.

1. Objetivos

1.1. Objetivo general

Rediseñar el sistema de transporte de los fluidos (agua, aceite, condensados, efluentes y vapor) para mejorar la capacidad de la planta extractora de aceite de palma perteneciente a la empresa Entrepalmas SAS ubicada en el sector de San Martín, Meta, Colombia.

1.2. Objetivos específicos

- Determinar datos acerca de los sistemas de transporte (agua, aceite, condensados, efluentes y vapor) pertenecientes a la planta extractora de aceite de palmas; tales como, el estado en que se encuentra cada elemento (válvulas, bombas y tuberías) de cada sistema, características de los tipos de fluidos presentes a cada sistema y la ruta perteneciente al sistema de cada fluido, para la empresa Entrepalmas SAS.
- Seleccionar el nuevo arreglo de los elementos (válvulas, bombas y tuberías) para poder aumentar la capacidad de la planta extractora de aceite de palma perteneciente a la empresa Entrepalmas SAS.
- Realizar la nueva ruta del sistema de transporte de fluidos abarcando todas las instalaciones de la planta extractora de aceite de palma perteneciente a la empresa Entrepalmas SAS, teniendo en cuenta diversos parámetros de la antigua distribución.
- Simular y evaluar la eficiencia del rediseño de los sistemas de transporte de la planta extractora de aceite de palma perteneciente a la empresa Entrepalmas SAS mediante la herramienta Matlab o epanet.

2. Marco teórico e investigativo

A continuación, se presenta el historial de investigación que permite contextualizar, en el campo académico e industrial, la propuesta planteada para el rediseño del sistema de transporte de fluidos para mejorar la capacidad de la planta extractora de aceite de palma. Se ubicarán proyectos realizados relacionados con el tema. Seguido, se abordarán los referentes teóricos partiendo de los ítems generados en los objetivos.

2.1. Antecedentes de investigación

2.1.1. Diseño y construcción de un sistema de transporte de fluidos para la medición de caudales (Yanzapanta & Marcelo, 2013).

Se diseñó y construyó un sistema de transporte de fluidos para la medición de caudales (rotámetro), para medir experimentalmente la hidráulica en tuberías circulares en el laboratorio de operaciones unitarias de la facultad de ciencias de la escuela superior politécnica de Chimborazo. Se inició la investigación con el análisis de proyecto de “optimización y estudio del equipo de bombeo de líquidos e identificación de la ecuación que rige este fenómeno”, con el fin de desarrollar un equipo compacto, dinámico y estructuralmente eficaz; realizando los cálculos y variables de ingeniería. Una vez diseñado se procedió a la construcción del equipo utilizando materiales resistentes a la corrosión por las propiedades físico-químicas del fluido y la creatividad de un sistema de inyección de tinta para demostrar el régimen de flujo en tubería acrílica transparente. Obteniendo un sistema de transporte de fluidos para la medición de caudales para la demostración práctica de mecánica de fluidos y operaciones unitarias; con características : 2,50m de largo; 0,50 m de ancho y 1,88 m altura del soporte; 0,0075 m³ de capacidad del tanque, una bomba

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

centrifuga de 0,5 Hp, un Rotámetro con capacidad máxima para medir 4 m³/h y soportar una presión de 1 MPa, tubería para la succión de 2,58 m de longitud y 8,78 m tubería de descarga distribuido en 5 líneas de tubería de diferentes diámetros, con sus respectivos accesorios y manómetro, dando un rendimiento máximo de 29,50 %. Este sistema de transporte permite mayor validez en la toma de valores respecto a los caudales. Por lo que se recomienda la utilización de este equipo, para la realización de prácticas en el laboratorio de operaciones unitarias, por ser confiable y seguro.

2.1.2. Fabricación y montaje de los equipos para una planta extractora de aceite de palma (Mesa & Piñeros, 2018).

La organización dueña del proyecto, se dedica a la extracción de aceite de palma; posee más de 7.000 Ha sembradas en Mapiripán (Meta). Fue creada en 2008, y fundamenta su direccionamiento estratégico en la sostenibilidad ambiental. Se busca aumentar la producción de aceite de palma ya que se desaprovecha gran parte de las cosechas. Actualmente se vende fruto a extractoras distantes, con altos costos de transporte y dificultades logísticas, propias de la zona. Como solución, se elige implementar una planta de 30 TRFF/H. La población fundamental a impactar es la comunidad de Mapiripán (empleo e inversión en programas sociales); y las empresas procesadoras de aceite. La planta incluye equipos para todas las secciones del proceso. El presupuesto del proyecto es de 24,682M, para: Gerencia de proyecto; fabricación; transporte; obras civiles; montaje; cierre de proyecto; reservas de contingencia y gestión. Se establecen los costos de operación del proyecto una vez puesto en marcha, considerando varios escenarios a fin de estimar su viabilidad. El proyecto se financiará con 9,682M de recursos propios, y 15,000M de préstamos bancarios.

2.1.3. Diseño de un sistema de transporte para un fluido Herschel – Bulkley (mayonesa) (Acurio & Choes, 2021).

El presente estudio se desarrolló con el objetivo de diseñar un sistema de transporte para un fluido Herschel-Bulkley (mayonesa), para ello se aplicaron los principios, ecuaciones y modelos matemáticos establecidos en la mecánica de fluidos. Para esto, se inició con la búsqueda de información de los componentes, propiedades de los fluidos, máquinas y accesorios necesarios para el diseño del sistema de transporte. Para el diseño se utilizaron materiales resistentes a la corrosión, debido a las propiedades físico-químicas de los fluidos involucrados. Se obtuvo el diseño de un sistema de transporte para un fluido no Newtoniano con las siguientes características: dimensiones de 7,5 m de largo por 23 m de ancho, 5 bomba Netzsch con caudal nominal máximo de 3,1 metros cúbicos por segundo, tubería AISI 304 acero inoxidable, distribuido en 5 líneas de tubería de 1 pulgada de diámetro nominal; además, cada línea de tubería contempló sus respectivos accesorios y caudalímetros. El estudio permitió calcular la potencia teórica de las bombas en cada línea de tubería bajo condiciones del sistema. Finalmente, se evaluó el costo de implementación del sistema obteniendo un valor de 60 072,94USD, este valor fue obtenido mediante la cotización a diversas empresas distribuidoras del país.

2.2. La palma de aceite

2.2.1. Origen de la palma de aceite

La palma de aceite tiene sus orígenes en el siglo XV en las costas del Golfo de Guinea (África occidental), de ahí su nombre científico *Elaeis guineensis* Jacq, que significa palma africana, desde este lugar se ha ido expandiendo en forma muy natural por las márgenes de los grandes ríos debido a las condiciones climáticas y la amabilidad del suelo.

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

Hacia el siglo XVI, los colonizadores y comerciantes de esclavos portugueses proporcionaron el ingreso de la palma de aceite en América, utilizando los frutos de la palma como parte de la dieta alimenticia en sus viajes trasatlánticos, ingresando la palma de aceite por detrás de la línea costera por la región de San Salvador (antiguacapital del Brasil) (Mujica, 2010).

Los europeos redoblaron esfuerzos para mejorar las condiciones de explotación de palmeras silvestres e incorporar los medios necesarios para procesar el fruto de palma, en Asia se introdujo la palma de aceite en el año 1948 por la zona de Java, luego dio origen al sistema de plantaciones, particularmente en Indonesia y Malasia.

Especialmente en el sudeste asiático, el cultivo de aceite de palma ha causado, y todavía causa, deforestación. Debido a la gran demanda mundial, se han talado bosques vírgenes para su cultivo. Esta deforestación ha arrasado con flora y fauna, afectando la biodiversidad y el medio ambiente. Por otro lado, estas plantaciones irresponsables de aceite de palma han causado la migración forzosa de comunidades y violación de los derechos de los trabajadores en comunidades rurales (Grupo Hada, 2018).

2.2.2. La palma de aceite en Colombia

En Colombia en el año de 1932 el Señor Florentino Claes trajo las primeras palmas africanas con fines ornamentales para algunos pueblos y lugares específicos de la Región Amazónica y en la estación agrícola de Palmira, en el Valle del Cauca. Observando que además de la belleza que tenía esta planta, su fruto era comestible, por tal motivo la empresa multinacional “United Fruit Company” destacada por la producción y comercialización de frutas tropicales se interesó en la siembra, producción y comercialización de la palma de aceite hacia mediados del año 1945, empezando por

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

Honduras en la zona bananera del departamento del Magdalena (Mujica, 2010).

Fue tan significativo el impacto de la palma de aceite que en cuarenta años paso de 1.000 (mil) hectáreas sembradas en 1960 a cerca de las 170.000 (ciento setenta mil) a finales de 2001. Sin embargo, duró un tiempo donde no se apostaba mucho por esta siembra, ya que antes de 1957 la siembra de este producto no llegaba ni a las 250 hectáreas.

Ante este fenómeno en ascenso el 26 de octubre de 1962 el país presencia la creación de la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite, Fedepalma, y quince años más tarde se funda el boletín "El Palmicultor", surgió como un pequeño reporte en máquina de escribir para registrar la actividad del sector (El palmicultor, 2002).

El motivo principal para que Colombia empezara a sembrar y producir palma de aceite fue por su alto rendimiento en unidad de superficie, además en la palma de aceite se encontró una gran variedad de productos generados por la planta y sus partes, los cuales se utilizaron en la alimentación, en la industria textil y de cuero, en la laminación de acero y aluminio, en la trefilación de metales, en la producción de ácidos grasos y vitamina A, y ahora la gran innovación para la producción del biodiésel. Este combustible puede utilizarse en motores de combustión de diésel, alimentación de vehículos destinados a trabajar con biodiésel, proveer calefacción a los hogares en calderas que funcionan con este biocombustible, alimentador de generadores de electricidad y utilización en todos los automóviles modernos de motor diésel (Mujica, 2010).

Colombia es el cuarto productor de aceite de palma en el mundo y el primero en América. Actualmente, el cultivo de la palma de aceite se encuentra en 161 municipios de 21 departamentos.

Figura 1

La palma de aceite en Colombia



Nota. La figura representa el impacto del aceite de palma en Colombia, tales como en que sectores se lleva a cabo su producción y extracción, el número de personas que se ven beneficiadas ya que esta industria produce trabajo, que aporta en la salud y nutrición. Tomado de Fedepalma.

Sin duda, hoy en día los palmeros y el país cuentan con un sector fortalecido y cada más competitivo, con una contribución creciente a la económica agrícola, pujante y con visión de futuro, posicionado en el mercado local y con buen potencial exportador, compenetrado con el desarrollo regional y el cuidado del medio ambiente.

2.2.3. Generalidades de la palma de aceite

La palma de aceite es una planta tropical de climas cálidos, esto explica el porqué de la ubicación de la extractora del presente proyecto, puesto que, el Meta se caracteriza por ser un sector que presenta un clima cálido. Se desarrolla dentro de los 500 metros sobre el nivel del mar; se dice que la palma tiene el aroma de las violetas, el sabor del aceite de oliva y un color que le da a las comidas un matiz de azafrán, pero más atractivo.

Este es un cultivo perdurable y pausado de largo rendimiento, ya que su vida productiva puede durar más de 50 años, pero entre los 22 y 25 años se empieza a dificultar por la altura de los tallos, este cultivo es oleaginoso en la cantidad de aceite que produce por unidad de superficie con un contenido del 50% en el fruto, puede rendir de 3.000 a 5.000 Kg de aceite de pulpa por hectárea, más 600 a 1.000 Kg de aceite de palmiste (Cortes, 2009).

2.2.4. Partes de la palma de aceite

- **Raíces:** se originan del bulbo radical de la base del tronco. En su mayor parte son horizontales. Se concentran en los primeros 50 m del suelo. Sólo las raíces de anclaje 11 se profundizan.
- **Tronco:** con un solo punto terminal de crecimiento con hojas jóvenes, denominado palmito. Puede alcanzar hasta 30 m de longitud.

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

- **Hojas:** se presentan en un tamaño de cinco a siete metros de longitud. El pecíolo es de aproximadamente 1,5 metros de largo y se ensancha en la base. La cara superior es plana y la inferior redondeada. Sus bordes son espinosos, con fibras. Las hojas permanecen adheridas al tronco por 12 años o más.
- **Fruto:** drupa ovoide de tres a cinco centímetros de largo. Los estigmas persisten en su extremo, en forma de tres pequeños apéndices arqueados. Las partes del fruto son: estigma, exocarpo, mesocarpio o pulpa, endocarpio o cuesco, endospermo o almendra y embrión,

2.2.5. Composición nutricional

Tabla 1

Composición nutricional del aceite de palma

Compuesto	Cantidad
Calorías	884 Kcal
Agua	0.00 g
Proteína	0.00 g
Grasa	100.00 g
Cenizas	0.00 g
Carbohidratos	0.00 g
Fibra	0.00 g
Calcio	0.00 mg
Hierro	0.01 mg
Fósforo	0.00 g
Vitamina E	15.94 mg

Nota. Esta tabla muestra la composición nutricional por 100 g de porción que una persona pueda ingerir, Tomado de <https://palmaceite.tripod.com/palma.htm>.

Con la información relevante sobre el aceite de palma, se procede a indagar sobre la planta extractora de aceite de palma; datos, como los procesos que se llevan a cabo en dichas organizaciones.

2.3. Planta extractora de aceite de palma

Su función principal es extraer la mayor cantidad posible de aceite del racimo de fruta fresca (RFF), que recibe y produce aceite de palma crudo de alta calidad y palmiste. Ya que la extracción del aceite de palma se realiza en el campo, la planta extractora solo puede optimizar sus operaciones de extracción para obtener la mayor cantidad de aceite posible del RFF. La planta extractora cuenta con la desventaja de no saber cuánto aceite contiene el RFF.

2.3.1. *Entrepalmas SAS*

Entrepalmas SAS, es una empresa ubicada en San Martín, Meta, más específicamente en la vereda La Castañeda, dedicada al cultivo, producción y comercialización de aceite palma, almendra de palma y los subproductos del proceso, basando su producción en los estándares de calidad y respeto al medio ambiente según la norma RSPO, teniendo como pilar fundamental la sostenibilidad.

Esta empresa cuenta con 145 colaboradores, lo cual impacta positivamente en el desarrollo social y económico del sector de San Martín, apoyando el crecimiento de las comunidades sin generar un impacto negativo al medio ambiente, también suministrando por medio de generadores, energía a las comunidades aledañas a la empresa.

Entrepalmas tiene como visión “ser reconocida como una organización empresarial líder en la innovación y desarrollo de negocios sostenibles ligados a la agroindustria de la palma”, con más de 30 años de experiencia se posiciona como una de

las empresas más grandes del sector de la extracción, y comercialización de aceite de palma.

2.3.2. Descripción a detalle del proceso de extracción de aceite de palma de la planta extractora Entrepalmas SAS.

Antes de realizar una descripción detallada del proceso debemos hablar de la RSPO (mesa redonda sostenible de aceite de palma), dicho ente dictamina a las plantas de beneficio 3 tipos de cadenas de suministros para su certificación, las cuales son:

- **Identidad preservada:** aceite de palma sostenible certificado por RSPO de una única fuente certificada identificable que se mantiene separada del aceite de palma común a lo largo de la cadena de suministro.
- **Aislado:** aceite de palma sostenible certificado RSPO de diferentes fuentes certificadas que se mantiene separado del aceite de palma común a lo largo de la cadena de suministro.
- **Balance de masa:** aceite de palma sostenible certificado RSPO de fuentes certificadas que se mezcla con aceite de palma común a lo largo de la cadena de suministro.

En Entrepalmas SAS la cadena de suministros es la identidad preservada. Esto nos dictamina unas especificaciones que tiene la planta de beneficio.

2.3.2.1. Proceso de recepción. Luego de ser cortados los RFF, deben ser enviados lo más pronto posible a la planta de beneficio (Preferiblemente en un tiempo menor a 24 horas), esto con el fin de minimizar la oxidación del aceite produciendo AGL (ácidos grasos libres), ya que cada RFF posee un 1% de esto, pero este contenido se aumenta exponencialmente con el envejecimiento del fruto, por temas de calidad lo mejor es

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

procesar el RFF lo más pronto posible.

Al llegar a la planta de beneficio los RFF, son pesados en básculas camioneras para luego ser descargados en las tolvas de almacenamiento o en el acopio.

Figura 2

Báscula camionera de Entrepalmas SAS



Nota. Se evidencia la báscula de camiones donde se da inicio y final al proceso, controlando su peso.

En este punto inicia el control de la cadena de suministros (identidad preservada), dependiendo del lugar donde vengan los RFF se almacenan en tolvas o en lugares diferentes del acopio, para evitar su mezcla. Los RFF que vienen de las plantaciones aliadas, las cuales también son certificados RSPO, se almacenan en las tolvas 1 a 4, y el convencional de la 5 a 8, si estas tolvas llegan a estar llenas se utiliza el acopio, el cual en la parte derecha de este se almacena el RFF certificado, y en la izquierda el convencional. Después de esto, el RRF es descargado de las tolvas en vagones los cuales tienen una capacidad aproximada de 6.3 Ton de RFF, para ser llevados al siguiente proceso.

Figura 3

Tolva de recepción de Entrepalmas SAS



Nota. Se puede evidenciar la distribución en la tolva de recepción del fruto bajo la forma RSPO.

2.3.2.2 Proceso de esterilización (Horizontal). Los vagones llenos de RFF, son trasladados por medio de unos cabrestantes e ingresados a las autoclaves, en esta planta de beneficio se cuenta con 2 autoclaves, cada una con una capacidad de 4 vagones, donde podríamos tener un dato de la capacidad de esterilización es de 50 TN.

Figura 4

Esterilizador de Entrepalmas SAS



Nota. Se evidencia el esterilizador donde se cocina el fruto de palma.

Este proceso consiste en cocinar el fruto con vapor húmedo el cual es suministrado del distribuidor de vapor, esta etapa es de las más importantes del proceso ya que un fruto mal cocinado se puede reflejar en baja de la capacidad de la planta, mala maceración del fruto, mal prensado y por ende aumentar la pérdida de aceite.

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

Lo normal de esta etapa es trabajarla en 3 fases, las cuales son:

- **Fase 1:** después de ser cerradas las compuertas de las autoclaves, se abren las válvulas de ingreso de vapor y se lleva a una presión interna de la autoclave a 15 PSI, después de eso se cierran las válvulas de ingreso y se abre las válvulas de desfogue para bajar la presión a 10 PSI, aquí finaliza el primer pico de esterilización.
- **Fase 2:** nuevamente se cierran las válvulas de desfogue y se abren las válvulas de ingreso de vapor, donde la autoclave llega a una presión de 30 PSI, son cerradas las válvulas de ingreso y abiertas las de desfogue para que la presión interna llegue a 20 PSI y dar por finalizada la fase 2.
- **Fase 3:** son cerradas las válvulas de desfogue y se abre las de ingreso, se hace llegar a una presión interna de 40 PSI, en este punto es cortado el suministro de vapor, pero se mantiene esta presión por un tiempo de (35 a 40 Min), esta fase es llamada sostenimiento y es la clave para un buen cocinado del fruto.

Figura 5

Picos de esterilización



Nota. Grafica que muestra el proceso de esterilización según los picos de presión y el tiempo de sostenimiento. Tomado de <https://cultivopalma.tripod.com/esterilizacion.htm>.

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

A continuación, se concluyen los siguientes propósitos de la esterilización:

- Inactiva la enzima lipasa, la cual es la causante de la proliferación de los ácidos grasos libres.
- Facilitar la separación entre el fruto y los racimos
- Ablandar el tejido del mesocarpio para facilitar la digestión y el prensado del fruto.
- Calentar y deshidratar parcialmente las nueces y almendras para aumentar la eficiencia del rompimiento de estas y la separación.

Tabla 2

Datos generales del proceso de esterilización

Temperatura:	20 - 130 °C
Presión:	2-3 bar
Tiempo total esterilización por bache:	Cerca de 2 horas
Tiempo de sostenimiento:	45 a 60 minutos
Consumo total de vapor:	250kg/t RFF
Pérdida de vapor a la atmósfera:	50kg/ t RFF
Condensados:	Cerca de 200kg/t RFF
Pérdida de aceite:	Cerca de 0,5kg/t RFF

Nota. Se evidencia los requerimientos de un óptimo proceso de esterilización. Tomado del libro procesos modernos de extracción de aceite de palma, pag 43 (Fedepalma).

2.3.2.3. Desfrutado. Los vagones con el RFF cocinado son sacados de las autoclaves por medio de malacates e introducidos a un tambor de volteo, el cual por medio de engranajes voltea el vagón gradualmente, descargando los RFF en un redler, el cual se denominará como redler de fruto, esta descarga el RFF a un tambor desfrutador, donde se separa el fruto de los racimos.

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

Tabla 3

Datos generales del proceso de desfrutado del RFF

RFV (residuos sólidos):	200 a 230 kg/t RFF
Contenido de humedad:	150 kg/t RFF
Pérdida de aceite:	4,5 kg/t RFF
Vapor de agua:	30 kg/t RFF
Residuos líquidos:	Ninguno

Nota. En esta tabla se muestran los valores estándar de un proceso de desfrutado. Tomado del libro procesos modernos de extracción de aceite de palma, pag 52 (Fedepalma).

Figura 6

Tambor de volteo en operación de Entrepalmas SAS



Nota. En esta figura se evidencia el tambor de volteo en operación ingresando el RFF al proceso.

En este punto podemos dividir el proceso en dos, el proceso para los racimos de frutos vacíos (RFV) y el proceso para el fruto, a continuación, se explica el proceso del RFV.

Figura 7

Tambor desfrutador de Entrepalmas SAS



Nota. Se evidencia el tambor desfrutador, donde se separa el racimo del fruto de palma.

2.3.2.4. Prensado y tratamiento del RFV. Debido a los golpes recibidos del RFV dentro del tambor desfrutador, este queda impregnado de aceite del que se quiere recuperar, por ende, al salir del tambor desfrutador, los RFV caen en otro redler, se denomina como redler de tusa 1, esta descarga a otro redler llamado redler de tusa 2 y ahí será prensado en la primera prensa de tusa (prensa de tusa 1), esta prensa el RFV con el fin de extraer la mayor cantidad de aceite posible. Inevitablemente los RFV no quedan totalmente limpios de fruto, siempre existe un grado de impregnación de fruto, el cual se transmite a pérdidas de aceite, por eso después de ser prensado por la prensa de tusa 1, el RFV cae a un tambor recuperador de fruto, donde se cumple la misma función del tambor desfrutador, en este punto se recuperan un poco de fruta impregnada, la cual es nuevamente se deposita en el proceso y el RFV cae en el redler de tusa 3. El RFV ya prensado, se dispone a ser prensado nuevamente, por otra prensa de tusa. Este proceso se ve reflejado muy positivamente en la TEA (Tasa de extracción de aceite) ya que aumenta entre un 0.9% a 1.1%. Después el RFV doblemente prensado es ingresado a una máquina desbrozadora, la cual se encarga de preparar mejor el RFV para optimizar el tiempo de compost, y así tener un mejor tratamiento de los residuos sólidos.

Figura 8

Prensa de raquis de Entrepalmas SAS



Nota. Se evidencia prensa de raquis, donde se extrae el aceite adherido al racimo.

2.3.2.5. Extracción. Por medio de un sistema de elevadores de cangilones, el fruto es puesto en unos recipientes verticales con chaquetas de vapor (Digestores), donde por medio de unas cuchillas el fruto es macerado y convertido en una masa aceitosa homogénea.

Tabla 4

Datos generales del proceso de digestión

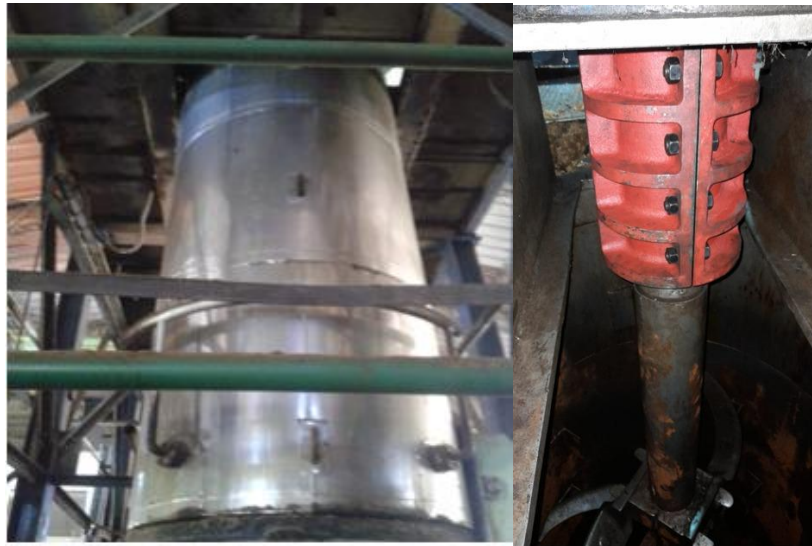
Consumo de vapor:	40-50kg/t RFF
Consumo de agua caliente:	65 kg/t RFF
Vapor de agua:	30 kg/t RFF
Residuos sólidos/líquidos:	Ninguno

Nota. La tabla muestra valores estándar para un proceso de digestión. Tomado del libro procesos modernos de extracción de aceite de palma, pag 52 (Fedepalma).

El proceso de extracción se realiza por medio de una prensa continua por sistema de tornillos la cual tiene una capacidad de prensado de 54 Tn/h.

Figura 9

Digestor número 6 del proceso de Entrepalmas SAS



Nota. Se evidencia el digestor, su bastidor como su parte interna, precisamente las aspas.

Figura 10

Prensa de fruto T15 de Entrepalmas SAS



Nota. Se evidencia prensa de fruto T15 de la planta Entrepalmas SAS.

En este punto también se puede dividir el proceso de producción en dos, el tratamiento de la torta de palmiste y el tratamiento del aceite de palma, se continuará enfocado en el proceso de extracción del aceite.

Tabla 5

Datos generales del proceso de prensado

Aceite crudo primario (mezcla de aceite, aguas y fibras):	400 kg/t RFF
Contenido aceite:	200 kg/t RFF
Contenido lodos pesados:	200 kg/t RFF
Residuos sólidos totales (mezcla de fibras o nueces):	320 kg/t RFF
Almendras (incluye 30 kg /ton RFF):	60 kg/t RFF
Cáscaras:	60 kg/t RFF
Fibras (el resto):	145 kg/t RFF
Humedad perdida durante la separación de fibras:	55 kg/t RFF
Residuos sólidos/líquidos:	Ninguno

Nota. Se evidencia las cantidades de los diferentes coproductos en el proceso de prensado. Tomado del libro procesos modernos de extracción de aceite de palma, pag 53 (Fedepalma).

2.3.2.6. Clarificación. El aceite crudo que sale de la extracción es depositado en un tanque llamado tanque de aceite virgen, para luego ser pasado por unas bombas y tamizado, ya que aún tiene un alto contenido de impurezas, también es depositado lo extraído por las prensas de tusa. Al salir del tamiz, se encuentra otro punto de control de la certificación RSPO, donde se separa al momento de procesar el fruto certificado del convencional, aunque cabe aclarar que los dos procesos de extracción son iguales. Luego de ser tamizado el aceite crudo es depositado en el tanque preclarificador.

2.3.2.6.1. Tanque preclarificador. Algunos estudios muestran que la separación de aceite se hace en una gran medida en los primeros 10 minutos del proceso de decantación, por eso se implementaron estos tanques. Esta trabaja por el principio de decantación por densidades.

Por la parte superior de estos se extrae el aceite por medio de unos embudos, este aceite se podría decir que es el más “Limpio”, que podemos recolectar en toda la cadena de

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

producción, por tanto, es llevado al secador al vacío para luego ser dispuesto en tanques de almacenamiento para su venta. Por la parte inferior, extraemos el lodo aceitoso, el cual es transportado por medio de unas bombas al tanque clarificador.

Figura 11

Tanque preclarificador de Entrepalmas SAS



Nota. En la figura se evidencia el tanque preclarificador, donde se lleva a cabo la separación del aceite del lodo.

2.3.2.6.2 Tanque clarificador. El lodo aceitoso es calentado tanto por introducción de vapor vivo como por serpentines cerrados de calentamiento con vapor, esto para facilitar la separación por gravedad. Al cabo de un tiempo esta forma 3 capas visibles diferentes: una superior de aceite de palma rojo con un contenido de humedad intermedia en la cual hay aceite, agua y materia orgánica y por último la inferior la cual posee lodos pesados. El aceite separado por la parte superior es recogido por un embudo y enviado al sistema de secado al vacío. La descarga de lodos es recogida por el tanque de lodos y tratado posteriormente.

Tabla 6

Datos generales del proceso de clarificación

Consumo de agua caliente:	220 kg/t RFF
Aceite crudo primario:	120 kg/t RFF
Residuos líquidos acuosos (descarga inferior):	500 kg/t RFF
Temperatura de proceso:	≥95°
Tiempo de retención:	1 a 5 horas

Nota. Se evidencian los requerimientos y los productos del proceso de clarificación.

Tomado del libro procesos modernos de extracción de aceite de palma, pag 55 (Fedepalma).

Figura 12

Tanque clarificador de Entrepalmas SAS



Nota. Se evidencia la segunda parte del proceso de clarificación mediante el tanque clarificador.

2.3.2.7. Tanque pulmón de lodos. El lodo de la descarga del clarificador se caracteriza por tener un alto contenido de aceite (Aprox 14%) con el fin de recuperar ese aceite, el lodo es llevado al tanque pulmón de lodos, el cual es bipartido, por la parte inferior llega la descarga de aceite del clarificador, el cual alimenta un tamiz y este alimenta

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

las bombas de lodos, las cuales transportan el lodo a los desarenadores, los cuales se encargan de sacar la arena que posea el lodo con el fin de cuidar los equipos del siguiente proceso. Los desarenadores descargan el lodo limpio a la parte inferior del tanque pulmón de lodos, donde este alimenta las centrífugas.

Figura 13

Tanque pulmón de lodos bipartido de Entrepalmas SAS



Nota. Se evidencia tanque pulmón de lodos de la empresa entrepalmas, donde se lleva a cabo el tratamiento de los lodos que salen del clarificador.

2.3.2.8. Centrífugas. El lodo aceitoso alimenta la centrífuga deslodadora, llena la estrella (la cual puede ser de diferentes dimensiones), donde este empieza a girar y es sometido a diferentes aceleraciones tanto radial como axial, provocando por diferencia de densidades el fraccionamiento de este mismo. Las partículas más pesadas se van para las puntas de la estrella y serán expulsadas por las toberas donde están montadas las boquillas, en la parte interior de la estrella permanece el aceite el cual es recuperado e ingresado nuevamente el proceso.

Figura 14

Centrifuga deslodadora número 2 de Entrepalmas SAS



Nota. Se evidencia como está compuesto la centrifuga deslodadora, su entrada y su salida, encargada de separar por medio de decantación centrifuga el aceite del lodo.

La descarga de lodo es enviada a una canal donde se recupera la descarga de todas las centrifugas y luego es enviado por gravedad al área de florentinos.

2.3.2.9. Florentinos. En este punto ya se extrae la última capa de aceite que posean los lodos, en este punto todo se hace de forma más manual, el aceite recuperado en esta área va a un tanque llamado tanque de aceite ácido y es enviado nuevamente al proceso. El lodo ya sin aceite es depositado en las lagunas de enfriamiento, transportado por medio de las bombas de efluentes. El POME, es utilizado para hacer biodigestores y con estos obtener energía eléctrica.

A la salida de la prensa de fruto en el proceso de extracción, obtenemos el licor de prensa el cual pasa por el proceso de clarificación, y la torta de palmiste, la cual va a un proceso de desfibración y luego a la palmisteria.

2.3.2.10. Desfibrilación. La torta es desmenuzada y secada parcialmente, a medida que es conducida por el transportador de torta, por medio de la agitación de las paletas es

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

separada las nueces de la fibra. La separación final la realiza el ventilador de vibra, el cual, por un proceso neumático, se utiliza una columna vertical hueca, donde el flujo ascendente producido por el ventilador, el cual arrastra la fibra por ser más liviana y las nueces caen al fondo de la columna.

Esta fibra es transportada por medio de sinfines y utilizada como biomasa para las calderas.

2.3.2.11. Palmisteria. Las nueces separadas pasan por el tambor pulidor para separar las fibras adheridas que aún tengan; después del tambor pulidor las nueces van al silo de nuez, donde son calentadas para facilitar el rompimiento de la cascarilla; Las nueces ya secas son dirigidas al tambor clasificador, el cual separa las nueces por tamaños, para así llevarlas a las rompedoras, las cuales se encargan de romper la nuez y forman una mezcla de almendra, cascarilla y finos.

Por medio de otro proceso neumático, de una doble columna, separamos las almendras de la mezcla, la cual pasa por la interfase de finos y nuevamente separa la almendra pequeña, la nuez no rota y las cascarillas de mayor tamaño, esto lo envía al hidrociclón, donde se separan por medio de la diferencia de gravedad específica. Las almendras recuperadas del hidrociclón y las que salen por el fondo de la columna, se encuentran húmedas, y por ende son llevados a un silo de secado de almendra, y luego a su almacenamiento para ser enviadas a una planta de extracción de aceite de palmiste (CPKO).

2.3. Diseño y tramos de tubería a considerar

Es de suma importancia, para llegar a elaborar un diseño óptimo, identificar las diferentes líneas de proceso de los fluidos. Una vez identificadas, estas serán divididas en tramos. Los cuales estarán formados por el segmento de línea comprendida entre dos equipos consecutivos, por ejemplo, un caso en el que la bomba alimente un equipo, o entre

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

más de dos, en el caso que la bomba alimente diferentes equipos. Además, facilita el proceso de diseño, este se lleva a cabo de una forma ordenada puesto que se separan los tramos según el líquido que pasa por cada uno de estos, de esta forma para cada bomba hay diferentes factores a considerar, diferentes elementos en los cuales calcular sus respectivas pérdidas, diámetros óptimos, pérdidas de carga, cálculo de potencia, etc. Primero que todo, se tendrá en cuenta las propiedades de los fluidos presentes para el diseño y cálculo de las bombas, después un esquema donde se tendrá en cuenta todos los elementos que pasen en medio de los dos equipos desde el principio y final del trayecto.

Una vez teniendo en cuenta lo siguiente se procede a calcular los datos de la bomba y el diseño de los tramos de las tuberías.

Nota: hay que tener en cuenta que la presente planta se ha levantado de una forma experimental en el sentido que nunca ha contado con cálculos, excepto los sistemas de las calderas, que soporten porque se han seleccionado los presentes elementos y que ha medida de los años se han alterado elementos con el motivo de llevar a cabo un funcionamiento estable buscando la solución más rápida con la que se cuenta en dicho momento. La idea del rediseño, principalmente implementar cálculos óptimos los cuales puedan ayudar a mejorar el funcionamiento o en este caso tener en cuenta que elementos pueden ser remplazados dando un soporte.

2.4. Diseño de la bomba

2.4.1. Determinación del diámetro óptimo de la conducción en la bomba

El aspecto más importante en la conducción es la velocidad que alcanza el fluido por el interior de las tuberías, también por la entrada y salida de la bomba. Respecto al caso de la circulación isoterma de fluidos incomprensibles, la velocidad viene implícita en el

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

caudal, puesto que se necesita de este para ser determinada, con ayuda del diámetro de la sección interna por la cual se desplaza el fluido. Para cada fluido, dependiendo su viscosidad, se debe tener un valor máximo de velocidad que no puede ser sobrepasado, de lo contrario puede producirse un deterioro del producto por tratamiento mecánico inadecuado. Los valores comunes de la velocidad se encuentran en la Tabla 7. Es importante tener en cuenta estos valores para su práctica ordinaria, en un caso donde se cuente con nuevos elementos; sin embargo, dependiendo de las condiciones, pueden requerirse velocidades que estén por fuera de los intervalos indicados.

Para este diseño se tomarán valores que se encuentren en los presentes rangos, como manera de llevar a cabo un proceso ingenieril adecuado.

Tabla 7

Velocidades recomendadas para fluidos en tuberías y bombas

Fluido	Tipo de Flujo	Velocidad	
		ft/s	m/s
Líquidos poco viscosos	Flujo por gravedad	0.5 – 1	0.15 – 0.30
	Entrada de bomba	1 – 3	0.3 – 0.9
	Salida de bomba	4 – 10	1.2 – 3
	Línea de Conducción	4 – 8	1.2 – 2.4
Líquidos viscosos	Entrada de bomba	0.2 – 0.5	0.06 – 0.15
	Salida de bomba	0.5 – 2	0.15 – 0.6
Vapor de Agua		30 – 50	9 – 15
Aire o gas		30 – 100	9 – 30

Nota. Se evidencia los rangos de velocidad de los fluidos en tuberías y bombas dependiendo de qué tan viscosos son los fluidos, tomado de McCabe et al., Operaciones Unitarias en Ingeniería Química, 7ª Ed., McGraw-Hill, 2007 (McCabe, Smith, & Harriott, 2007).

Para la bomba, se tiene en cuenta el caudal del fluido a bombear mediante un balance de masas y seleccionando una velocidad que este en los rangos de la tabla, se

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

determina de forma inmediata el diámetro mínimo. Una vez calculado este diámetro, se procede a normalizarlo (seleccionar un diámetro comercial inmediatamente superior a dicho valor mínimo). Respecto al análisis este diámetro normalizado representa un diámetro óptimo de menor coste posible, cumpliendo las exigencias en cuanto a la velocidad, valor utilizado en los próximos cálculos para seleccionar la bomba. Importante calcular el diámetro normalizado tanto para la entrada como para la salida de la bomba.

$$Q = \frac{V}{A} = \frac{V}{\frac{\pi D^2}{4}}$$

Ecuación 1

Donde:

Q es el caudal del fluido.

V es la velocidad de flujo.

D el diámetro interno.

2.4.2. Aspectos a considerar para el cálculo de las bombas

El principio de la bomba hidráulica es generar energía a un fluido para desplazarlo o extraerlo. En este tipo de instalaciones se pueden utilizar dos tipos de bombas.

- **Bombas centrífugas:** Están diseñadas para el manejo de fluidos de baja viscosidad, no siendo aptas para líquidos aireados. Respecto a la práctica, este tipo de bomba es muy común verla, se debe implementar siempre y cuando la situación lo permita, debido a su bajo costo inicial en comparación con otras bombas, igual que con su operación y mantenimiento. Por estos motivos. se recurrirá a esta para el bombeo de fluidos con una viscosidad relativamente baja y que no requieran un tratamiento particular.
- **Bombas de desplazamiento positivo:** A diferencia de las bombas centrífugas, estas

están diseñadas para el manejo de fluidos de alta viscosidad; en estas podemos llegar a encontrar dos tipos, las rotativas y las alternativas, esta clasificación se lleva a cabo basándose en el mecanismo encargado de generar el impulso al fluido.

Una vez teniendo en cuenta que tipo de bomba se puede seleccionar es necesario mirar la situación en la que se requiere la bomba, además de llevar a cabo una serie de cálculos para cumplir a detalle con la selección de esta.

Se tiene en cuenta diferentes factores tales como: los diámetros en la succión y en la descarga, potencia, carga neta positiva en la zona de la succión y altura total de impulsión.

2.4.3. Cálculo de la bomba

Es necesario llegar a un valor de potencia, para que cumpla con lo que se requiere de esta; en este punto ya se cuenta con los diámetros y la altura total de impulsión, los cuales son dos de los diferentes factores a tener en cuenta para la selección, pero es necesario cumplir con más características.

2.4.3.1. Ecuación de Bernoulli. Para empezar a cuantificar todo lo que conlleva el cálculo de una bomba se aplicará la ecuación de Bernoulli (balance de energía mecánica) para la circulación isotérmica de un fluido incomprensible de un punto "1", en este caso sería el nivel del tanque donde se llevará a cabo la succión, a otro punto "2", que es donde se produce la descarga.

$$\Delta h = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2\alpha_2 g} + Z_2 - \frac{P_1}{\rho g} - \frac{V_1^2}{2\alpha_1 g} - Z_1 + h_f$$

Ecuación 2

Donde:

Z_i es la elevación en el punto i

P_i es la presión en el punto i

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

α_i es una constante que depende del tipo de flujo que se produzca. Es igual a $\frac{1}{2}$ si el flujo es laminar y es 1 para flujo turbulento.

h_f son las pérdidas

Δh carga de la bomba

ρ densidad del fluido

g gravedad

Dependiendo de las diferentes circunstancias del problema donde se requiera, la bomba se emplea la presente formula, existen casos donde las presiones son iguales a la presión atmosférica, ya que donde se sitúan estos puntos están expuestos al aire, un tanque abierto o como el caso de que estén en un tanque cerrado, el cual se procede a tener en cuenta las presiones dentro del tanque.

Respecto a las velocidades en estos puntos, se pueden considerar cero, puesto que se tiene en cuenta que el fluido en estos puntos va estar en reposo.

En conclusión, de las características de los puntos depende que variables hay que tener en cuenta o que otras se cancelan, sin embargo, surge una variable interesante, la cual es el siguiente paso a seguir, llamada pérdidas.

2.4.3.2. Cálculo de las pérdidas. La pérdida de energía tiene dos componentes: la pérdida mayor debido a la fricción, llamada pérdidas primarias y la pérdida menor de energía debido a accesorios, llamada pérdidas secundarias. (White, 2001)

Se debe tener en cuenta un valor de pérdidas totales para su diseño por lo cual se deben sumar esos dos tipos de pérdidas.

2.4.3.2.1. Pérdidas primarias. El rozamiento de un fluido con las paredes de la tubería por la que se conduce, provoca en el mismo una caída de presión, conocer este valor es indispensable comprobar el diámetro elegido para la conducción y así mismo para el cálculo de la bomba. Para calcular las pérdidas de carga en una tubería por la conducción se utiliza la ecuación de Darcy y se expresa en términos de la altura de la siguiente manera:

$$h_{f,primarias} = \frac{fLV^2}{2gD}$$

Ecuación 3

Donde:

$h_{f,primarias}$ es la pérdida de carga en metros de columna de líquido

L es la longitud de la tubería

V es la velocidad del fluido

D es el diámetro interior de la tubería

g es la gravedad

f es el coeficiente de fricción adimensional

Esta ecuación fue propuesta por Julius Weisbach, un profesor alemán, quien en 1850 publicó el primer libro moderno de hidrodinámica. (White, 2001)

El factor de fricción se puede calcular de dos maneras, una de esas es mediante el diagrama de Moody, ya que este factor está dado en función del número de Reynolds y del cociente de la división entre la rugosidad absoluta del material de la tubería entre el diámetro o por medio de la ecuación de Colebrooks en función del tipo de flujo. Se procede a calcular mediante el método de la ecuación de Colebrooks.

Primero hay que tener en cuenta el número de Reynolds. La transición de un flujo laminar a turbulento depende de la geometría de la superficie, la rugosidad, la velocidad del

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

fluido, la temperatura de la superficie y el tipo del fluido. Osborn Reynolds definió una unidad adimensional para describir el movimiento de los fluidos. El número de Reynolds mide la inercia del fluido en relación a su viscosidad. (Cengel & Cimbala, 2007)

Este se calcula de la siguiente forma:

$$Re = \rho \frac{VD}{\mu}$$

Ecuación 4

Donde:

Re es el número de Reynolds

ρ es la densidad del fluido

V es la velocidad del fluido

D es el diámetro interior de la tubería

μ es la viscosidad dinámica del fluido

Dependiendo del valor del número de Reynolds se puede clasificar el tipo de flujo y calcular el coeficiente de fricción de la siguiente manera:

- Si el flujo es laminar ($Re \leq 2000$)

$$f = \frac{16}{Re}$$

Ecuación 5

- Si el flujo es turbulento ($Re \geq 4000$) o pertenece a la zona transitoria ($2000 \geq Re \geq 4000$), llamada ecuación de Colebrooks.

$$f = \frac{0.25}{\left(\text{Log} \left(\frac{\varepsilon}{3.71D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right)^2}$$

Ecuación 6

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

Donde:

f es el coeficiente de fricción adimensional o coeficiente de D'arcy

ϵ es el coeficiente de rugosidad absoluta del material del tubo

D es el diámetro interior de la tubería

Re es el número de Reynolds

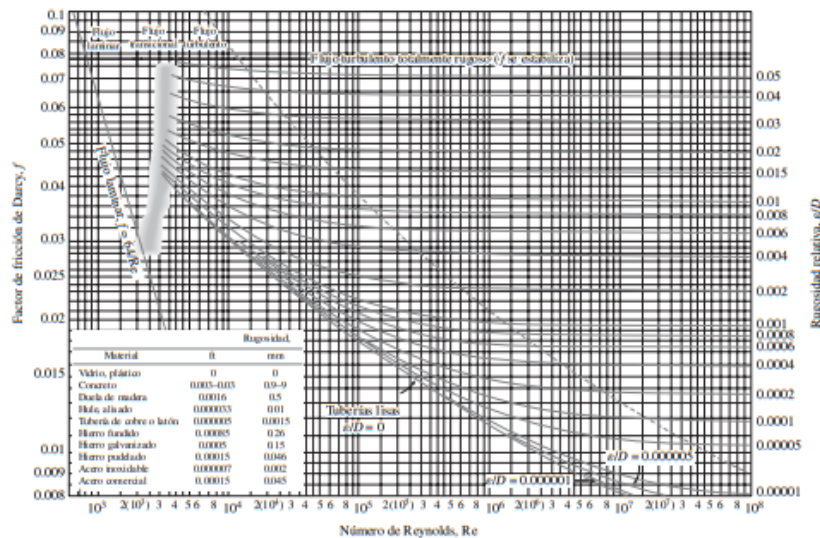
Ahora bien, mediante el diagrama de Moody se puede determinar fácilmente el coeficiente de fricción.

El diagrama de Moody es una de las figuras más populares y útiles en la mecánica de fluidos. Este diagrama tiene una certeza de $\pm 15\%$. Además, puede ser utilizada para tuberías de cualquier geometría y para canales abiertos. (White, 2001)

Una vez calculado el número de Reynolds, junto con la rugosidad relativa se procede a encontrar el factor de fricción de Darcy en la tabla.

Figura 15

Diagrama de Moody



Nota. Se evidencia el diagrama de Moody, tomado del libro Mecánica de fluidos fundamentos y aplicaciones, Yunus A. Cengel página 898. (Cengel & Cimbala, 2007)

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

Finalmente, con todas las variables halladas, se da calculo a las pérdidas primarias y se continua con las pérdidas secundarias.

2.4.3.2.2. Pérdidas secundarias. Donde se tienen en cuenta todos los accesorios que se encuentren dentro del tramo del sistema (válvulas, codos, tes, reducciones. Etc.) por lo que estos provocan también una pérdida de carga en el fluido. La forma de tener en cuenta dicha pérdida de carga es mediante el concepto de longitud equivalente, se entiende como una longitud de tramo recto de tubería capaz de producir la misma pérdida de carga que algún elemento a tener en cuenta. Las longitudes de las que se menciona, vienen tabuladas como un coeficiente de pérdidas los cuales se deben sumar teniendo en cuenta elemento por elemento. A continuación, se incluye una tabla.

Tabla 8

Resistencia en válvulas y accesorios expresada como la longitud equivalente

Tipo	Longitud equivalente en diámetros de tubería L_e/D
Válvula de globo —totalmente abierta	340
Válvula de ángulo —totalmente abierta	150
Válvula de compuerta —totalmente abierta	8
—abierta $\frac{3}{4}$	35
—abierta $\frac{1}{2}$	160
—abierta $\frac{1}{4}$	900
Válvula de retención —tipo oscilante	100
Válvula de retención —tipo bola	150
Válvula de mariposa —totalmente abierta, 2-8 in	45
—10-14 in	35
—16-24 in	25
Válvula de pie —tipo disco de vástago	420
Válvula de pie —tipo disco de bisagras	75
Codo estándar de 90°	30
Codo de 90° y radio largo	20
Codo de 90° para calle	50
Codo estándar de 45°	16
Codo de 45° para calle	26
Doblez de retorno cerrado	50
Te estándar —con flujo por la línea principal	20
—con flujo por la ramificación	60

Nota. Longitud equivalente en diferentes accesorios. Tomado del libro Mecánica de fluidos séptima edición Robert L. Mott / Joseph A. Untener. Pág 242 (Mott & Untener, 2012)

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

Ahora bien, la tabla 8 proporciona valores de la longitud equivalente, pero es necesario saber el coeficiente de pérdidas de cada accesorio, para ello se emplea la siguiente ecuación:

$$k = f * \frac{L_e}{D}$$

Ecuación 7

Donde:

k coeficiente de pérdidas accesorio

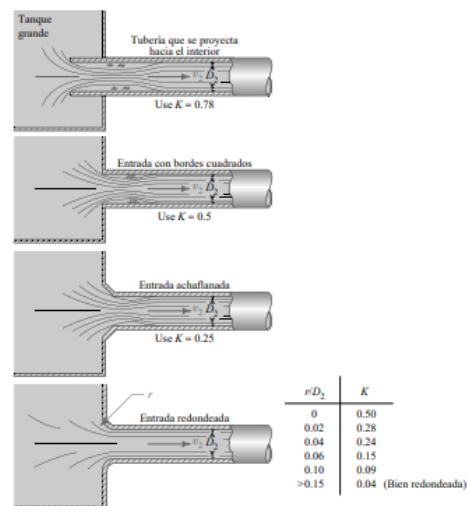
$\frac{L_e}{D}$ valor proporcionado por la tabla

f coeficiente de fricción adimensional calculado anteriormente

También se debe tener en cuenta la pérdida de entrada, influyente en la zona de succión, que depende de las siguientes situaciones mostradas a continuación:

Figura 16

Coficiente de pérdida secundaria montaje en el tanque de succión



Nota. Se observa 4 diferentes formas de montaje en el tanque de succión con sus respectivos coeficientes de pérdida. Tomado del libro Mecánica de fluidos séptima edición Robert L. Mott / Joseph A. Untener. Página 238 (Mott & Untener, 2012).

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

Luego se procede con la siguiente ecuación, para llegar al total de pérdidas secundarias:

$$h_{f,secundarias} = \sum K \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

Ecuación 8

Donde:

$\sum K$ es la sumatoria de los coeficientes de pérdidas de los elementos presentes en el tramo

V es la velocidad del fluido

g es la gravedad

2.4.3.3. Potencia de la bomba y del motor. Es importante llegar al cálculo de la potencia, sin saltar ningún cálculo anterior, debido a que esta se encuentra en función de la carga de la bomba (Δh) y se determina de la siguiente forma:

$$P_b = \frac{(\Delta h)\rho g Q}{\eta}$$

Ecuación 9

Donde:

P_b es la potencia de la bomba

Δh es la carga de la bomba

ρ es la densidad del fluido

g es la gravedad

Q es el caudal

η es la eficiencia (se considera el 70% si es una bomba nueva)

Ahora bien, la bomba será accionada por un motor eléctrico por lo que para dicho

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

cálculo se va tener una eficiencia de transmisión mecánica; lo cual, por ser una bomba nueva, será del 90% y esta potencia es la que será tomada en cuenta para la selección de la bomba, se plantea la siguiente ecuación:

$$P_m = \frac{P_b}{0.9}$$

Ecuación 10

Donde:

P_m es la potencia del motor

P_b es la potencia de la bomba

2.4.3.4 Cálculo del NPSH disponible. Como sus siglas lo indican dada la expresión inglesa "Net Positive Suction Head", se deben diferenciar dos conceptos: la NPSH requerida y la NPSH disponible. La primera depende del diseño de la bomba por lo que esta viene dada desde el fabricante, para dar un concepto detallado de esta se representa como la energía necesaria para llenar la parte de aspiración hasta el punto donde se incrementa la energía; por otra parte, la NPSH disponible es la diferencia entre la presión a la entrada de la bomba y la tensión de vapor del fluido a la temperatura de funcionamiento; a continuación, el cálculo de la NPSH disponible:

$$NPSH_D = \frac{P_S - P_v}{\rho g} - Z - h$$

Ecuación 11

Donde:

P_S es la presión atmosférica o presión de superficie, esta cambia dependiendo de los msnm, en el caso de San Martín, Meta, esta tiene un valor de 14 PSI

P_v es la presión de vapor del fluido

ρ es la densidad

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

g es la gravedad

Z es la altura de aspiración

h son las pérdidas en la zona de aspiración

En conclusión, la NPSH disponible deberá ser mayor que la NPSH requerida para no correr el riesgo de que la bomba entre en cavitación lo que reduce su carga y eficiencia al mismo tiempo que va dañando el material de la misma. Sin embargo, si este llega ser menor entonces se puede revisar la longitud de aspiración, probablemente se puede cortar o se puede aumentar el diámetro de la tubería, para dar solución a este.

2.5. Accesorios para los sistemas de transporte de fluidos.

Se tiene en cuenta un conjunto grande de piezas ya sean moldeadas o mecanizadas utilizados para elaborar conexiones que colaboren a unir tramos de tuberías en cualquier instalación, de esta forma se puede manejar la dirección del flujo dependiendo del espacio requerido para dicha instalación. Entre la cantidad de accesorios, los más comunes son:

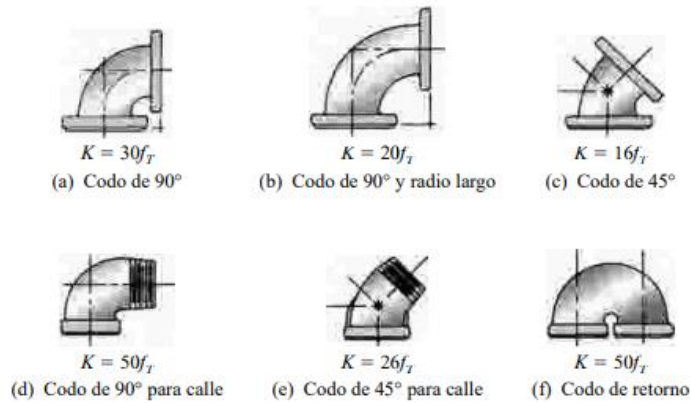
- Codos
- Tes
- Bridas
- Reducciones
- Empaques
- Válvulas

2.5.1. Codos

Accesorios cuya utilidad es cambiar de dirección el flujo del fluido tantos grados como sea necesario para cumplir con las especificaciones de las rutas. Se pueden encontrar variedad de codos, dependiendo el ángulo y también dependiendo si es de radio corto o largo, entre los comunes se encuentran codos de 90° y 45° y codos mitrados.

Figura 17

Tipos de codos



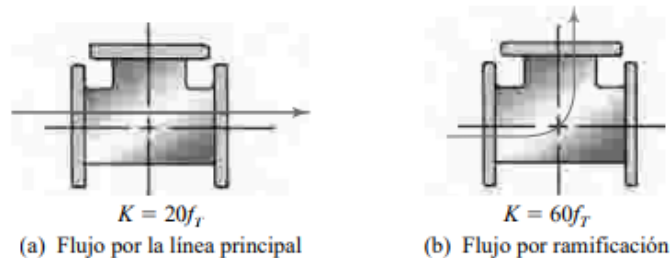
Nota. Se evidencian 6 tipos de codos con su respectivo coeficiente de pérdida secundaria dependiendo de un factor de fricción (f_t) Tomado del libro Mecánica de fluidos séptima edición Robert L. Mott / Joseph A. Untener. Página 241. (Mott & Untener, 2012)

2.5.2. Tes

Accesorios cuya utilidad es realizar derivaciones a 90° continuando también con la tubería principal, existen dos tipos: normal, cuando la derivación es del mismo diámetro y reductora, cuando la derivación posee un diámetro menor que al a tubería principal.

Figura 18

Tipos de T's



Nota. Se observa dos tipos de T's con su respectivo coeficiente de pérdidas secundarias dependiendo del factor de fricción (f_t). Tomado del libro Mecánica de fluidos séptima edición Robert L. Mott / Joseph A. Untener. Página 241. (Mott & Untener, 2012)

2.5.3. Bridas

Accesorios especialmente para conectar tuberías con equipos, ya sean bombas, intercambiadores de calor, calderas, tanques, etc. También con otros accesorios, como válvulas, codos, etc. La unión se hace mediante dos bridas una perteneciente a la tubería y la otra al equipo, otro accesorio u otra tubería. La principal ventaja de las uniones mediante bridas es el fácil montaje y desmontaje, a la hora de realizar un mantenimiento o un cambio de equipo resulta siendo una unión eficaz. Existen diferentes tipos de bridas, cada tipo puede soportar temperaturas y presiones de operación diferentes.

2.5.4. Reducciones

Accesorios de forma cónica que permite disminuir el volumen del fluido mediante su cambio de diámetro. Existen dos tipos: concéntricos, se mantiene en el mismo eje tanto de la entrada como de la salida y excéntricos, como su nombre lo indica se produce una excentricidad respecto a los ejes de entrada y salida.

2.6. Válvulas

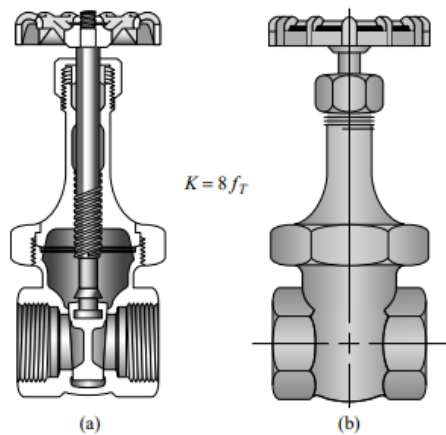
Las válvulas desempeñan un papel importante a la hora de diseñar los sistemas de transporte de fluidos, ya que estas permiten controlar manualmente el caudal del sistema para que se adapte de una forma óptima a las necesidades de la aplicación.

2.6.1. Válvula de compuerta

También llamada válvula multivuelta, esto significa que su funcionamiento se realiza mediante un vástago roscado, por lo que están diseñadas para un servicio completamente abierto o completamente cerrado, no se deben utilizar como válvulas de control. Estas válvulas son empleadas a menudo cuando se necesita una pérdida de carga mínima con un paso total del caudal.

Figura 19

Válvula de compuerta



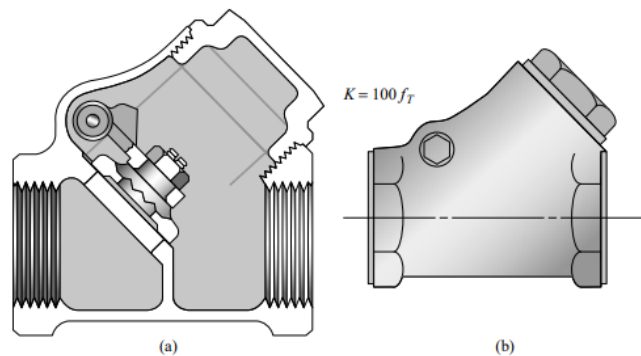
Nota. Vista de sección de una válvula de compuerta Tomado del libro Mecánica de fluidos séptima edición Robert L. Mott / Joseph A. Untener. Página 239. (Mott & Untener, 2012)

2.6.2. Válvula de retención

Utilizada principalmente para evitar el retorno del fluido y asegurar que solo fluya en una dirección. Se puede utilizar de la mano de las bombas para evitar el descebado y evitar golpes de ariete.

Figura 20

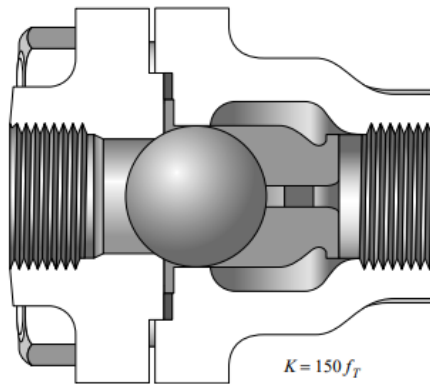
Válvula de retención tipo oscilante



Nota. Vista de sección de válvula de retención tipo oscilante. Tomado del libro Mecánica de fluidos séptima edición Robert L. Mott / Joseph A. Untener. Pág 239. (Mott & Untener, 2012)

Figura 21

Válvula de retención tipo bola



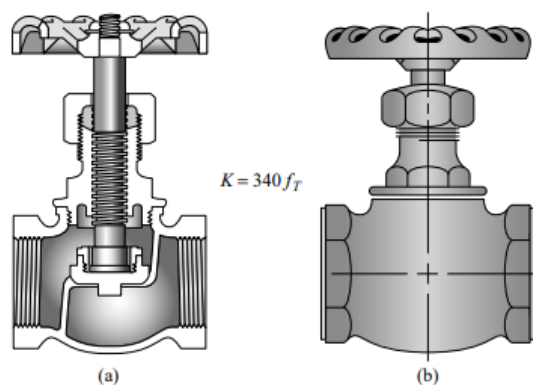
Nota. Vista de sección de una válvula de retención tipo bola. Tomado del libro Mecánica de fluidos séptima edición Robert L. Mott / Joseph A. Untener. Pág 240. (Mott & Untener, 2012)

2.6.3. Válvula de asientos o globo

Su uso principal es para la estrangulación porque produce una caída repetible de presión, también tiene una baja capacidad y duración limitada del asiento debido a la turbulencia. Su mantenimiento resulta costoso puesto que sus sellos son de metal con metal.

Figura 22

Válvula de asientos o globo



Nota. Vista de sección de una válvula de asientos o globo. Tomado del libro Mecánica de fluidos séptima edición Robert L. Mott / Joseph A. Untener. Página 239. (Mott & Untener, 2012)

3. Datos iniciales

La recolección de datos es un buen punto de partida para lo que conlleva el rediseño de un proyecto, en la cual se pueden identificar, no solo la problemática a la que se va dar solución, sino muchas otras por las que la empresa pasa. Sin embargo, su función no solo es la de recolectar datos sin algún sentido, es de suma importancia el análisis que se obtienen de los documentos y más enfocado a la problemática, de esta forma identificar cuáles son los puntos críticos a los que se va dar solución.

En el presente proyecto es necesario identificar y analizar diferentes valores, como lo son las propiedades de los fluidos que se manejan en la planta, las rutas actuales y el balance de masa (Caudales), con el objetivo de proporcionar un punto de partida.

3.1. Caracterización de los fluidos

Para el desarrollo del proyecto, se debe tener en cuenta algunas propiedades de los fluidos a estudiar, por este motivo, se realiza la caracterización de cada uno de estos.

En el ámbito del proceso productivo de la planta extractora, para garantizar una máxima recuperación de aceite, las gotas de este que van mezcladas con los lodos, se separan según su diferencia de densidad. Sin embargo, la fuerza de fricción puede afectar negativamente este proceso, es necesario que este proceso se realice a una temperatura de 90 a 95 °C; esta información es crucial para la caracterización de los fluidos a estudiar, debido a que esto afecta las propiedades.

Tabla 9

Densidad y viscosidad dinámica de los fluidos a 90° C

Datos propiedades de los fluidos a 90 °C				
	Agua	Aceite de palma	Lodos	Efluentes (Pome)
Densidad (Kg/m ³)	965,06	860	970	965,06
Viscosidad dinámica (Kg/m*s)	0,000315	0,0037	0,000315	0,000315

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

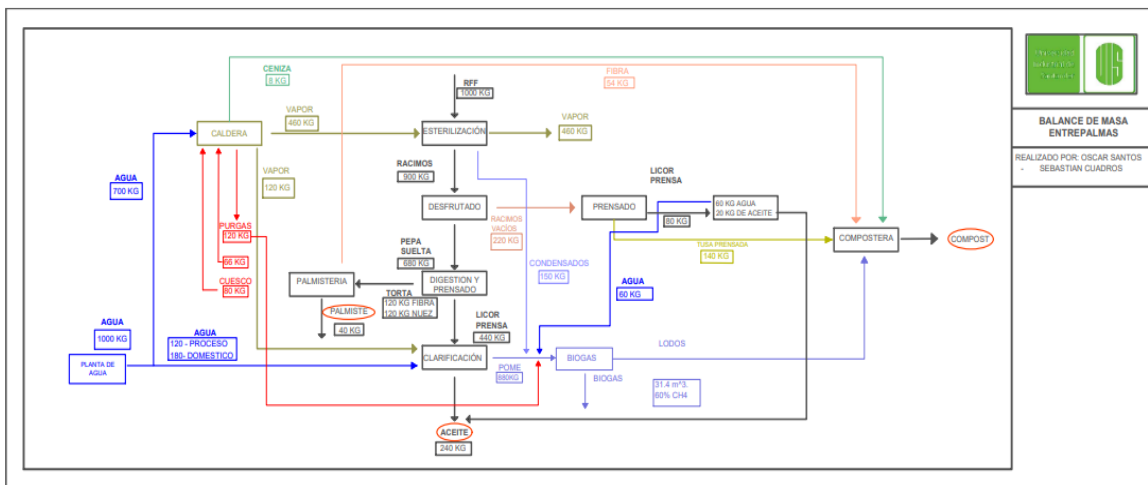
Nota. Se evidencian los valores de densidad y viscosidad dinámica de los fluidos teniendo en cuenta que estos deben estar a 90° C.

3.2. Caudales de la planta actual

Para obtener los caudales iniciales se realizó un balance de masa general de la planta, donde se tuvieron en cuenta los diferentes fluidos presentes como agua, aceite, vapor, lodos, efluentes y condensados *requeridos* y producidos, en el procesamiento de 1000 kg de RFF.

Figura 23

Balance de masa proceso de la planta entrepalmas SAS



Nota. Se evidencia el balance de masa de todo el proceso por 1 tonelada de RFF actualmente en la planta, para mayor visualización se puede encontrar en el apéndice A .

En este gráfico se muestra el balance de masas de la planta para procesar 1 Tonelada de RFF teniendo en cuenta las diferentes áreas y requerimientos, inicialmente ingresa el RFF al proceso de esterilización, en este proceso se consume una cantidad de vapor para producir, racimos cocinados y condensados, seguidamente de esto los racimos pasan al área de desfrutado donde se divide el proceso en fruta suelta y racimos vacíos, los

racimos van al proceso de prensado, donde se separa en tusa prensada, agua y aceite. El fruto suelto pasa al área digestión y prensado aquí se separa en licor de prensa y torta de palmiste que se compone de fibra y nuez, la torta le dirige al área de palmisteria donde se produce palmiste y el licor de prensa para el área de clarificación que produce aceite.

Para el proceso de requerimientos de agua por cada Ton de RFF, se necesita 1 Ton de agua la cual va dirigida al proceso, al uso doméstico y a la caldera. La caldera produce una cantidad de vapor que es dirigida al proceso y otra parte que es únicamente dirigida al área de esterilización. Finalmente, a partir del POME, se produce biogás para alimentar un generador el cual da energía a los diferentes equipos del proceso de extracción.

3.2.1. Proceso de clarificación

Se desarrolló un balance de masas para el proceso de clarificación, debido a que es el proceso donde sucede la separación del aceite de los demás elementos que componen la mezcla licor de prensa.

Inicialmente se realizó el balance de masas del área de clarificación para 1 Tonelada de RFF, seguidamente teniendo en cuenta la capacidad de planta actual es 45.5 Ton/h, se utilizó la siguiente ecuación para calcular el flujo por hora:

$$Flujo = Cap\ planta * (cantidad\ de\ flujo\ por\ ton\ de\ Rff)$$

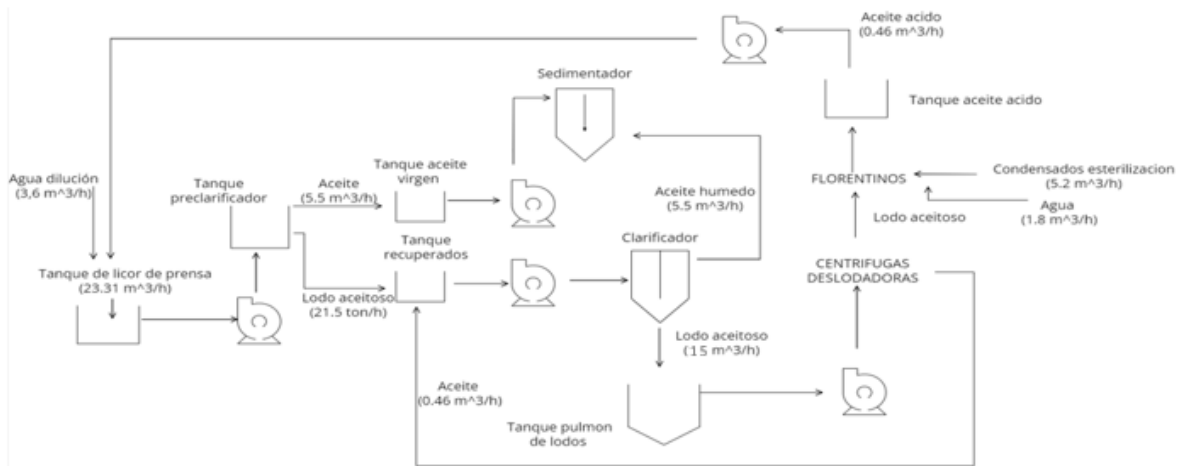
Por medio de las densidades del agua, aceite y lodo aceitoso, se determina el caudal/hora de los fluidos del área de clarificación

$$Q\ Fluido = (flujo/Densidad)$$

obteniendo los siguientes valores:

Figura 24

Caudales del proceso de clarificación de entrepalmas SAS



Nota. Se evidencian los caudales que pasan por los diferentes sistemas del proceso de clarificación tener presente dicho caudal para cálculo de bombas.

En la figura 24 se muestran los caudales en el área de clarificación (el desarrollo por el cual se llegó a la figura se encuentra en el apéndice A) para una capacidad de planta de 45.5 Ton/H. Inicialmente el crudo extraído de la prensa es recolectado en el tanque licor de prensa, para ser enviado al tanque preclarificador, donde se produce la primera separación de aceite del lodo aceitoso, el cual fluye por medio de gravedad al tanque aceite virgen para ser bombeado al tanque sedimentador; por otra parte el lodo aceitoso fluye al tanque recuperados para ser enviado al tanque clarificador donde se produce una segunda separación de aceite el cual es transportado al sedimentador; el lodo aceitoso pasa al tanque pulmón de lodos para alimentar las centrífugas, en este punto ocurre una tercera separación del aceite, este se bombea nuevamente al tanque licor de prensa y el efluente final del proceso es tratado en las lagunas de enfriamiento.

A partir de estos datos obtenidos, calculamos el caudal total que deben soportar las bombas sabiendo que:

$$Q_{total} = Q_{aceite} + Q_{lodo} + Q_{agua}$$

Tabla 10

Caudal total de las bombas en el proceso de clarificación actual

Caudal total bombas de clarificación actual				
Bombas	Caudal agua (m ³ /h)	Caudal aceite (m ³ /h)	Caudal lodo (m ³ /h)	Caudal total (m ³ /h)
Bomba licor prensa al tamiz	3,6	23,31	0	26,6
Bomba aceite virgen al sedimentador	0	5,5	0	5,5
Bomba recuperados a clarificador	0	0,46	21,5	21,96
Bomba de lodo a desarenadores	0	0	15	15
Bomba de aceite acido a tanque de aceite terminado	0	0,46	0	0,46

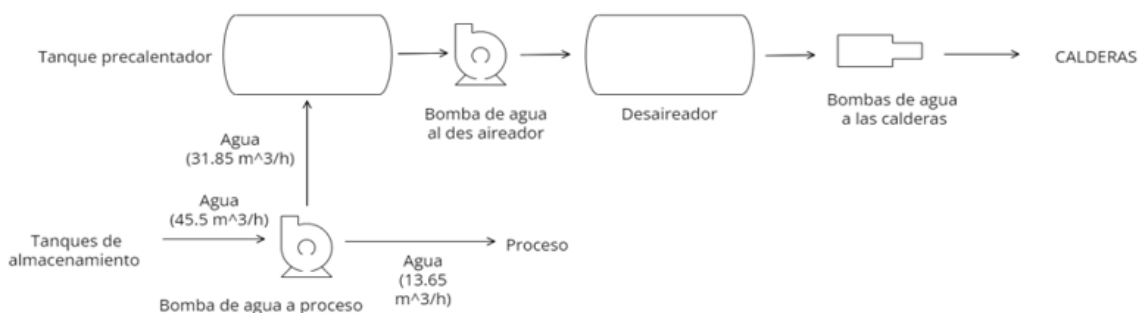
Nota. Los valores evidenciados en la presente tabla son los del caudal, con los cuales se encuentra actualmente en funcionamiento.

3.2.2. Caudal línea de agua actual

Para el balance de masas de la línea de agua se realizó un proceso similar, a los balances anteriores, se puede encontrar el proceso completo en el apendice A, Se realizó balance de masa para 1 Ton de RFF y a partir de este, la capacidad de planta y la densidad del agua, se obtiene:

Figura 25

Caudal de las bombas en la línea de agua actual



Nota. Se evidencia el caudal para los sistemas de agua con distribución a las calderas.

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

En este gráfico se muestra el balance de flujo del agua, partiendo desde la planta de tratamiento, donde se divide el flujo, una parte hacia las calderas y otra para el proceso y uso doméstico de la planta. Para el proceso de alimentación de caldera primero el agua es precalentada en un tanque, seguidamente es enviada al des aireador donde se calienta a 105 °C a una presión de 4 a 7 psi, para finalmente ser bombeada a la caldera.

De esta forma se obtienen los siguientes resultados para las bombas de agua:

Tabla 11

Caudal total de las bombas de agua actuales

Caudal total bombas de agua actual	
Bombas	Caudal total (m ³ /h)
Bomba de agua distribución general	45,5
Bomba de alimentación a la caldera VR10	13
Bomba de alimentación a la caldera VR15	18
Bomba de alimentación al des aireador	31

Nota. Se observa los caudales que pasa por cada bomba para alimentar cada sistema.

3.2.3. Caudal línea de efluentes

A partir del balance másico inicial se obtiene que la cantidad de flujo que pasa por la bomba de efluentes por ton RFF es de 600 KG, con la capacidad de planta se observa que el flujo por hora es de 27,3 (Ton/h), y su densidad es aproximada a la del agua, así que se supone igual a 1 (ton/m³).

En conclusión, el caudal de la bomba de efluentes es de 27,3 (m³/h).

Tabla 12

Caudal total de la bomba de efluentes actual

Caudal total bomba de efluentes actual	
Bomba	Caudal total (m ³ /h)
Bomba de efluentes	27,3

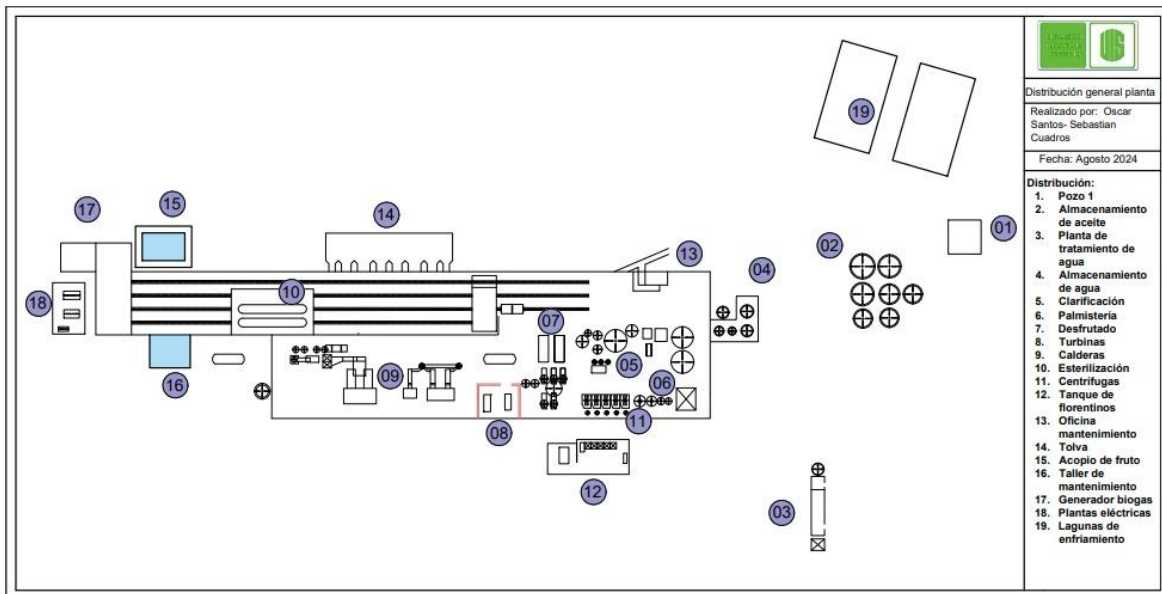
Nota. Se observa el caudal que pasa por la bomba de efluentes para alimentar ese único sistema.

3.3. Acerca de los sistemas

Se realizó un esquema general de la planta extractora donde se dividió por sectores como se muestra en la figura 26., esto con el fin de conocer la planta, su distribución y los sectores de cada planta.

Figura 26

Esquema general de la planta extractora de aceite de palma - Entrepalmas SAS



Nota. Se evidencia el diseño de la planta extractora de aceite de palma, específicamente la vista superior, si se desea un mayor detalle de este esquema se puede encontrar en el apéndice B-1.

3.3.1. Ruta de los tramos del transporte de los fluidos.

A continuación, son elaborados los esquemas de todos los fluidos, con una breve descripción, que hacen parte del proceso de extracción de aceite de palma, cabe aclarar que es el estado actual de la planta.

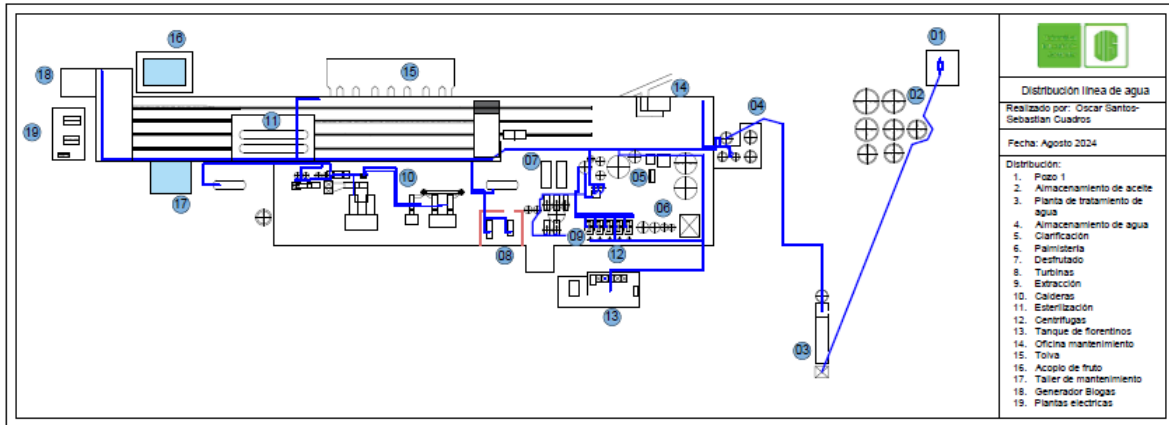
3.3.1.1. Ruta de transporte del agua. Para realizar un mejor análisis, se sectoriza la planta de extracción por áreas donde el fluido sea requerido, y se realizó un análisis de criticidad, donde los criterios fueron, seguridad, ambiental, producción, mantenimiento,

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

cada criterio fue analizado del 1 a 3, donde 3 es muy crítico y 1 nada crítico.

Figura 27

Esquema general de la línea de agua actual



Nota. Se evidencia el esquema de la línea de agua de la planta extractora de aceite de palma, específicamente la vista superior, si se desea un mayor detalle de este esquema se puede encontrar en el apéndice B-2.

En el análisis de las áreas donde es requerida el agua, se escogen dos para su análisis a profundidad y cálculos, el suministro de agua a las calderas, y el suministro de agua en general a toda la planta.

Tabla 13

Análisis de los sistemas de transporte de agua

Análisis sistema de transporte de fluidos (AGUA)													
Ruta transporte del agua	Seguridad de las personas			Riesgo ambiental			Costes de producción			Precios mantenimiento			Total
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Planta de tratamiento	x			x				x			x		6
Alimentación a la planta			x	x					x		x		8
Centrifugas	x			x			x			x			4
Prensas	x			x			x			x			4
Clarificación	x			x				x		x			4
Calderas			x			x			x			x	12

Nota. Se puede evidenciar según el análisis que los sistemas que presentan mayor criticidad son los de las calderas, por el alto riesgo que estas generan.

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

La ruta de transporte de agua en el área de calderas inicia en el tanque precalentador de agua, donde es calentada hasta un aproximado de 60-80 °C; luego pasa a la bomba, para ir al des aireador, donde se re calienta a un rango de (100 - 105 °C) a una presión de (4 a 7 PSI), esto se hace con el fin de que el agua a la caldera entre a una alta temperatura y cuidar este activo; seguidamente las bombas de agua de alimentación de la caldera hasta el ingreso a esta.

Para el suministro de alimentación a la planta, se analizó la bomba de alimentación, la cual es el elemento más crítico de esta.

Activos actuales de la ruta del agua en los puntos críticos:

3.3.1.1.1. Bomba de agua alimentación a la planta. Esta bomba es la encargada de alimentar los diferentes equipos de la planta en donde se requiera agua, inicialmente la bomba succiona del tanque de almacenamiento de agua donde seguidamente es entregada en el área de centrifugas para alimentar los filtro cepillos donde en este lugar se utiliza el agua para hacer limpieza del equipo, también alimenta el tanque de calentamiento donde se dispone agua para las centrífugas y los acondicionadores de las prensas, seguidamente reparte fluido para el distribuidor de vapor para saturarlo, ya que este es el requerimiento del proceso en la planta, luego de esto el agua llega a los suavizadores donde es el punto más importante de la alimentación ya que este es el agua que es enviada a la caldera, en el área de suavizadores se le realiza un tratamiento de limpieza al agua por medio de químicos para adecuarla a óptimas condiciones y no afectar la caldera, finalmente llega al área de esterilización donde en este punto el agua es utilizada únicamente para limpieza de las instalaciones.

Figura 28

Bomba de agua alimentación a la planta de Entrepalmas SAS



Nota. Bomba cuya potencia actual es de 45 Hp.

3.3.1.1.2. Bombas de agua de las calderas. Esta bomba es la encargada de alimentar las calderas ya sea la VR 15 como la VR 10, en este punto el agua es succionada del des aireador donde viene tratada y calentada para ingresar en óptimas condiciones al economizador, al ser un punto crítico y el corazón de la planta se tienen 3 bombas, dos para alimentar cada caldera y una de stock en caso de que alguna de estas dos falle. Las tres bombas tienen las mismas dimensiones para que no se vea afectado el correcto funcionamiento de estas.

Figura 29

Bomba alimentación a caldera VR10 de Entrepalmas SAS



Nota. Bomba cuya potencia actual es de 60 Hp.

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

3.3.1.1.3. Bomba de agua al des aireador. Esta bomba succiona el agua previamente calentada en el tanque 8 y envía el agua al des aireador donde se trata para obtener unas óptimas condiciones para la alimentación de la caldera.

Figura 30

Bomba de agua alimentación al des aireador de Entrepalmas SAS



Nota. Bomba cuya potencia actual es de 12 Hp.

Tabla 14

Datos línea de agua actual

Datos línea de agua							
Sistema	# codos y tipo	# válvulas y tipo	Ds (in)	Dd (in)	L (m)	A.G (mca)	Datos del motor (bomba actual)
Distribución general	12 codos 90° x 2 ½" 2 codos 45° x 2" 2 codos 45° x 2 ½"	2 válvula compuerta x 2" 10 válvulas compuerta x 2 ½"	2"	2 ½"	250	5	35 HP 3540 RPM
Caldera VR 10	1 codo 90° x 2" 6 codos 90° x 3"	1 válvula compuerta x 2" 2 válvulas compuerta x 3" 2 válvulas Cheque x 3"	2"	3"	22	3	60 HP 3560 RPM
Caldera VR 15	1 codo 90° x 2" 3 codos 90° x 3"	1 válvula compuerta x 2" 2 válvulas compuerta x 3"	2"	3"	13	3	60 HP 2560 RPM

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

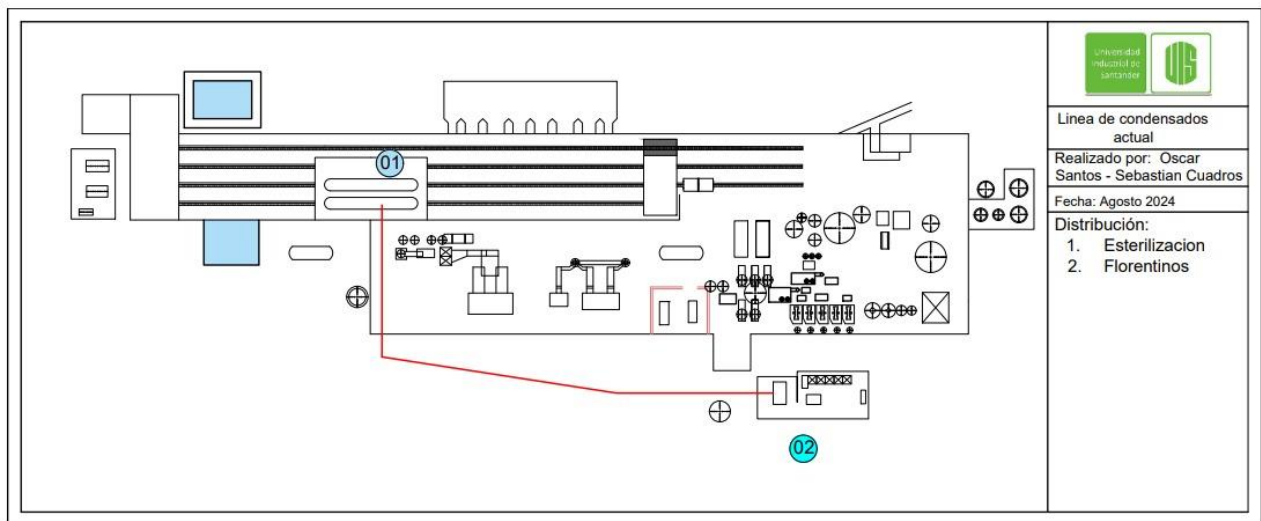
		2 válvulas Cheque x 3"					
Des-aireador	1 codo 90° x 2" 7 codos 90° x 2 ½ "	1 válvula compuerta x 2" 2 válvulas compuerta x 2 ½ " 1 válvula Cheque x 2 ½ "	2"	2 ½ "	18	5	10 HP 3520 RPM

Nota. Se evidencian todo lo relacionado con medidas, elementos y potencia de bomba de cada sistema actual del agua.

3.3.1.2. Ruta de análisis condensados. Los condensados de esterilización son recolectados en el canal y llevados al área de florentinos para recuperar el aceite impregnado en ellos obtenido en el proceso de cocinado del fruto.

Figura 31

Esquema general línea de condensados actual

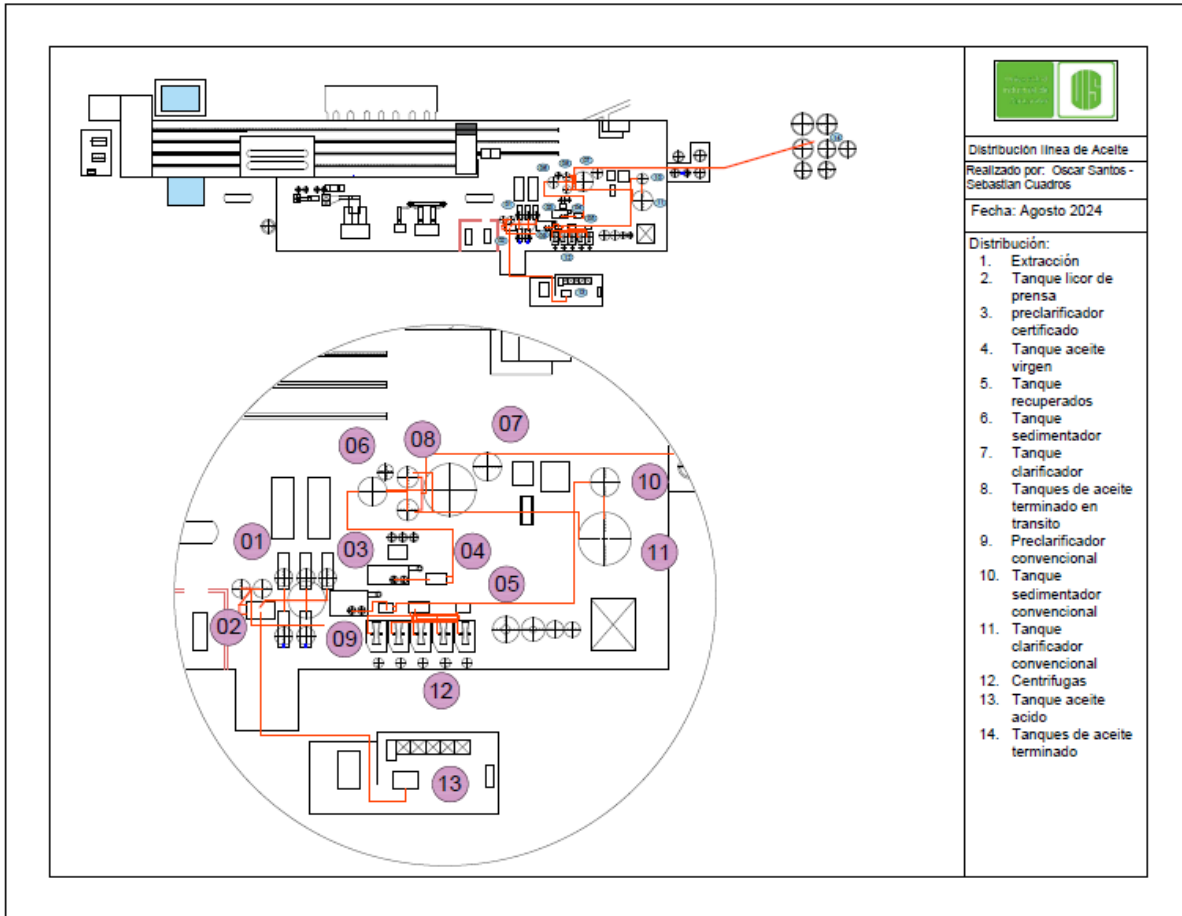


Nota. Se evidencia el esquema de la línea de condensados de la planta extractora de aceite de palma, específicamente la vista superior, si se desea un mayor detalle de este esquema se puede encontrar en el apéndice B-3.

3.3.1.3. Ruta de análisis de aceite. Para esto se analiza toda la cadena de transporte ya que es la más importante del proceso. Esta ruta inicia en el área de extracción, tanque de aceite virgen, luego se dirige hacia el tamiz, preclarificador y toda el área de clarificación.

Figura 32

Esquema general línea de aceites actual



Nota. Se evidencia el esquema de la línea de aceites de la planta extractora de aceite de palma, específicamente la vista superior si se desea un mayor detalle de este esquema se puede encontrar en el apéndice B-4.

3.3.1.3.1. Bomba de aceite virgen y bomba licor de prensa. En este punto se recibe la mezcla extraída por las prensas de fruto, y es llevada a un tamiz para separar la parte sólida de la líquida, seguidamente se alimenta por gravedad los tanque preclarificadores para continuar con el proceso de separación del aceite.

Figura 33

Bomba de licor prensa de Entrepalmas SAS



Nota. Bomba cuya potencia actual es de 3 Hp.

3.3.1.3.2. Bomba de Tanque aceite virgen a sedimentador. En este punto el aceite en el tanque preclarificador se envía al tanque de aceite virgen por medio de gravedad, donde en este punto es bombeado al tanque sedimentador para continuar con su proceso.

Figura 34

Bomba de tanque de aceite virgen a sedimentador de Entrepalmas SAS.



Nota. Bomba cuya potencia actual es de 3 Hp.

3.3.1.3.3. Bomba de tanque recuperados a clarificador. La mezcla de aceite y lodos enviada del tanque preclarificador es recolectada en el tanque de recuperados y enviada al clarificador para separar el aceite presente en esta y continuar con su proceso.

Figura 35

Bomba de tanque recuperados a clarificador de Entrepalmas SAS



Nota. Bomba cuya potencia actual es de 3 Hp.

3.3.1.3.4. Bomba de Tanque aceite ácido a tanque licor de prensa. Después del proceso de centrifugado el lodo residual antes de ser enviado a la laguna de enfriamiento se realiza una última recuperación física del aceite presente y esté recuperado se almacena en el tanque de aceite ácido y es enviado nuevamente al tanque licor de prensa para ser procesado nuevamente

Figura 36

Bomba de tanque aceite acido a tanque licor de prensa de Entrepalmas SAS



Nota. Bomba cuya potencia es de 1 Hp.

Tabla 15

Datos línea de aceite actual

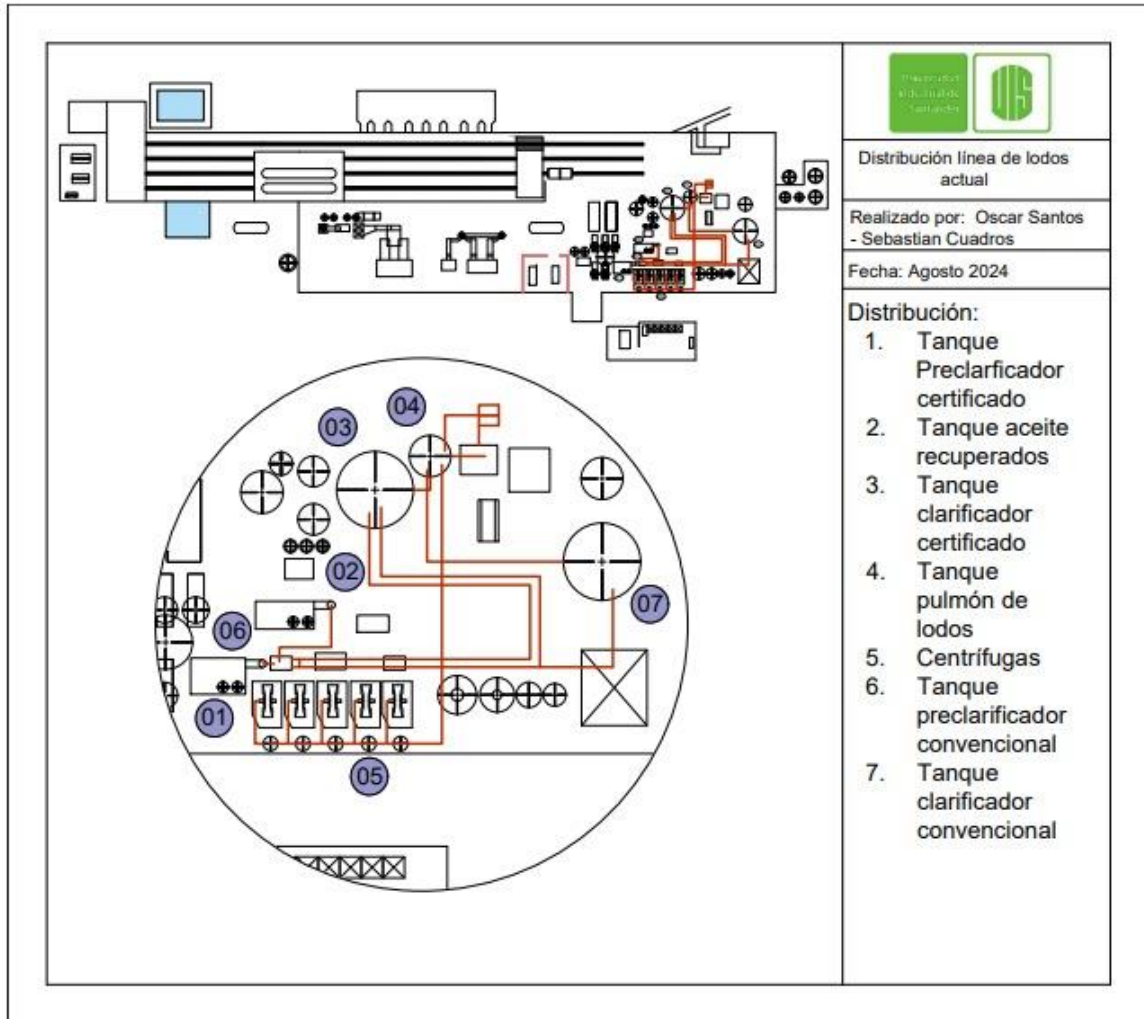
Datos línea de aceite							
Sistema	# codos y tipo	# válvulas y tipo	Ds (in)	Dd (in)	L (m)	A.G (mca)	Datos del motor (bomba actual)
Tanque licor de prensa a tamiz	2 codos 90° x 2"	2 válvula compuerta x 2"	2"	2"	9	7	3 HP 1800 RPM
Tanque aceite virgen a sedimentador 1	4 codo 90° x 2"	1 válvula compuerta x 2" 1 válvula Cheque x 2"	2"	2"	30	13	3 HP 1800 RPM
Tanque aceite virgen a sedimentador 2	5 codo 90° x 2"	1 válvula compuerta x 2" 1 válvula Cheque x 2"	2"	2"	23	13	3 HP 1860 RPM
Tanque aceite ácido a tanque de aceite terminado	5 codos 90° x 1"	1 válvula compuerta x 1" 1 válvula Cheque x 1"	1"	1"	15	4	1 HP 1800 RPM
Tanque de recuperados a clarificador	6 codos 90° x 2"	1 válvula compuerta x 2" 1 válvula Cheque x 2" 1 válvula tipo bola x 2"	2"	2"	40	13	3 HP 1800 RPM

Nota. Se evidencian todo lo relacionado con medidas, elementos y potencia de bomba de cada sistema actual del aceite.

3.3.1.4. Ruta de análisis de lodo. Para esto se analizará únicamente las bombas de lodos, ya que es el punto en donde se concentra el mayor caudal de lodos y es el único componente crítico de estos sistemas.

Figura 37

Esquema general línea de lodos actual



Nota. Se evidencia el esquema de la línea de lodos de la planta extractora de aceite de palma, específicamente la vista superior, si se desea un mayor detalle de este esquema se puede encontrar en el apéndice B-5.

El tanque pulmón de lodos bipartido alimenta el tamiz y este lleva el fluido al tanque de lodos donde las bombas de lodos succionan el fluido y lo transportan a los desarenadores, donde es separada la arena que tiene por medio de un delta de presiones.

Figura 38

Bomba de tanque pulmón de lodos bipartido a desarenadores de Entrepalmas SAS



Nota. Bomba cuya potencia es de 20 Hp.

Tabla 16

Datos línea de lodo actual

Datos línea de lodo							
Sistema	# codos y tipo	# válvulas y tipo	Ds (in)	Dd (in)	L (m)	A.G (mca)	Datos del motor (bomba actual)
Tanque de lodo a desarenadores	2 codos 90° x 3"	8 válvula compuerta x 3"	3"	3"	16	13	20 HP 1800 RPM

Nota. Se observa lo relacionado con medidas, elementos y potencia de bomba del sistema de lodo.

3.3.1.5. Ruta análisis de efluentes. Después de separar el aceite del lodo, se envía el efluente del proceso a una laguna de enfriamiento por medio de la bomba de efluentes, para disponer este fluido a otros tratamientos.

Tabla 17

Datos línea de efluente actual

Datos línea de efluente							
Sistema	# codos y tipo	# válvulas y tipo	Ds (in)	Dd (in)	L (m)	A.G (mca)	Datos del motor (bomba actual)
Bomba de efluentes	2 codos 90° x 3"	4 válvula compuerta x 3"	3"	3"	300	6	7,5 HP 1800 RPM

Nota. Se observa lo relacionado con medidas, elementos y potencia de bomba del sistema de efluentes.

3.3.1.6. Ruta análisis de vapor. Al iniciar con el levantamiento de información sobre esta ruta no se encontró históricos en los archivos de la planta, las tuberías presentaban condiciones inseguras por altas temperaturas y se ubican en alturas elevadas, lo cual dificulta la toma de medidas y el levantamiento inicial de información, por este motivo no fue posible realizar el estudio de esta ruta.

4. Resultados

Una vez analizados los documentos de los datos iniciales y viendo cómo se encontraba el estado principal de la planta, se hizo la selección de algunos arreglos, donde por criterio personal, se presentaban inconsistencias, no era el correcto montaje o se necesitaba un mayor requerimiento y por último se recalcula los sistemas dependiendo de la nueva capacidad a la que se plantea llegar.

4.1. Rediseño rutas

A continuación, se muestran los rediseños planteados:

4.1.1. Línea de agua:

Se puede evidenciar en la línea de agua, tramos donde se realizaron modificaciones, y tramos de tubería los cuales no llegan a ningún equipo, los cuales se recomienda modificar para no cargar las bombas.

Se recomienda independizar el suministro de agua en el área de prensado y el área de centrifugado, esta se da basándonos en las recomendaciones de los fabricantes de las prensas de fruto, los cuales piden que el suministro de agua a los acondicionadores sea a temperatura ambiente, y para el correcto funcionamiento de las centrífugas deslodadoras, el ingreso de agua debe estar a 70 °C, actualmente estos sistemas comparten un mismo tanque de agua, el cual tiene agua a temperatura de 70 °C.

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

En la planta extractora, algunas ocasiones se presenta falta de agua de suministro al proceso, sin presentarse ninguna novedad, en estos casos ocurre un bypass en la planta de tratamiento, para que el llenado sea más rápido, esto ocasionará a la larga un daño en la caldera. Realizando análisis del sistema de llenado, se observa que el tanque 2 el cual es el de mayor capacidad, es el primero en llenarse, luego de esto se llena por gravedad el tanque 1 por gravedad, pero se evidencia que el tanque 1 es el tanque principal de alimentación de la planta.

Se propone hacer la modificación del sistema de llenado de tanques, moviendo las bombas de alimentación a la planta para el tanque 2, instalando un bypass para llenar el tanque 1 y el tanque 2, y realizar una conexión de tuberías para que tanto el tanque 1 como el 2 puedan ser los responsables de la alimentación de la planta.

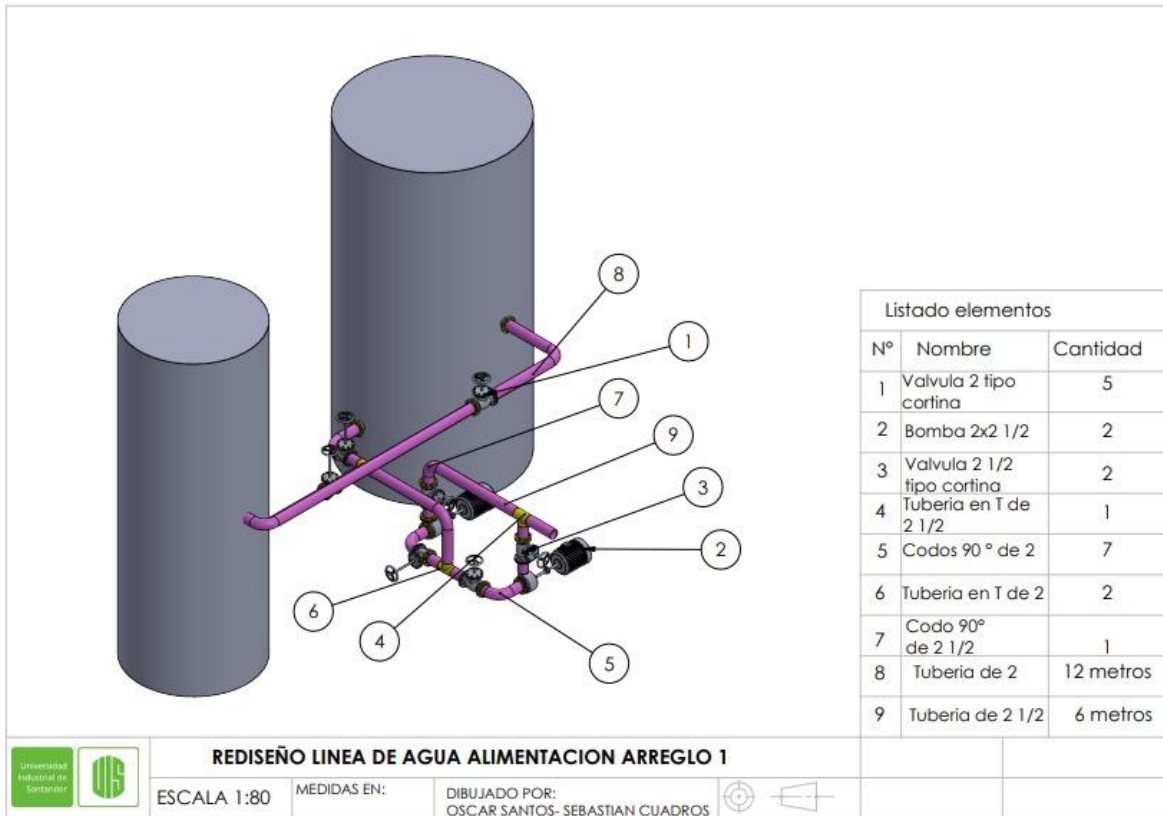
Se elaboraron dos arreglos, ambos serán evaluados y se planteará un criterio del porque se escogió el arreglo que mejor se adapta al rediseño.

Arreglo 1

Para el rediseño de sistema de alimentación, se van a correr las bombas principales para instalarlas cerca al tanque 2 de almacenamiento de agua, esto para hacer la tubería de succión lo más corta posible para evitar pérdidas de energía y riesgo de cavitación, se instalan dos válvulas tipo cortina de 2" en la tubería de succión esto para tener una de las dos bombas en stock, adicional a esto se instala una tubería de succión del tanque 1, en caso de alguna novedad en el tanque 2 utilizar este como respaldo, la tubería de impulsión de la bomba se conectará a la tubería actual de alimentación a la planta, y continuará con su recorrido a los diferentes puntos de la planta:

Figura 39

Arreglo 1 – Línea de alimentación de agua



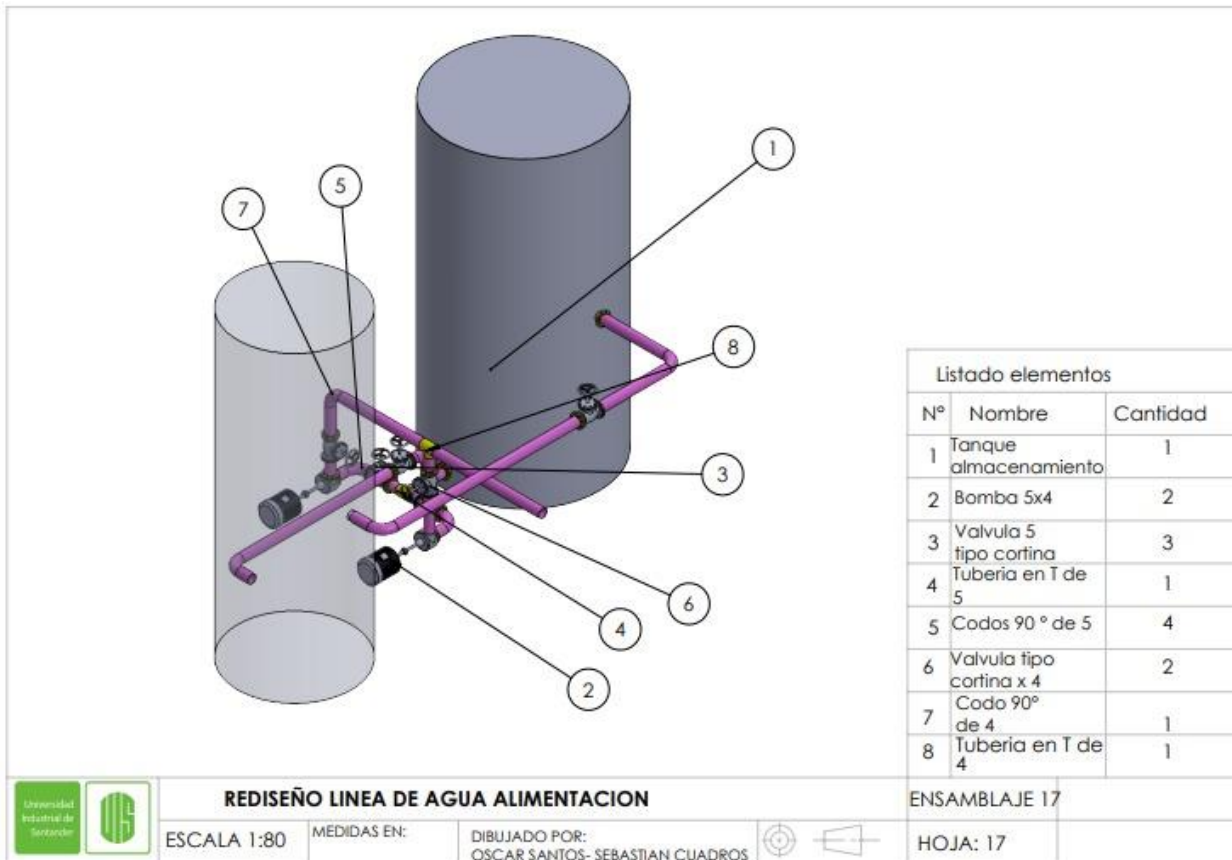
Nota. Se observa el arreglo del cambio de posición de la bomba de alimentación a la planta del tanque 2, si se desea un mayor detalle de la figura, se puede encontrar en el apéndice C-1.

Arreglo 2.

Se corren las bombas de su lugar, se posicionan frente al tanque 2 de agua alimentación, de esta forma se hace una succión mucho más corta, se instalan dos válvulas tipo cortina de 2” en la tubería de succión esto para tener una de las dos bombas en stock, adicional a esto se instala una tubería de succión del tanque 1, en caso de alguna novedad en el tanque 2 utilizar este como respaldo, la tubería de impulsión de la bomba se conectará a la tubería actual de alimentación a la planta, y continuará con su recorrido a los diferentes puntos de la planta:

Figura 40

Arreglo II – Línea de alimentación de agua



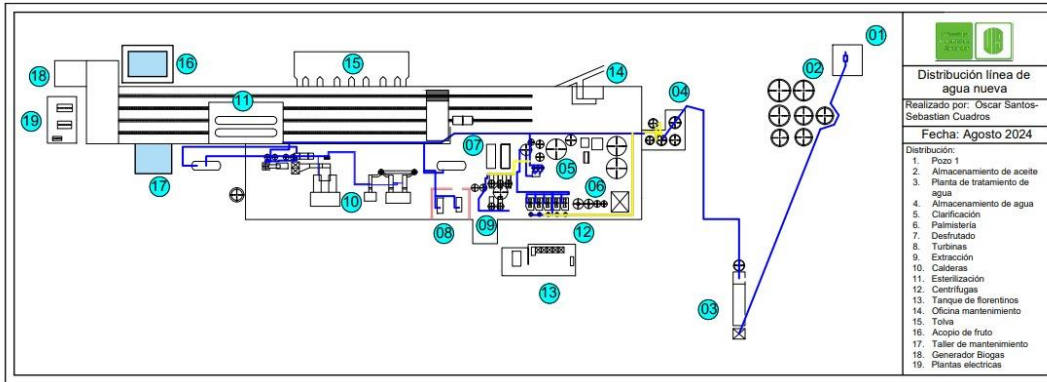
Nota. Se observa el arreglo del segundo cambio de posición de la bomba de alimentación a la planta del tanque 2, si se desea un mayor detalle de la figura, se puede encontrar en el apéndice C-2.

Se evidencia que el arreglo 2 posee menos materiales, una succión mucho más corta por la cual la bomba presenta menos pérdidas de energía, y por espacio en la planta, se escoge este arreglo para el rediseño de la planta.

El tramo final de la ruta de distribución de agua no conecta con ningún equipo y al verse tan alejado de la bomba, por lo que se corta este tramo para un mejor funcionamiento.

Figura 41

Tramo nuevo de la ruta de agua



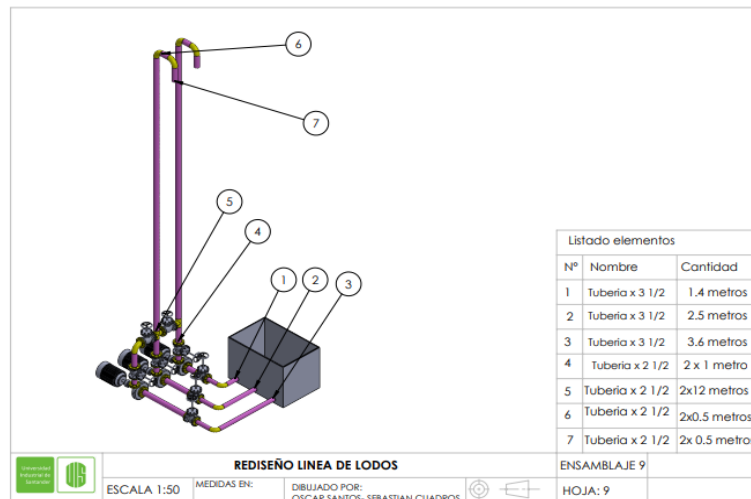
Nota. Se evidencia la nueva ruta de la ruta de agua, desde un plano superior de la panta, si se desea un mayor detalle de este esquema se puede encontrar en el apéndice D-1.

4.1.2. Línea de lodos

Puesto que las bombas 1, 2 y 3 comparten la misma tubería de succión, no permite el correcto funcionamiento de las bombas y puede generar algunos atrasos en la evacuación del lodo del tanque pulmón, se recomienda separar la succión de las 3 bombas para su correcto funcionamiento y optimización del proceso.

Figura 42

Arreglo 1- Línea de lodos



REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

Nota. Se evidencia la separación de las bombas, ahora cada una cuenta con su tramo para la succión, tanto la que va estar en funcionamiento, como las dos de stock, si se desea un mayor detalle de la figura, se puede encontrar en el apéndice C-3.

El llenado del tanque pulmón de lodos en ambas líneas se hace por gravedad, pero en el tanque clarificador convencional, se evidencia que está a una larga distancia del tanque pulmón, lo cual hace lento el proceso productivo, y genera pérdidas de aceite en lodo debido a la poca velocidad de alimentación del tanque pulmón.

Figura 43

Tanque pulmón de lodos de Entrepalmas SAS



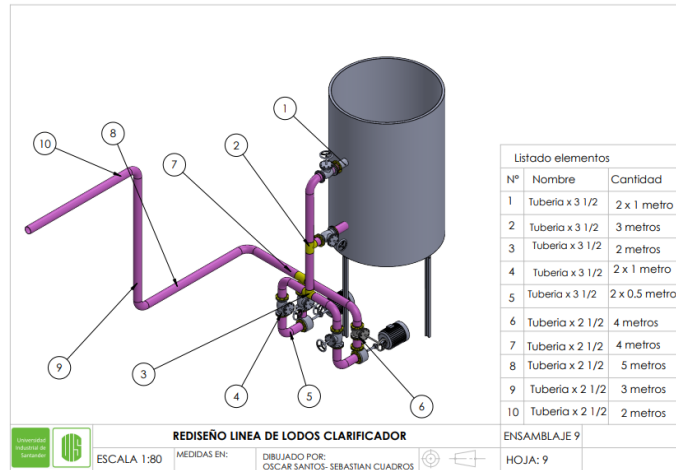
Nota. Se evidencia el tanque de Entrepalmas SAS al cual se le presentara un arreglo.

Debido a esto se propone instalar dos bombas en la salida de lodos de este tanque para aumentar la velocidad de procesamiento por esta línea, por lo cual se plantea la siguiente distribución para este arreglo:

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

Figura 44

Arreglo II – Línea de lodos

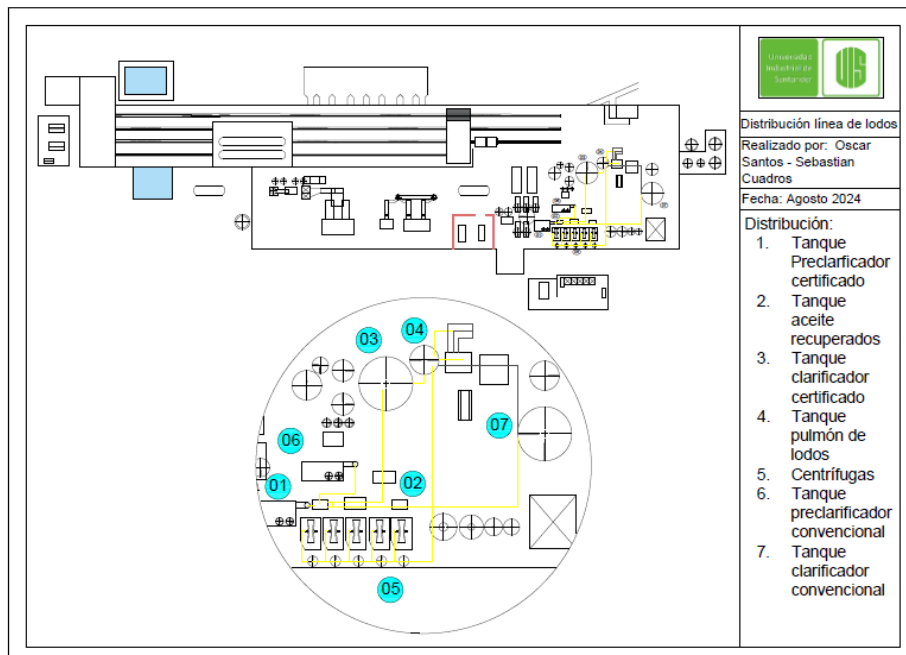


Nota. Se evidencia el nuevo sistema para aumentar la velocidad de procesamiento por esa línea, si se desea un mayor detalle de la figura, se puede encontrar en el apéndice C-4.

Luego de los cambios realizados en la línea de lodos, el esquema general de planta con la distribución queda como se muestra en la figura

Figura 45

Tramo nuevo de la ruta de lodos



REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

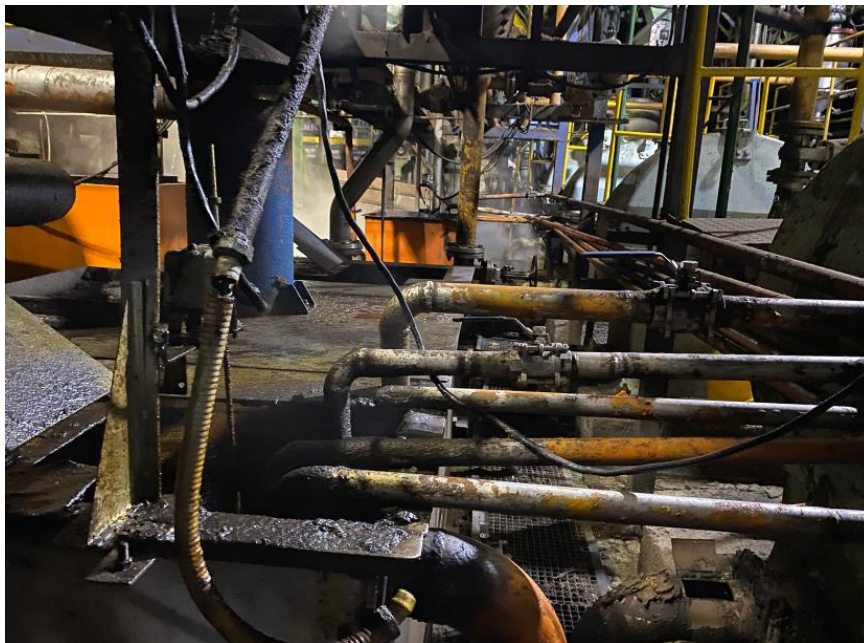
Nota. Se evidencia la nueva ruta de agua, desde un plano superior de la planta, si se desea un mayor detalle de este esquema se puede encontrar en el apéndice D-2.

4.1.3. Línea de aceite.

Analizando toda la ruta del aceite por la planta extractora, en el área de centrifugas, para la recuperación de aceite, se evidencian muchas tuberías para realizar el cambio de tanque de certificado a convencional, en el momento del cambio de variedad de RFF, se debe abrir y cerrar 10 válvulas, y la pérdida de mucho material. en el rediseño realizamos una tubería la cual conecta a las 5 tuberías de recuperación de aceite de las centrifugas, y reparte para el tanque de convencional y de certificado, con dos válvulas en las descargas a los tanques para hacer del cambio mucho más sencillo y con menos riesgo de mezcla de variedad.

Figura 46

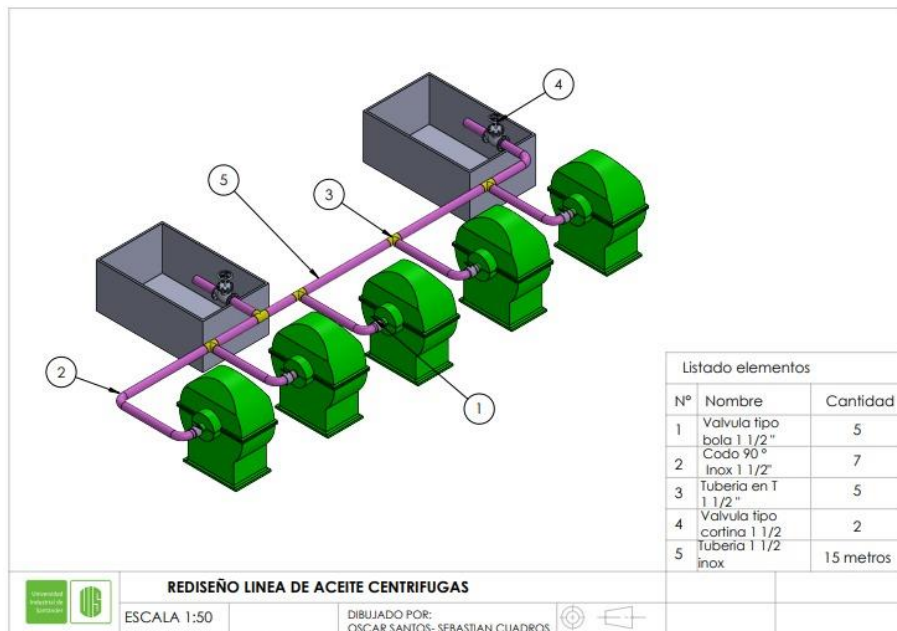
Línea de recuperación de aceite de centrifugas de Entrepalmas SAS



Nota. Se evidencia que todas las tuberías llegan de forma desordenada al tanque de recuperados

Figura 47

Arreglo 1 – Línea de aceite



Nota. Se evidencia la conexión de tuberías y así solo pueda llegar una al tanque, si se desea un mayor detalle de la figura, se puede encontrar en el apéndice C-5.

El índice de yodo y la acidez son las principales propiedades del aceite para tener en cuenta en su comercialización, dependiendo de estos se clasifica el aceite y tiene diferentes utilidades, el índice de yodo es un parámetro directamente relacionado con el tipo de aceite ya sea híbrido (OxG), oleífera y guineensis o (DxP) elaeis guineensis y la acidez mide la cantidad de AGL (ácidos grasos libres), y esto afecta directamente a la calidad del aceite.

El aceite en tránsito del proceso cuenta con diferentes acideces, depende que tantos procesos se utilicen para ser recuperado, nos enfocamos en el aceite recuperado en el área de florentinos, el cual es el último de la cadena de producción, podemos notar que el aceite recuperado en el tanque de aceite ácido es bombeado al tanque licor de prensa, esto en ocasiones genera aumentos de la acidez en el aceite de tránsito, así perdiendo su calidad y su valor en el mercado; Se debe construir un tanque para almacenar el aceite ácido

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

recuperado y almacenarlo, para ser reincorporado al proceso en el momento en que el aceite en tránsito ya sea de baja calidad o en dado vender esto como producto terminado de una menor calidad.

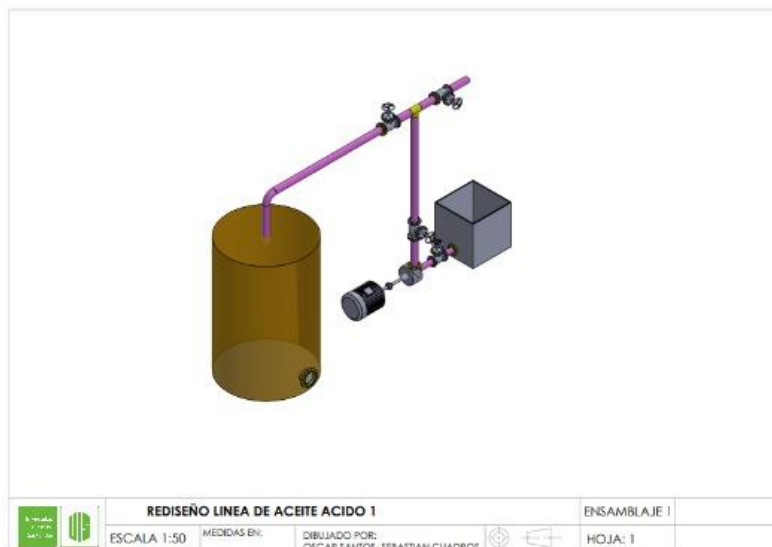
Arreglo 2 -Tramo 1:

Teniendo en cuenta el poco caudal ha recuperado en el tanque aceite ácido, se planteó que la capacidad del tanque auxiliar sea mayor que 8 horas de trabajo continuo de la planta, lo cual se traduce a 5.5 (ton/h), esto con el fin que una vez por turno se realice toma de acidez y se reintegre al proceso o se saque como producto terminado este aceite, de esta manera se escoge un tanque de capacidad de 6 toneladas.

Se divide en dos el diseño del sistema de transporte de aceite ácido, el tramo 1 será del tanque de aceite ácido al tanque nuevo de almacenamiento y el tramo 2 será del tanque de almacenamiento a su siguiente punto de distribución.

Figura 48

Arreglo II - Tramo I-I, línea de aceite



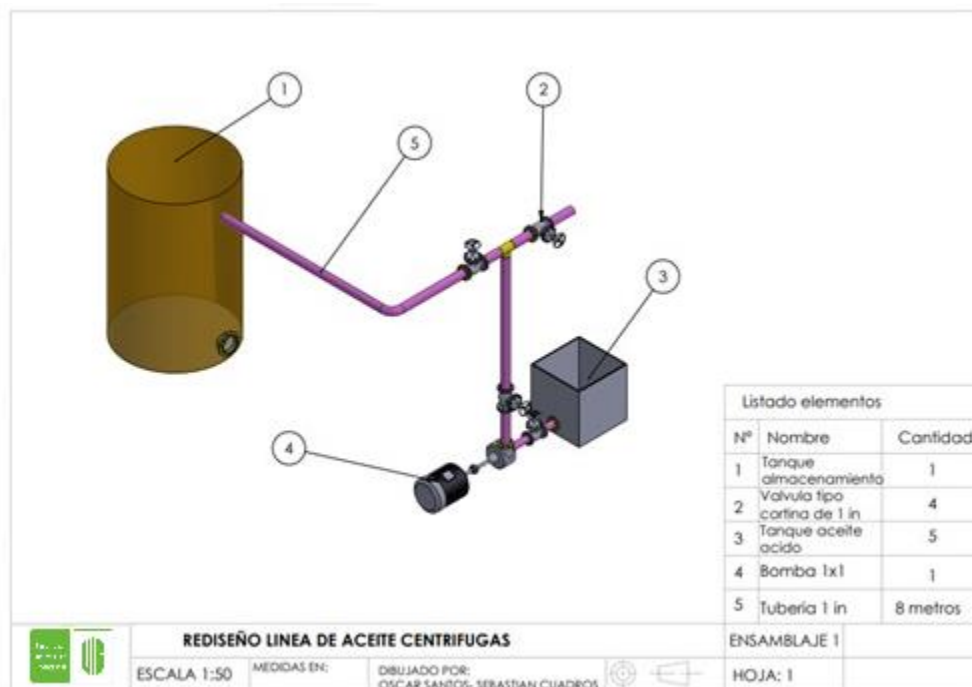
Nota. Alimentación tanque auxiliar propuesta 1, si se desea un mayor detalle de la figura, se puede encontrar en el apéndice C-6.

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

Se realiza el diseño del primer tramo con una tubería en T, donde el aceite se puede dirigir hacia el tanque de almacenamiento nuevo o hacia el tanque licor de prensa para continuar con su procesamiento, esta es el diseño más sencillo y óptimo para los requerimientos deseados, pero en la planta Entrepalmas SAS, por espacio y por el desnivel geográfico que presenta, esta es una configuración mucho más difícil de construir, por ende, se realiza otro diseño.

Figura 49

Arreglo II - Tramo I-II, línea de aceite



Nota. Alimentación tanque auxiliar propuesta 2, si se desea un mayor detalle de la figura, se puede encontrar en el apéndice C-7.

Con esta distribución se garantiza que el tanque estará construido geográficamente en un lugar más consistente, lo cual se traduce en una construcción mucho más sencilla y económicamente viable, la tubería de impulsión al tanque nuevo de almacenamiento se alarga un poco, pero no causa problema si sobrecarga de más la bomba.

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

El tramo del tanque de aceite ácido hacia el tanque licor de prensa se mantiene debido a que en caso que el aceite en la zona de florentinos no presente una acidez muy elevada o que afecte significativamente el aceite en tránsito del proceso, sea enviado nuevamente al proceso.

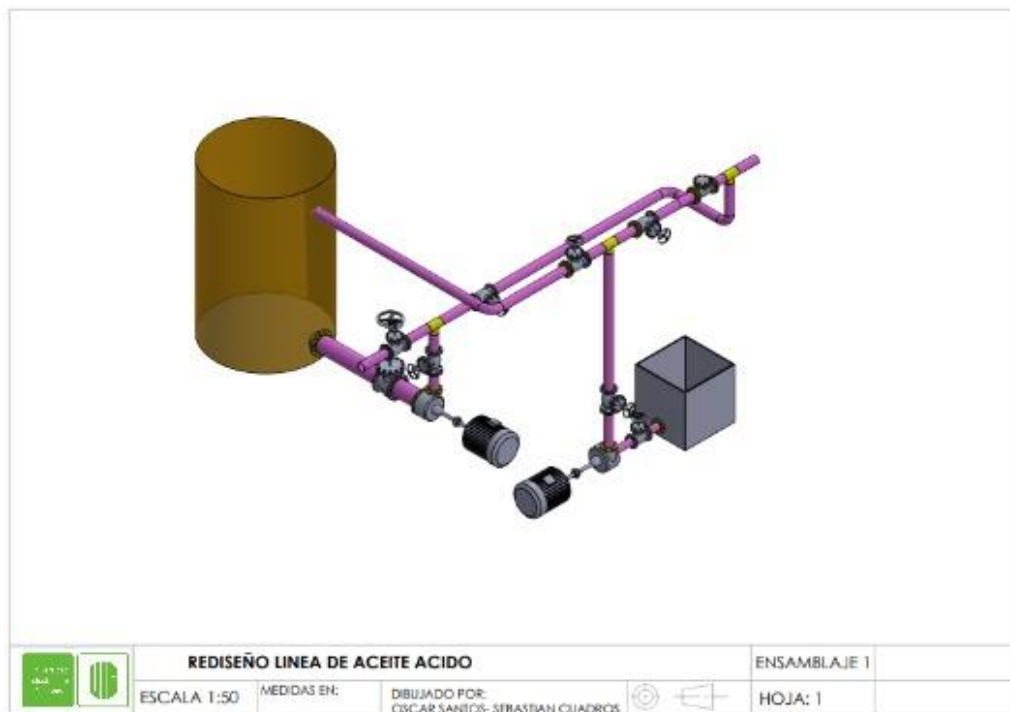
Arreglo 2 - Tramo 2:

Para enviar nuevamente el aceite almacenado en el tanque, se tienen en cuenta dos posibilidades, en primer caso que el aceite en tránsito por motivos de calidad del fruto se encuentre con acidez alta, en este caso se puede enviar sin problema el aceite almacenado.

Para este caso se requiere instalar una tubería que conecte la bomba de salida del tanque de almacenamiento a el tanque licor de prensa.

Figura 50

Arreglo II – Tramo II, línea de aceite



Nota. Alimentación tanque auxiliar propuesta 3, si se desea un mayor detalle de la figura, se puede encontrar en el apéndice C-8.

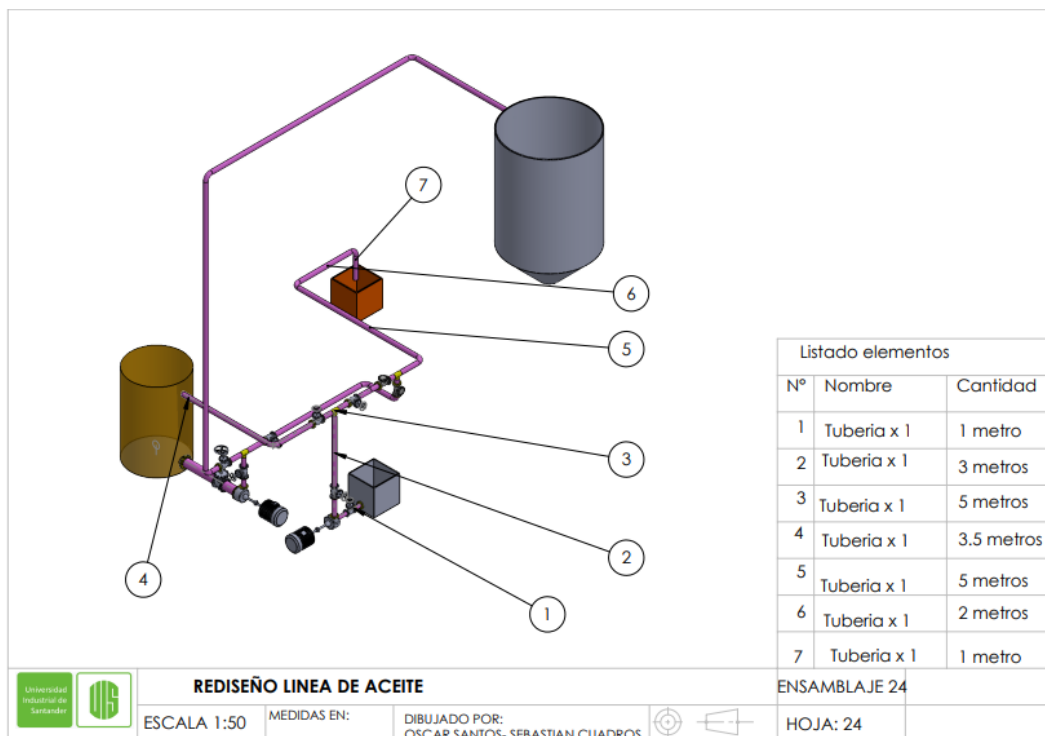
REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

Se instala una tubería que conecte con la anterior ruta por medio de una T, y se instala un cheque para evitar que el flujo tome otro rumbo, de esta forma se aprovechan las rutas ya existentes y se hace más fácil el entendimiento de esta.

El siguiente tramo se dirige hacia el tanque de aceite terminado, esto en caso de que el aceite en proceso se encuentre en buen estado y se presenten altos flujos de aceite ácido, se tiene la posibilidad de enviar este como producto terminado de menor calidad sin afectar el proceso ni la calidad de este.

Figura 51

Arreglo completo línea de aceite

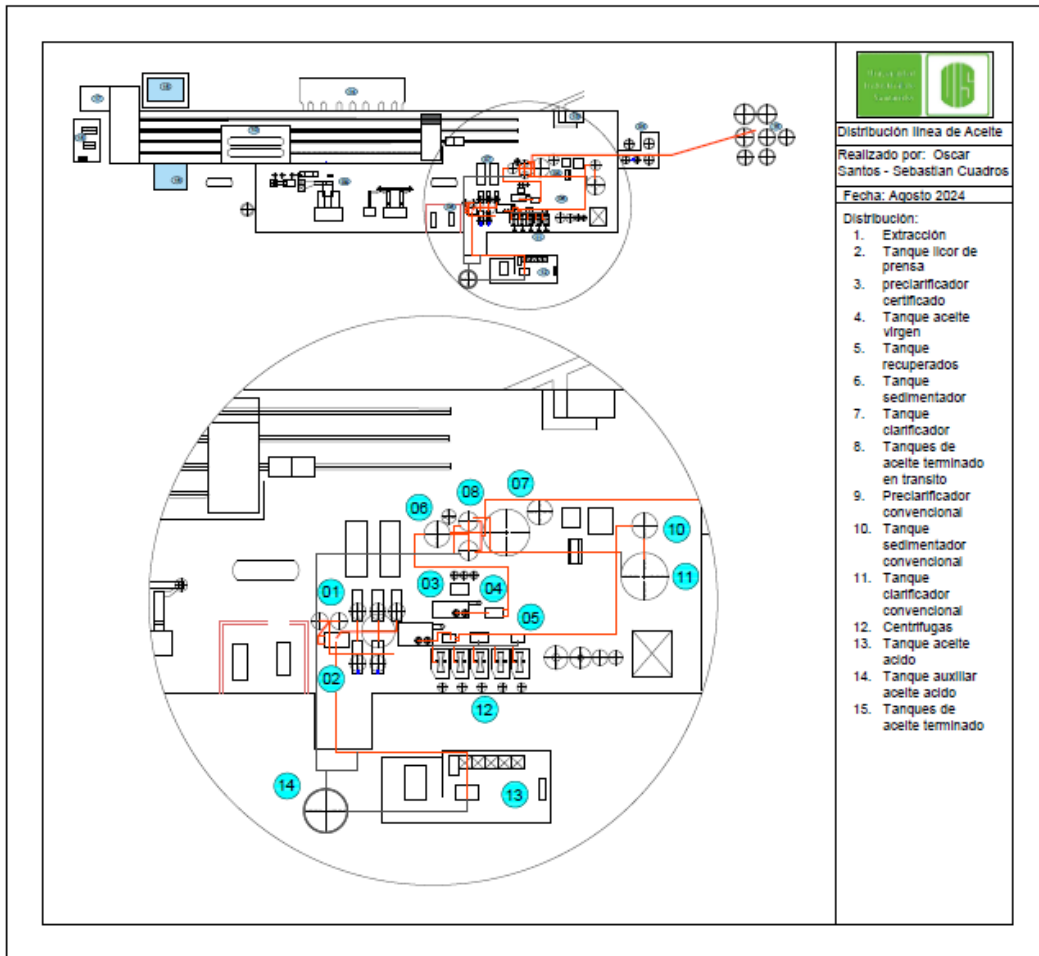


Nota. Se implementó el nuevo arreglo en el sistema y se elaboró se puede encontrar en el apéndice C-9.

Después de los cambios, se realiza distribución nueva de la planta de la línea de aceite.

Figura 52

Tramo nuevo ruta de aceite



Nota. Nota. Se evidencia la nueva ruta de aceite, desde un plano superior de la planta, si se desea un mayor detalle de este esquema se puede encontrar en el apéndice D-3.

4.1.4. Línea de condensados.

Los condensados de esterilización traen consigo una cantidad de aceite que consiguen en el proceso, este aceite aún se puede recuperar en cierto porcentaje si ingresamos estos al proceso de florentinos, pero encontramos que el canal de recolección conecta el canal de purgas de las calderas lo cual afecta considerablemente el estado de los condensados ya que el agua de calderas es tratada con químicos para tenerla en las mejores

condiciones está, al entrar en contacto con los condensados puede generar una reacción química llamada saponificación, la cual consiste en un proceso químico de un éster en un medio básico lo cual produce jabón y glicerina, lo cual dificulta considerablemente la recuperación del aceite presente en los condensados, el diagrama de esta línea se encuentra en el apéndice D-4.

Se independiza la línea de condensados, con la línea de purgas de la caldera para evitar esta reacción y facilitar la recuperación del aceite presente en la mezcla.

4.2. Cálculos

Por medio de las ecuaciones ilustradas en el marco teórico, se desarrollan los cálculos para determinar que los sistemas cumplan con la distribución óptima para que los fluidos puedan tener una transición sin perder sus propiedades.

4.2.1. Cálculo de los nuevos caudales

Ahora bien, se desea llegar a una capacidad de 58,5 Ton/h, amentando la producción y partiendo de los cálculos para la capacidad actual que es de 45,5 Ton/h, se procede a utilizar los datos calculados de kg de fluido sobre Tonelada de RFF, para esta nueva capacidad. A continuación, se da el cálculo de los nuevos caudales utilizando la figura 14:

Tabla 18

Caudal total bombas del proceso de clarificación nuevas

Caudal total bombas de clarificación nuevas				
Bombas	Caudal agua (m ³ /h)	Caudal aceite (m ³ /h)	Caudal lodo (m ³ /h)	Caudal total (m ³ /h)
Bomba licor prensa al tamiz	4,68	29,757	0	34,437
Bomba aceite virgen al sedimentador	0	8,12	0	8,12
Bomba recuperados a clarificador	0	0,676	24,85	25.526
Bomba de lodo a desarenadores	0	0	18,09	18,09
Bomba de aceite ácido a tanque de aceite terminado	0	0,676	0	0,676

Nota. Se observa el cambio en los caudales con la nueva capacidad de planta.

Tabla 19

Caudal total bombas de agua nuevas

Caudal total bombas de agua Nuevas	
Bombas	Caudal total (m ³ /h)
Bomba de agua distribución general	58,5
Bomba de alimentación a la caldera VR10	13
Bomba de alimentación a la caldera VR15	18
Bomba de alimentación al des aireador	31

Nota. Se observa el cambio en los caudales con la nueva capacidad de planta.

Tabla 20

Caudal total bomba de efluentes nueva

Caudal total bomba de efluentes Nueva	
Bomba	Caudal total (m ³ /h)
Bomba de efluentes	35,1

Una vez obtenido los caudales, se procede al cálculo de la bomba, la tubería y los accesorios dependiendo de las nuevas rutas seleccionadas. Se determinará los siguientes cálculos para dos sistemas diferentes, uno para un sistema abierto, quiere decir que el ΔP será 0 puesto que en cada punto está sometido a la presión atmosférica y el otro para un sistema cerrado, donde si se obtiene un valor de ΔP , puesto que cada punto se somete a una presión diferente.

Tabla 21

Clasificación sistemas abiertos y sistemas cerrados

Sistemas abiertos	Sistemas cerrados
Línea de aceite	Línea de agua
Tanque de licor de prensa al tamiz	Alimentación a la caldera VR15
Tanque de aceite virgen al sedimentador 1	Alimentación a la caldera VR10
Tanque de aceite virgen al sedimentador 2	Alimentación al des aireador
Tanque de recuperados a clarificador	
Tanque de aceite ácido al licor de prensa	
Tanque auxiliar de aceite ácido al tanque de aceite terminado	

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

Línea de lodos	
Tanque pulmón de lodos a desarenadores	
Tanque clarificador a tanque pulmón de lodos	
Línea de efluentes	
Efluente	
Línea de agua	
Distribución general	

Nota. Se evidencian los 13 sistemas de los cuales se desarrollará el proceso de diseño conceptual

La metodología aplicada al cálculo será la siguiente, se explicará un sistema abierto y un sistema cerrado, luego para los siguientes se especificará en una tabla los valores obtenidos, ya que los demás cálculos de los demás sistemas se elaboran de la misma forma que los sistemas que se explicaran a continuación:

4.2.2. Sistemas Abiertos

Tanque de licor de prensa al tamiz

Cálculo de los Diámetros. Con el caudal obtenido para el presente sistema, con ayuda de la tabla 7 (velocidades recomendadas para fluidos en tuberías y bomba) y la ec1, se lleva a cabo el cálculo del diámetro, tanto para la succión como para la descarga, que posteriormente será normalizado.

$$Q = 0,009565 \text{ m}^3/\text{s}$$

Succión

Velocidad recomendada = $1,8 \text{ m}^2/\text{s}$ Tabla 7. (McCabe, Smith, & Harriott, 2007)

$$0,009565 = \frac{1,8}{\frac{\pi D^2}{4}}$$

$$D = 0,08226 \text{ m}$$

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

$$\text{Diámetro comercial} = 0,0889 \text{ m} = 3\frac{1}{2} \text{ pulg}$$

Descarga

$$\text{Velocidad recomendada} = 2,5 \text{ m}^2/\text{s} \text{ Tabla 7. (McCabe, Smith, \& Harriott, 2007)}$$

$$0,009565 = \frac{2,5}{\frac{\pi D^2}{4}}$$

$$D = 0,0698 \text{ m}$$

$$\text{Diámetro comercial} = 0,0762 \text{ m} = 3 \text{ pul}$$

Cálculo de las velocidades. Una vez obtenido el diámetro con la velocidad recomendada, se normaliza y se calcula la nueva velocidad a tener en cuenta, utilizando de nuevo la ecuación 1.

Succión

$$0,009565 = \frac{V}{\frac{\pi * 0,0889^2}{4}}$$

$$V = 1,541 \text{ m}^2/\text{s}$$

Descarga

$$0,009565 = \frac{V}{\frac{\pi * 0,0762^2}{4}}$$

$$V = 2,098 \text{ m}^2/\text{s}$$

Cálculo del número de Reynolds. Utilizando la ecuación 4, se tiene los siguientes valores del número de Reynolds para la succión como para la descarga.

$$\rho = 860 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$\mu = 0,037 \text{ kg}/\text{ms}$$

Succión

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

$$Re = 860 \frac{1,541 * 0,0889}{0,037}$$

$$Re = 3184$$

Descarga

$$Re = 860 \frac{2,098 * 0,0762}{0,037}$$

$$Re = 3715$$

Dependiendo del número de Reynolds se clasifica el flujo en laminar o turbulento, en estos casos se presentan flujos turbulentos, por lo cual se utiliza la ecuación de Colebrooks para dar con el factor de fricción.

Cálculo factor de fricción. Utilizando la ecuación 6, se obtienen los siguientes valores del factor de fricción para la succión como para la descarga.

Material tubo agua acero al carbono = Aceite acero inoxidable

$$\varepsilon = 0,02 \text{ mm} = 2 * 10^{-5} \text{ m}$$

Succión

$$f = \frac{0.25}{\left(\text{Log} \left(\frac{2 * 10^{-5}}{3.71 * 0,0889} + \frac{5.74}{3184^{0,9}} \right) \right)^2}$$

$$f = 0,04386$$

Descarga

$$f = \frac{0.25}{\left(\text{Log} \left(\frac{2 * 10^{-5}}{3.71 * 0,0762} + \frac{5.74}{3715^{0,9}} \right) \right)^2}$$

$$f = 0,04181$$

Cálculos de las pérdidas primarias. Utilizando la ecuación 3, se obtienen los

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

siguientes valores de las pérdidas primarias para la succión como para la descarga.

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Succión

$$h_{f,primarias} = 0,04386 * \frac{1 * 1,541^2}{2 * 9,81 * 0,0889}$$

$$h_{f,primarias} = 0,05973 \text{ mca}$$

Descarga

$$h_{f,primarias} = 0,04181 * \frac{10,5 * 2,098^2}{2 * 9,81 * 0,0762}$$

$$h_{f,primarias} = 1,292 \text{ mca}$$

Cálculo de las pérdidas secundarias. Primero que todo se especifican los accesorios con los que se cuenta para cada tramo, con su respectivo cálculo del coeficiente de pérdidas, mediante la tabla 8 y la ecuación 7 con la sumatoria de todos estos. Luego utilizando la ecuación 8. se obtienen los siguientes valores de las pérdidas secundarias para la succión como para la descarga.

Succión

Accesorios	#	Coeficiente de pérdidas
Válvula compuerta ab	1	0,35088
Por entrada	1	0,78
Sumatoria		1,13088

$$h_{f,secundarias} = 1,13088 * \left(\frac{1,541^2}{2 * 9,81} \right)$$

$$h_{f,secundarias} = 0,1369 \text{ mca}$$

Descarga

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

Accesorios	#	Coefficiente de pérdidas unidad	Total
Válvula compuerta ab	3	0,33448	1,00344
Codos	3	1,2543	3,7629
Tes	1	0,8362	0,8362
Sumatoria			5,60254

$$h_{f,secundarias} = 5,60254 * \left(\frac{2,098^2}{2 * 9,81} \right)$$

$$h_{f,secundarias} = 1,256 \text{ mca}$$

Cálculo de las pérdidas (Total). De la suma de las dos pérdidas ya calculadas se obtienen los siguientes valores totales para la succión como para la descarga.

Succión

$$h_f = h_{f,primarias} + h_{f,secundarias}$$

$$h_f = 0,05973 + 0,1369$$

$$h_f = 0,1966 \text{ mca}$$

Descarga

$$h_f = h_{f,primarias} + h_{f,secundarias}$$

$$h_f = 1,292 + 1,256$$

$$h_f = 2,548 \text{ mca}$$

Cálculo de la carga. Utilizando la ecuación 2 y con algunos factores a tener en cuenta se obtienen las cargas para la descarga.

$\Delta P = 0$ Puesto que ambas presiones en esos puntos son iguales a la presión atmosférica

$V = 0$ Donde se toman los puntos el fluido se encuentra en reposo

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

$$\Delta h = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2\alpha_2 g} + Z_2 - \frac{P_1}{\rho g} - \frac{V_1^2}{2\alpha_1 g} - Z_1 + h_f$$

Descarga

$$\Delta h = (Z_2 - Z_1) + h_f$$

$$\Delta h = 7 + 2,548$$

$$\Delta h = 9,548 \text{ mca}$$

Cálculo de la potencia de la bomba. Utilizando la ecuación 9 y con los datos calculados anteriormente se obtiene la potencia de la bomba.

Nota. Esta se calcula con los valores de la descarga

$$P_b = \frac{9,398 * 860 * 9,81 * 0,009565}{0,70}$$

$$P_b = 1,101 \text{ Kw}$$

Cálculo de la potencia del motor. Utilizando la ecuación 10 y con el dato de la potencia del motor, se obtiene la potencia de la bomba.

$$P_m = \frac{1,101}{0,9}$$

$$P_m = 1,223 \text{ Kw}$$

Cálculo del NPSH disponible. Utilizando la ecuación 11 y con los datos calculados anteriormente se obtiene el NPSH disponible.

Nota. Esta se calcula con los valores de la succión.

$$P_s = 14 \text{ PSI}$$

$$P_v = 6 \text{ PSI}$$

$$NPSH_D = \left(0,7 * \frac{14 - 6}{0,860}\right) - 0 - 0,182$$

$$NPSH_D = 6,315 \text{ mca}$$

Tabla 22

Datos Tanque de licor de prensa al tamiz

Tanque de licor de prensa al tamiz	
Caudal	34,437 m ³ /h
Altura geodésica	8 mca
 	
Diámetro de succión	0,0889 m = 3½ pulg
Velocidad de succión	1,541 m ² /s
Numero de Reynolds en la succión	3184 (Flujo transitorio)
Factor de fricción en la succión	0,04386
Pérdidas primarias en la succión	0,05973 mca
Pérdidas secundarias en la succión	0,1369 mca
Total pérdidas en la succión	0,1966 mca
NPSH disponible	6,315 mca
 	
Diámetro de descarga	0,0762 m = 3 pulg
Velocidad de descarga	2,098 m ² /s
Numero de Reynolds en la descarga	3715 (Flujo transitorio)
Factor de fricción en la descarga	0,04181
Pérdidas primarias en la descarga	1,292 mca
Pérdidas secundarias en la descarga	1,256 mca
Total pérdidas en la descarga	2,548 mca
Carga de la bomba en la succión	9,548 mca
Potencia de la bomba	1,101 Kw
Potencia del motor	1,223 Kw

Nota. Se identifican todos los datos para el cálculo de la potencia de la bomba.

Tanque de aceite virgen al sedimentador 1

Tabla 23

Datos tanque de aceite virgen al sedimentador 1

Tanque de aceite virgen al sedimentador 1	
Caudal	8,12 m ³ /h
Altura geodésica	13 mca
 	
Diámetro de succión	0,0635 m = 2½ pulg
Velocidad de succión	0,712 m ² /s
Numero de Reynolds en la succión	1051 (Flujo laminar)
Factor de fricción en la succión	0,01522
Pérdidas primarias en la succión	0,006197 mca
Pérdidas secundarias en la succión	0,02331 mca
Total pérdidas en la succión	0,02951 mca
NPSH disponible	6,482 mca
 	
Diámetro de descarga	0,0381 m = 1½ pulg
Velocidad de descarga	1,978 m ² /s
Numero de Reynolds en la descarga	1752 (Flujo laminar)
Factor de fricción en la descarga	0,009132
Pérdidas primarias en la descarga	1,148 mca
Pérdidas secundarias en la descarga	0,3607 mca
Total pérdidas en la descarga	1,508 mca
Carga de la bomba en la succión	14,51 mca
Potencia de la bomba	0,3944 Kw
Potencia del motor	0,4382 Kw

Nota. Se identifican todos los datos para el cálculo de la potencia de la bomba, los cálculos desarrollados se encuentran en el apéndice E.

Succión

Accesorios	#	Coficiente de pérdidas
Válvula compuerta ab	1	0,12176
Por entrada	1	0,78
Sumatoria		0,90176

Descarga

Accesorios	#	Coficiente de pérdidas unidad	Total
Válvula compuerta ab	1	0,073056	0,073056
Válvula de retención	1	0,9132	0,9132
Codos	3	0,27396	0,82188
Sumatoria			1,808136

Tanque de aceite virgen al sedimentador 2

Tabla 24

Datos tanque de aceite virgen al sedimentador 2

Tanque de aceite virgen al sedimentador 2	
Caudal	8,12 m ³ /h
Altura geodésica	13 mca
Entrada	
Diámetro de succión	0,0635 m = 2½ pulg
Velocidad de succión	0,712 m ² /s
Numero de Reynolds en la succión	1051 (Flujo laminar)
Factor de fricción en la succión	0,01522
Pérdidas primarias en la succión	0,006197 mca
Pérdidas secundarias en la succión	0,02331 mca
Total pérdidas en la succión	0,02951 mca
NPSH disponible	6,482 mca
Salida	
Diámetro de descarga	0,0381 m = 1½ pulg
Velocidad de descarga	1,978 m ² /s
Numero de Reynolds en la descarga	1752 (Flujo laminar)
Factor de fricción en la descarga	0,009132
Pérdidas primarias en la descarga	1,172 mca
Pérdidas secundarias en la descarga	0,3607 mca
Total pérdidas en la descarga	1,532 mca
Carga de la bomba en la succión	14,53 mca
Potencia de la bomba	0,3951 Kw
Potencia del motor	0,4389 Kw

Nota. Se identifican todos los datos para el cálculo de la potencia de la bomba, los cálculos desarrollados se encuentran en el apéndice E

Succión

Accesorios	#	Coefficiente de pérdidas
Válvula compuerta ab	1	0,12176
Por entrada	1	0,78
Sumatoria		0,90176

Descarga

Accesorios	#	Coefficiente de pérdidas unidad	Total
Válvula compuerta ab	1	0,073056	0,073056
Válvula de retención	1	0,9132	0,9132
Codos	3	0,27396	0,82188
Sumatoria			1,808136

Tanque recuperado a clarificador

Tabla 25

Datos tanque recuperado a clarificador

Tanque recuperado a clarificador	
Caudal	25,526 m ³ /h
Altura geodésica	12 mca
 	
Diámetro de succión	0,1016 m = 4 pulg
Velocidad de succión	0,8746 m ² /s
Numero de Reynolds en la succión	2065 (Flujo transitorio)
Factor de fricción en la succión	0,05075
Pérdidas primarias en la succión	0,01947 mca
Pérdidas secundarias en la succión	0,04624 mca
Total pérdidas en la succión	0,05075 mca
NPSH disponible	6,446 mca
 	
Diámetro de descarga	0,0762 m = 3 pulg
Velocidad de descarga	1,555 m ² /s
Numero de Reynolds en la descarga	2754 (Flujo transitorio)
Factor de fricción en la descarga	0,04603
Pérdidas primarias en la descarga	3,35 mca
Pérdidas secundarias en la descarga	1,69 mca
Total pérdidas en la descarga	5,04 mca
Carga de la bomba en la succión	17,04 mca
Potencia de la bomba	1,456 Kw
Potencia del motor	1,618 Kw

Nota. Se identifican todos los datos para el cálculo de la potencia de la bomba, los cálculos desarrollados se encuentran en el apéndice E.

Succión

Accesorios	#	Coefficiente de pérdidas
Válvula compuerta ab	1	0,406
Por entrada	1	0,78
Sumatoria		1,186

Descarga

Accesorios	#	Coefficiente de pérdidas unidad	Total
Válvula compuerta ab	1	0,36824	0,36824
Válvula de retención	1	4,603	4,603
Codos	5	1,3809	6.9045
T	2	0,9206	1.8412
Sumatoria			13.71694

Bomba de aceite ácido al licor de prensa

Tabla 26

Datos bomba de aceite ácido al licor de prensa

Bomba de aceite ácido al licor de prensa	
Caudal	0,676 m ³ /h
Altura geodésica	3 mca
 	
Diámetro de succión	0,0254 m = 1 pulg
Velocidad de succión	0,3706 m ² /s
Numero de Reynolds en la succión	218,8 (Flujo laminar)
Factor de fricción en la succión	0,07313
Pérdidas primarias en la succión	0,02015 mca
Pérdidas secundarias en la succión	0,009555 mca
Total pérdidas en la succión	0,02971 mca
NPSH disponible	5,773 mca
 	
Diámetro de descarga	0,0254 m = 1 pulg
Velocidad de descarga	0,3706 m ² /s
Numero de Reynolds en la descarga	218,8 (Flujo turbulento)
Factor de fricción en la descarga	0,07313
Pérdidas primarias en la descarga	0,393 mca
Pérdidas secundarias en la descarga	0,1454 mca
Total pérdidas en la descarga	0,5384 mca
Carga de la bomba en la succión	3,538 mca
Potencia de la bomba	0,008008 Kw
Potencia del motor	0,008898 Kw

Nota. Se identifican todos los datos para el cálculo de la potencia de la bomba, los cálculos desarrollados se encuentran en el apéndice E.

Succión

Accesorios	#	Coefficiente de pérdidas
Válvula compuerta ab	1	0,58504
Por entrada	1	0,78
Sumatoria		1,36504

Descarga

Accesorios	#	Coefficiente de pérdidas unidad	Total
Válvula compuerta ab	3	0,58504	1,75512
Válvula de retención	1	7,313	7,313
Codos	4	2,1939	8,7756
T	2	1,4626	2,9252
Sumatoria			20,76892

Tanque auxiliar de aceite ácido al tanque de aceite terminado

Tabla 27

Datos tanque auxiliar de aceite ácido al tanque de aceite terminado

Tanque auxiliar de aceite ácido al tanque de aceite terminado	
Caudal	5,5 m ³ /h
Altura geodésica	11 mca
 	
Diámetro de succión	0,0508 m = 2 pulg
Velocidad de succión	0,7538 m ² /s
Numero de Reynolds en la succión	890 (Flujo laminar)
Factor de fricción en la succión	0,01798
Pérdidas primarias en la succión	0,01025 mca
Pérdidas secundarias en la succión	0,02675 mca
Total pérdidas en la succión	0,037 mca
NPSH disponible	5,766 mca
 	
Diámetro de descarga	0,0381 m = 1,5 pulg
Velocidad de descarga	1,34 m ² /s
Numero de Reynolds en la descarga	1187 (Flujo turbulento)
Factor de fricción en la descarga	0,01348
Pérdidas primarias en la descarga	1,328 mca
Pérdidas secundarias en la descarga	0,9561 mca
Total pérdidas en la descarga	2,284 mca
Carga de la bomba en la succión	13,28 mca
Potencia de la bomba	0,2446 Kw
Potencia del motor	0,2718 Kw

Nota. Se identifican todos los datos para el cálculo de la potencia de la bomba, los cálculos desarrollados se encuentran en el apéndice E.

Succión

Accesorios	#	Coefficiente de pérdidas
Válvula compuerta ab	1	0,14384
Por entrada	1	0,78
Sumatoria		0,92384

Descargas

Accesorios	#	Coefficiente de pérdidas unidad	Total
Válvula compuerta ab	3	0,10784	0,32352
Válvula de retención	1	1,348	1,348
Codos	8	0,4044	8,2352
T	2	0,2696	0,5392
		Sumatoria	10,44592

Tanque pulmón de lodos a desarenadores

Tabla 28

Datos tanque pulmón de lodos a desarenadores

Tanque pulmón de lodos a desarenadores	
Caudal	18,09 m ³ /h
Altura geodésica	13 mca
 	
Diámetro de succión	0,0762 m = 3 pulg
Velocidad de succión	1,102 m ² /s
Numero de Reynolds en la succión	258555 (Flujo turbulento)
Factor de fricción en la succión	0,01704
Pérdidas primarias en la succión	0,01604 mca
Pérdidas secundarias en la succión	0,04773 mca
Total pérdidas en la succión	0,06378 mca
NPSH disponible	7,952 mca
 	
Diámetro de descarga	0,0762 m = 3 pulg
Velocidad de descarga	1,102 m ² /s
Numero de Reynolds en la descarga	258555 (Flujo turbulento)
Factor de fricción en la descarga	0,01704
Pérdidas primarias en la descarga	0,5704 mca
Pérdidas secundarias en la descarga	0,3638 mca
Total pérdidas en la descarga	0,9392 mca
Diferencial de presiones	4 PSI
Carga de la bomba en la succión	124,2 mca
Potencia de la bomba	8,485 Kw
Potencia del motor	9,427 Kw

Nota. Se identifican todos los datos para el cálculo de la potencia de la bomba, los cálculos desarrollados se encuentran en el apéndice E.

Succión

Accesorios	#	Coefficiente de pérdidas
Válvula compuerta ab	1	0,13664
Codos	1	0,5124
Por entrada	1	0,78
Sumatoria		1,42904

Descargas

Accesorios	#	Coefficiente de pérdidas unidad	Total
Válvula compuerta ab	1	0,13688	0,13688
Válvula de retención	1	1,711	1,711
Codos	2	0,5133	1,026
		Sumatoria	2,874

Tanque clarificador convencional a tanque pulmón de lodos

Tabla 29

Datos tanque clarificador convencional a tanque pulmón de lodos

Tanque clarificador convencional a tanque pulmón de lodos	
Caudal	17 m ³ /h
Altura geodésica	1,5 mca
 	
Diámetro de succión	0,0889 m = 3½ pulg
Velocidad de succión	0,7608 m ² /s
Numero de Reynolds en la succión	208265 (Flujo turbulento)
Factor de fricción en la succión	0,01721
Pérdidas primarias en la succión	0,04283 mca
Pérdidas secundarias en la succión	0,1012 mca
Total pérdidas en la succión	0,144 mca
NPSH disponible	7,871 mca
 	
Diámetro de descarga	0,0635 m = 2½ pulg
Velocidad de descarga	1,491 m ² /s
Numero de Reynolds en la descarga	291571 (Flujo turbulento)
Factor de fricción en la descarga	0,0172
Pérdidas primarias en la descarga	0,7369 mca
Pérdidas secundarias en la descarga	0,2886 mca
Total pérdidas en la descarga	1,026 mca
Carga de la bomba en la succión	2,526 mca
Potencia de la bomba	0,1631 Kw
Potencia del motor	0,1812 Kw

Nota. Se identifican todos los datos para el cálculo de la potencia de la bomba, los cálculos desarrollados se encuentran en el apéndice E.

Succión

Accesorios	#	Coefficiente de pérdidas	Total
Válvula compuerta ab	3	0,13768	0,41304
Codos	3	0,5163	1,5489
T	2	0,3442	0,6884
Por entrada	1	0,78	0,78
Sumatoria			3.43034

Descarga

Accesorios	#	Coefficiente de pérdidas unidad	Total
Válvula compuerta ab	1	0,13768	0,13768
T	1	0,3442	0,3442
Codos	4	0,5163	2,0652
Sumatoria			2,54708

Efluentes

Tabla 30

Datos efluentes

Efluente	
Caudal	35,1 m ³ /h
Altura geodésica	8 mca
 	
Diámetro de succión	0,1016 m = 4 pulg
Velocidad de succión	1,203 m ² /s
Numero de Reynolds en la succión	374339 (Flujo turbulento)
Factor de fricción en la succión	0,01614
Pérdidas primarias en la succión	0,01171 mca
Pérdidas secundarias en la succión	0,06821 mca
Total pérdidas en la succión	0,07992 mca
NPSH disponible	7,976 mca
 	
Diámetro de descarga	0,0889 m = 3½ pulg
Velocidad de descarga	1,571 m ² /s
Numero de Reynolds en la descarga	427816 (Flujo turbulento)
Factor de fricción en la descarga	0,01594
Pérdidas primarias en la descarga	5,661 mca
Pérdidas secundarias en la descarga	0,89 mca
Total pérdidas en la descarga	6,551 mca
Carga de la bomba en la succión	14,55 mca
Potencia de la bomba	1,919 Kw
Potencia del motor	2,1322 Kw

Nota. Se identifican todos los datos para el cálculo de la potencia de la bomba, los cálculos desarrollados se encuentran en el apéndice E.

Succión

Accesorios	#	Coefficiente de pérdidas
Válvula compuerta ab	1	0,14526
Por entrada	1	0,78
Sumatoria		0,92526

Descarga

Accesorios	#	Coefficiente de pérdidas unidad	Total
Válvula compuerta ab	4	0,12752	0,51008
Válvula de retención	1	1,594	1,594
Codos 90	8	0,4782	3,8256
Codos 45	2	0,25504	0,51008
T	2	0,3188	0,6376
Sumatoria			7,07736

Alimentación general

Tabla 31

Datos alimentación general

Alimentación general	
Caudal	58,5 m ³ /h
Altura geodésica	4,5 mca
 	
Diámetro de succión	0,127 m = 5 pulg
Velocidad de succión	1,283 m ² /s
Numero de Reynolds en la succión	499118 (Flujo turbulento)
Factor de fricción en la succión	0,01548
Pérdidas primarias en la succión	0,01533 mca
Pérdidas secundarias en la succión	0,1667 mca
Total pérdidas en la succión	0,182 mca
NPSH disponible	7,593 mca
 	
Diámetro de descarga	0,1016 m = 4 pulg
Velocidad de descarga	2,004 m ² /s
Numero de Reynolds en la descarga	623898 (Flujo turbulento)
Factor de fricción en la descarga	0,0152
Pérdidas primarias en la descarga	6.311 mca
Pérdidas secundarias en la descarga	1,78 mca
Total pérdidas en la descarga	8,091 mca
Diferencial de presiones	4 PSI
Carga de la bomba en la succión	123,4 mca
Potencia de la bomba	27,12 Kw
Potencia del motor	30,13 Kw

Nota. Se identifican todos los datos para el cálculo de la potencia de la bomba, los cálculos desarrollados se encuentran en el apéndice E.

Succión

Accesorios	#	Coefficiente de pérdidas	Total
Válvula compuerta ab	1	0,12384	0,12384
Codos	1	0,4644	0,4644
T	2	0,3096	0,6192
Por entrada	1	0,78	0,78
Sumatoria			1,98744

Descarga

Accesorios	#	Coefficiente de pérdidas unidad	Total
Válvula compuerta ab	10	0,1216	1,216
Codos 45	2	0,2432	0,4864
Codos 90	10	0,456	4,56
T	8	0,304	2,432
Sumatoria			8,6944

4.2.3. Sistemas cerrados

Alimentación a la caldera VR10

Cálculo de los Diámetros. Con el caudal obtenido para el presente sistema, con ayuda de la tabla 7 (velocidades recomendadas para fluidos en tuberías y bomba) y la ecuación 1, se lleva a cabo el cálculo del diámetro, tanto para la succión como para la descarga, que posteriormente será normalizado.

Succión

$$Q = 0,00361111 \text{ m}^3/\text{s}$$

Velocidad recomendada = 1 m/s Tabla 7. (McCabe, Smith, & Harriott, 2007)

$$0,00361111 = \frac{1}{\frac{\pi D^2}{4}}$$

$$D = 0,06781$$

Diámetro comercial = 0,0762 m = 3 pulg

Descarga

Velocidad recomendada = 1,5 m/s Tabla 7. (McCabe, Smith, & Harriott, 2007)

$$0,00361111 = \frac{1,5}{\frac{\pi D^2}{4}}$$

$$D = 0,05536$$

Diámetro comercial = 0,0635 m = 2½ pulg

Cálculo de las velocidades. Una vez obtenido el diámetro con la velocidad recomendada, se normaliza y se calcula la nueva velocidad a tener en cuenta, utilizando de nuevo la ecuación 1.

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

Succión

$$0,003611111 = \frac{V}{\frac{\pi 0,0762^2}{4}}$$

$$V = 0,7918 \text{ m/s}$$

Descarga

$$0,003611111 = \frac{V}{\frac{\pi 0,0635^2}{4}}$$

$$V = 1,14 \text{ m/s}$$

Cálculo del número de Reynolds. Utilizando la ecuación 4, se tiene los siguientes valores del número de Reynolds para la succión como para la descarga.

$$\rho = 965,06 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 0,000315 \text{ kg/ms}$$

Succión

$$Re = 965,06 * \frac{0,7918 * 0,0762}{0,000315}$$

$$Re = 184859$$

Descarga

$$Re = 965,06 * \frac{1,14 * 0,0635}{0,000315}$$

$$Re = 221830$$

Dependiendo del número de Reynolds se clasifica el flujo en laminar o turbulento, en estos casos se presentan flujos turbulentos, por lo cual se utiliza la ecuación de Colebrooks para dar con el factor de fricción.

Cálculo factor de fricción. Utilizando la ecuación 6, se obtienen los siguientes valores del factor de fricción para la succión como para la descarga.

$$\varepsilon = 2 * 10^{-5}$$

Succión

$$f = \frac{0.25}{\left(\text{Log} \left(\frac{2 * 10^{-5}}{3.71 * 0,0762} + \frac{5.74}{184859^2} \right) \right)^2}$$

$$f = 0,01804$$

Descarga

$$f = \frac{0.25}{\left(\text{Log} \left(\frac{2 * 10^{-5}}{3.71 * 0,0635} + \frac{5.74}{221830^2} \right) \right)^2}$$

$$f = 0,01768$$

Cálculos de las pérdidas primarias. Utilizando la ecuación 3, se obtienen los siguientes valores de las pérdidas primarias para la succión como para la descarga.

Succión

$$h_{f,primarias} = 0,01804 * \frac{1 * 0,7918^2}{2 * 9,81 * 0,0762}$$

$$h_{f,primarias} = 0,007565 \text{ mca}$$

Descarga

$$h_{f,primarias} = 0,01768 * \frac{8 * 1,14^2}{2 * 9,81 * 0,0635}$$

$$h_{f,primarias} = 0,2952 \text{ mca}$$

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

Cálculo de las pérdidas secundarias. Primero que todo se especifican los accesorios con los que se cuenta para cada tramo, con su respectivo coeficiente de pérdidas sacado de la tabla 8 y con la sumatoria de todos estos. Luego utilizando la ecuación 7. se obtienen los siguientes valores de las pérdidas secundarias para la succión como para la descarga.

Succión

Accesorios	#	Coeficiente de pérdidas
Válvula compuerta ab	1	0,14432
Por entrada	1	0,78
Sumatoria		0,92432

$$h_{f,secundarias} = 0,92432 * \left(\frac{0,7918^2}{2 * 9,81} \right)$$

$$h_{f,secundarias} = 0,02954 \text{ mca}$$

Descarga

Accesorios	#	Coeficiente de pérdidas unidad	Total
Válvula compuerta ab	3	0,14144	0,42432
Válvula de retención	2	1,768	3,536
Codos	6	0,5304	3,1824
Tes	2	0,3536	0,7072
		Sumatoria	7,85032

$$h_{f,secundarias} = 7,85032 * \left(\frac{1,14^2}{2 * 9,81} \right)$$

$$h_{f,secundarias} = 0,5202 \text{ mca}$$

Cálculo de las pérdidas (Total). De la suma de las dos pérdidas ya calculadas se obtienen los siguientes valores totales para la succión como para la descarga.

Succión

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

$$h_f = h_{f,primarias} + h_{f,secundarias}$$

$$h_f = 0,007565 + 0,02954$$

$$h_f = 0,0371 \text{ mca}$$

Descarga

$$h_f = h_{f,primarias} + h_{f,secundarias}$$

$$h_f = 0,2952 + 0,5202$$

$$h_f = 0,8615 \text{ mca}$$

Cálculo de la carga. Utilizando la ecuación 2 y con algunos factores a tener en cuenta se obtienen las cargas para la succión como para la descarga.

Nota. La diferencia con los sistemas abiertos se plantea a continuación.

$\Delta P \neq 0$ Puesto que ambas presiones en esos puntos se ven influenciadas por las maquinas a las que este sistema llega.

$V = 0$ Donde se toman los puntos el fluido se encuentra en reposo

$$\Delta h = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2\alpha_2 g} + Z_2 - \frac{P_1}{\rho g} - \frac{V_1^2}{2\alpha_1 g} - Z_1 + h_f$$

$$P_2 = 30$$

$$P_1 = 17$$

Descarga

$$\Delta h = \frac{(P_2 - P_1)}{\rho g} + (Z_2 - Z_1) + h_f$$

$$\Delta h = \frac{30 - 17}{0,0361} + 2 + 0,8615$$

$$\Delta h = 364 \text{ mca}$$

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

Cálculo de la potencia de la bomba. Utilizando la ecuación 8 y con los datos calculados anteriormente se obtiene la potencia de la bomba.

Nota. Esta se calcula con los valores de la descarga.

$$P_b = \frac{364 * 965,06 * 9,81 * 0,00361111}{0,7}$$

$$P_b = 17,78 \text{ Kw}$$

Cálculo de la potencia del motor. Utilizando la ecuación 9 y con el dato de la potencia del motor, se obtiene la potencia de la bomba.

$$P_m = \frac{17,78}{0,9}$$

$$P_m = 19,75 \text{ Kw}$$

Cálculo del NPSH disponible. Utilizando la ecuación 10 y con los datos calculados anteriormente se obtiene el NPSH disponible.

Nota. Esta se calcula con los valores de la succión.

$$P_s = 14$$

$$P_v = 2,893$$

$$NPSH_D = \left(0,7 * \frac{14 - 2,893}{1}\right) - 0 - 0,0371$$

$$NPSH_D = 7,738$$

Tabla 32

Alimentación a la caldera VR10

Alimentación a la caldera VR10	
Caudal	13 m ³ /h
Altura geodésica	2 mca
Diámetro de succión	0,0762 m = 3 pulg
Velocidad de succión	0,7918 m ² /s

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

Numero de Reynolds en la succión	184859 (Flujo turbulento)
Factor de fricción en la succión	0,01804
Pérdidas primarias en la succión	0,007565 <i>mca</i>
Pérdidas secundarias en la succión	0,02954 <i>mca</i>
Total pérdidas en la succión	0,0371 <i>mca</i>
NPSH disponible	7,738 <i>mca</i>
Diámetro de descarga	0,0635 m = 2½ <i>pulg</i>
Velocidad de descarga	1,14 m ² /s
Numero de Reynolds en la descarga	221830 (Flujo turbulento)
Factor de fricción en la descarga	0,01768
Pérdidas primarias en la descarga	0,3413 <i>mca</i>
Pérdidas secundarias en la descarga	0,5202 <i>mca</i>
Total pérdidas en la descarga	0,8615 <i>mca</i>
Diferencial de presiones	13 PSI
Carga de la bomba en la succión	364 <i>mca</i>
Potencia de la bomba	17,78 <i>Kw</i>
Potencia del motor	19,75 <i>Kw</i>

Nota. Se identifican todos los datos para el cálculo de la potencia de la bomba.

Alimentación a la caldera VR15

Tabla 33

Alimentación a la caldera VR15

Alimentación a la caldera VR15	
Caudal	18 m ³ /h
Altura geodésica	2 mca
 	
Diámetro de succión	0,0889 m = 3½ pulg
Velocidad de succión	0,8055 m ² /s
Numero de Reynolds en la succión	219393 (Flujo turbulento)
Factor de fricción en la succión	0,0177
Pérdidas primarias en la succión	0,006584 mca
Pérdidas secundarias en la succión	0,03048 mca
Total pérdidas en la succión	0,03706 mca
NPSH disponible	7,738 mca
 	
Diámetro de descarga	0,0635 m = 2½ pulg
Velocidad de descarga	1,579 m ² /s
Numero de Reynolds en la descarga	307150 (Flujo turbulento)
Factor de fricción en la descarga	0,01712
Pérdidas primarias en la descarga	0,3426 mca
Pérdidas secundarias en la descarga	0,7265 mca
Total pérdidas en la descarga	1,069 mca
Diferencial de presiones	21 PSI
Carga de la bomba en la succión	584,8 mca
Potencia de la bomba	39,55 Kw
Potencia del motor	43,94 Kw

Nota. Se identifican todos los datos para el cálculo de la potencia de la bomba, los cálculos desarrollados se encuentran en el apéndice E.

Succión

Accesorios	#	Coefficiente de pérdidas
Válvula compuerta ab	1	0,1416
Por entrada	1	0,78
Sumatoria		0,9216

Descarga

Accesorios	#	Coefficiente de pérdidas unidad	Total
Válvula compuerta ab	3	0,13696	0,41088
Válvula de retención	2	1,712	3,424
Codos	3	0,5136	1,5408
T	1	0,3424	0,3424
		Sumatoria	5,71808

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

Alimentación al des aireador

Tabla 34

Alimentación al des aireador

Alimentación al des aireador	
Caudal	31 m ³ /h
Altura geodésica	3 mca
Diámetro de succión	
Diámetro de succión	0,1143 m = 4½ pulg
Velocidad de succión	0,8392 m ² /s
Numero de Reynolds en la succión	293878 (Flujo turbulento)
Factor de fricción en la succión	0,01654
Pérdidas primarias en la succión	0,007791 mca
Pérdidas secundarias en la succión	0,05056 mca
Total pérdidas en la succión	0,05835 mca
NPSH disponible	7,717 mca
Diámetro de descarga	
Diámetro de descarga	0,0889 m = 3½ pulg
Velocidad de descarga	1,387 m ² /s
Numero de Reynolds en la descarga	377843 (Flujo turbulento)
Factor de fricción en la descarga	0,01613
Pérdidas primarias en la descarga	0,3381 mca
Pérdidas secundarias en la descarga	0,5158 mca
Total pérdidas en la descarga	0,8539 mca
Diferencial de presiones	1 PSI
Carga de la bomba en la succión	59,76 mca
Potencia de la bomba	6,959 Kw
Potencia del motor	7,733 Kw

Nota. Se identifican todos los datos para el cálculo de la potencia de la bomba, los cálculos desarrollados se encuentran en el apéndice E.

Succión

Accesorios	#	Coeficiente de pérdidas
Válvula compuerta ab	1	0,13232
Codo	1	0,4962
Por entrada	1	0,78
Sumatoria		1,40852

Descarga

Accesorios	#	Coeficiente de pérdidas unidad	Total
Válvula compuerta ab	2	0,12904	0,25808
Válvula de retención	1	1,613	1,613
Codos	7	0,4839	3,3873
		Sumatoria	5,25838

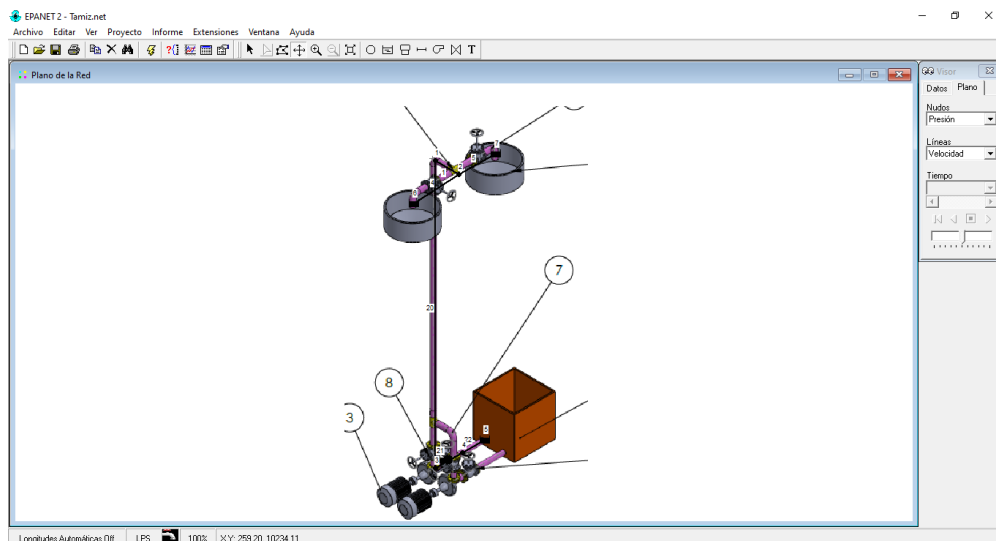
5. Simulación

Para la simulación de los sistemas se planteó manejar un software encargado de los sistemas de transporte de los fluidos, llamado Epanet, de esta forma darle un argumento de peso a los cálculos anteriormente expuestos, se desarrolló un programa para cada sistema, teniendo en cuenta todas las especificaciones tomadas anterior, tanto diámetros de succión y de descarga, pérdidas primarias de las tuberías basándonos en la rugosidad de los materiales seleccionados que en este caso fueron de acero inoxidable, pérdidas secundarias de los accesorios, para ello fue importante tener los valores del K (coeficiente de los accesorios) separados en las tablas que van de la mano con los cálculos y por último, valores de potencia en la bomba o también con la curva puesta. A continuación, se expondrá un caso, para conocer un poco más de esta simulación y de los valores que no puede brindar:

Se va tener en cuenta la simulación del sistema bomba licor prensa al tamiz, a continuación:

Figura 53

Método para montar los sistemas en Epanet



Nota. El plano desarrollado en SolidWork (como una observación todos los planos hechos en SolidWorks se encuentran en el apéndice F) fue subido en epanet en el formato .bmp, de cual se procede a

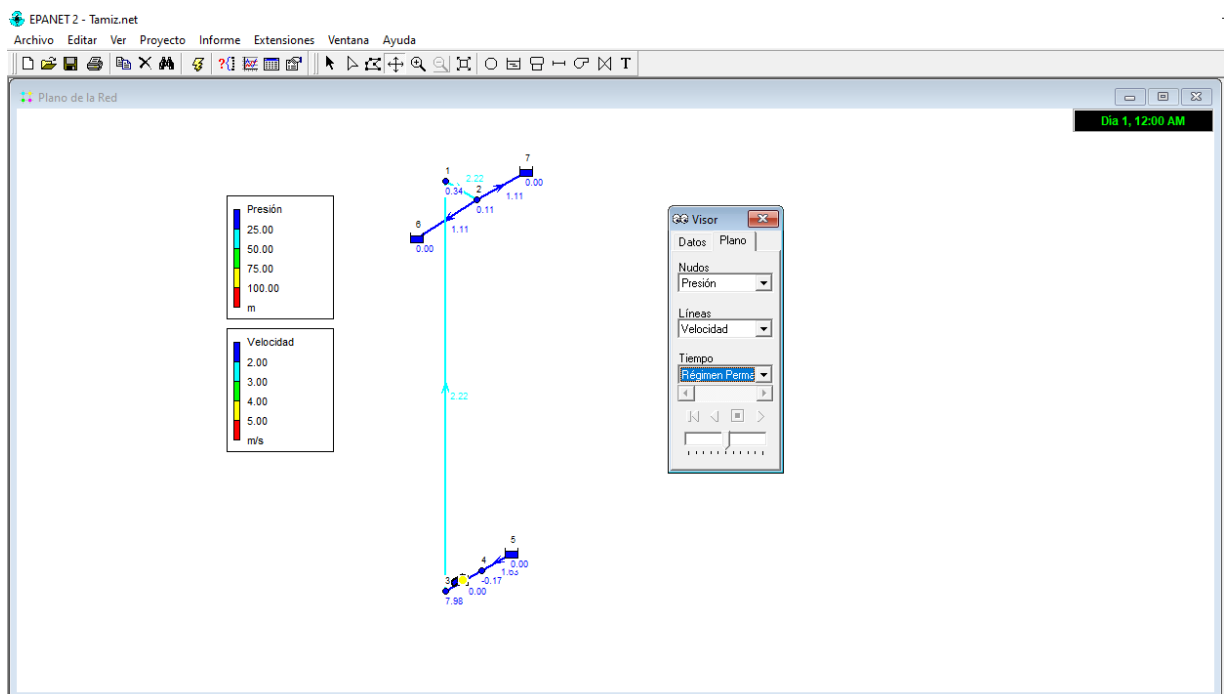
REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

determinar los tramos de tubería, los nodos, los tanques y la bomba.

Una vez dibujado el sistema, se procede a dígitar todos los valores ya calculados anteriormente y se pone en marcha el programa, este nos proporciona un esquema visual, tanto de presiones (en los nodos), como de caudal y velocidad (en las tuberías), que se tendrán en cuenta para sacar las conclusiones necesarias, en el caso de la presión esta fue de ayuda para evidenciar la máxima presión y poder gestionar el cálculo para el diseño de los tubos que próximamente se explicaran. A continuación, unas figuras de los datos proporcionados:

Figura 54

Simulación visual mediante colores de la velocidad y la presión del sistema bomba licor prensa al tamiz

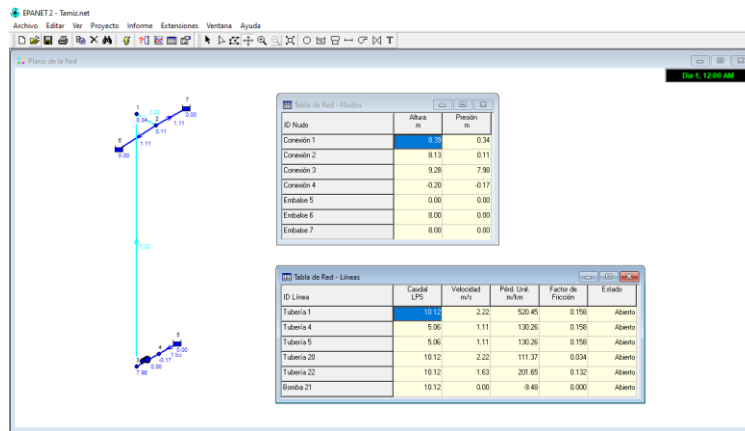


Nota. Los presentes valores se toman con la normalización de la potencia de la bomba por lo que sus valores de velocidad y presiones, pueden llegar a dar un poco por encima del que se calculó, son las velocidades con las que, se da el sistema una vez normalizado.

Para finalizar, se observa las gráficas que podemos encontrar en la presente simulación, con sus diversos valores

Figura 55

Graficas proporcionadas por epanet del sistema bomba licor prensa al tamiz



Notas. Se evidencian valores que ayudan a respaldar el proceso de cálculos y selección

De la misma forma en que se obtuvieron los cálculos del sistema Bomba licor prensa al tamiz se lleva a cabo con los demás, estos podrán ser vistos en el apéndice G.

Por último, como método para evaluar la eficiencia del rediseño (la relación cálculos vs simulación), se desarrolló un porcentaje de error para la velocidad, ya que esta va de la mano con el caudal por la relación en su fórmula; en el caso del sistema bomba de prensa al tamiz se obtuvo un porcentaje de error de 5,4 %, se encontraran los cálculos para cada sistema y su análisis en el apéndice H. Respecto a la presión, en la simulación se evidencia que todos los sistemas presentan presiones bajas, por lo que no se corre con ningún riesgo por presurización.

6. Selección de elementos

Es necesario contar con los cálculos y una vez normalizados, se procede a seleccionar por medio de las gráficas, las bombas y por medio de la norma ASME B31.1, las tuberías y elementos.

6.1. Selección bombas

Después de realizar los cálculos obtenemos valores de potencias de bombas y motores para una capacidad de planta de 58.5 Ton/h RFF, divididos por fluido, aceite, lodo, efluentes y agua, los resultados son:

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

Tabla 35

Potencia del motor y bomba por sistemas recalculados

Potencia del motor y bomba por sistemas recalculados					
Bomba	Potencia motor (kw)	Potencia Bomba (kw)	Øs (In)	Ød (In)	Caudal (m ³ /h)
Licor de prensa	1,223	1,101	3½	3	34,437
Sedimentador 1	0,4382	0,3944	2½	1½	8,12
Sedimentador 2	0,4389	0,3951	2½	1½	8,12
Recuperados	1,618	1,456	4	3	25,526
Aceite acido a licor de prensa	0,0088	0,0088	1	1	0,676
Tanque auxiliar de aceite ácido	0,2718	0,244	2	1½	5,5
Pulmón de lodos	9,468	8,9522	3½	2½	18,09
Clarificador a tanque pulmón	0,1812	0,1631	3½	2½	17
Efluentes	2,1322	1,919	4	3½	35,1
Alimentación general	30,13	27,12	5	4	58,8
VR15	43,94	39,55	3½	2½	18
Alimentación de aireador	7,733	6,959	4	3½	31

6.1.1. Análisis de la curva

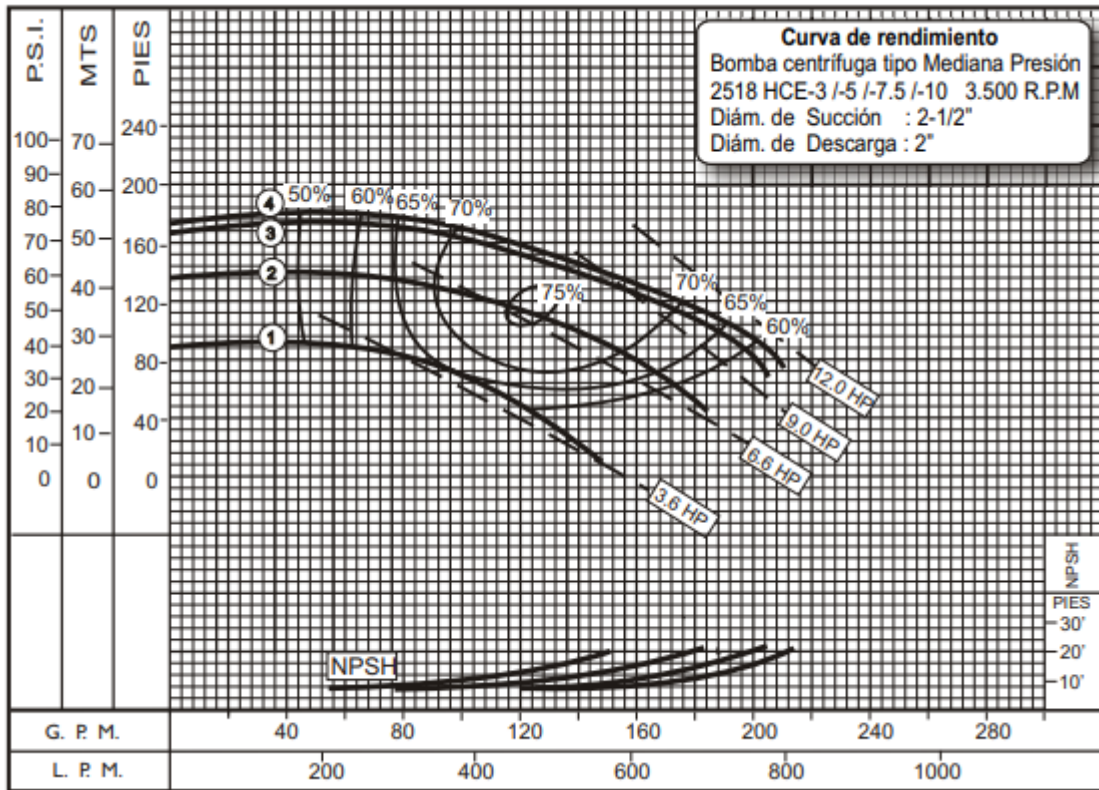
Para los sistemas Bomba licor de prensa, bomba tanque y recuperados, se planteó normalizarlos para facilidad de mantenimiento y repuestos; ya que la bomba a utilizar tiene requerimientos similares.

6.1.1.1. Bombas licor de prensa y recuperados. Se plantearon dos opciones las cuales serán mostradas a continuación:

Opción 1:

Figura 56

Curva de rendimiento bomba centrifuga tipo mediana presión 2518



No	MODELO	HP	VOLTAJE	AMP.	FASES	DIA. IMP.	øSUCC.	øDESC.
1	2518 HCE-3	3.6	220/440	10.5/5.25	3	5.060"	2-1/2"	2"
2	2518 HCE-5	6.6	220/440	19.0/9.5	3	5.810"	2-1/2"	2"
3	2518 HCE-7.5	9.0	220/440	24.0/12.0	3	6.375"	2-1/2"	2"
4	2518 HCE-10	12.0	220/440	32.0/16.0	3	6.500"	2-1/2"	2"



Nota. Con la siguiente tabla y con ayuda de los calculos obtenidos con anterioridad, se procede a la selección de las bombas, tomado de Barnes de Colombia S.A.

Para la bomba licor de prensa tomamos un caudal de 573,95 LPM, y una altura de 7 MTS, donde se evidencia el trabajo de una bomba 3.6 HP, con una eficiencia del 60%.

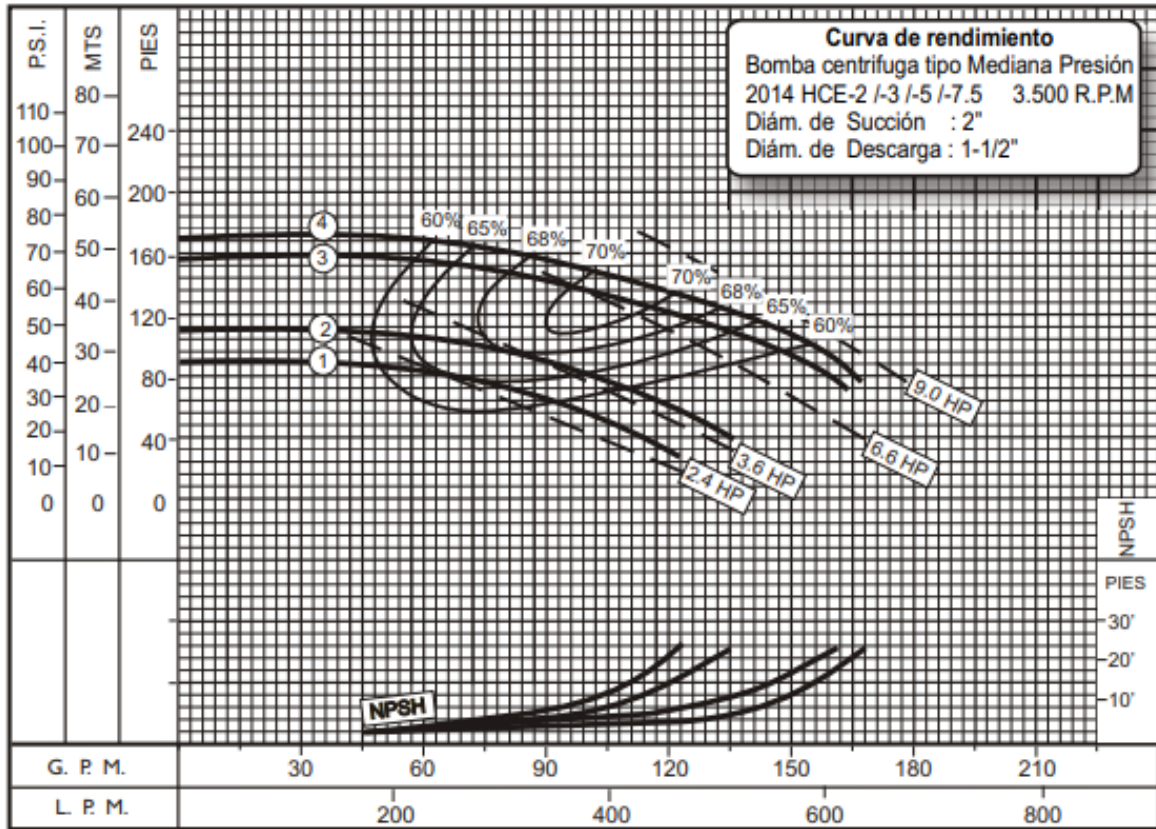
Para la bomba tanque recuperados tomamos un caudal de 425 LPM y una altura de 12 MTS, para una bomba de 3,6 HP, con una eficiencia de 65 %.

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

Opción 2:

Figura 57

Curva de rendimiento bomba centrífuga tipo mediana presión 2014



Nota. Con la siguiente tabla y con ayuda de los calculos obtenidos con anterioridad, se procede a la selección de las bombas, tomado de Barnes de Colombia S.A.

Se ingresa a la curva con los mismos valores de la opción 1 y encontramos una bomba de 2.4 HP con una eficiencia de 60 % para la bomba licor de prensa y para la bomba de recuperados, 3.6 HP con una eficiencia de 60%.

Teniendo en cuenta los resultados se seleccionó la opción 1, bomba 2 ½ x 2 con 3.6 HP para estos dos sistemas.

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

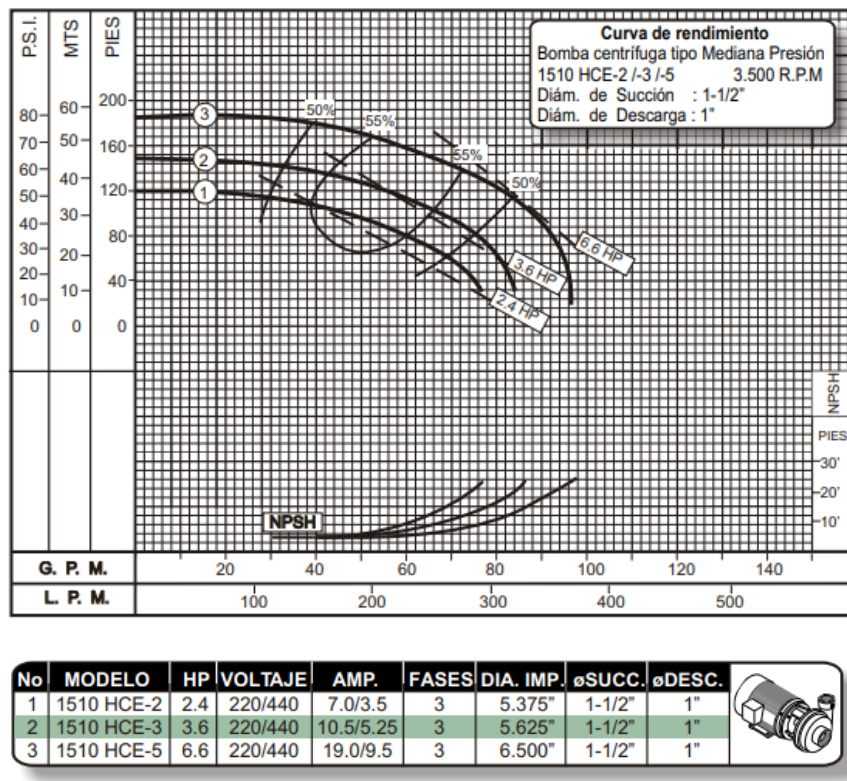
6.1.1.2. Bombas de tanque de aceite sedimentador 1 y 2, tanque auxiliar de aceite ácido, tanque clarificador convencional y bomba de aceite ácido. Al tener requerimientos similares se planteó utilizar una bomba para estos.

Teniendo en cuenta la figura 58 se obtiene que las bombas de aceite virgen a sedimentador 1 y 2 tomamos un caudal de 135 LPM con una altura de 13 metros, para la bomba del tanque auxiliar de aceite ácido 91 LPM con una altura de 11 metros, para bomba tanque clarificador convencional 283 LPM 1.5 metros y para la bomba aceite ácido 11,5 LPM a 7 metros.

Con esta bomba podemos ver que la eficiencia de todas las bombas es de 60% y una potencia de 2.4 HP.

Figura 58

Curva de rendimiento bomba centrífuga tipo mediana presión 1510



Nota. Con la siguiente tabla y con ayuda de los calculos obtenidos con anterioridad, se procede a la selección de las bombas, tomado de Barnes de Colombia S.A.

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

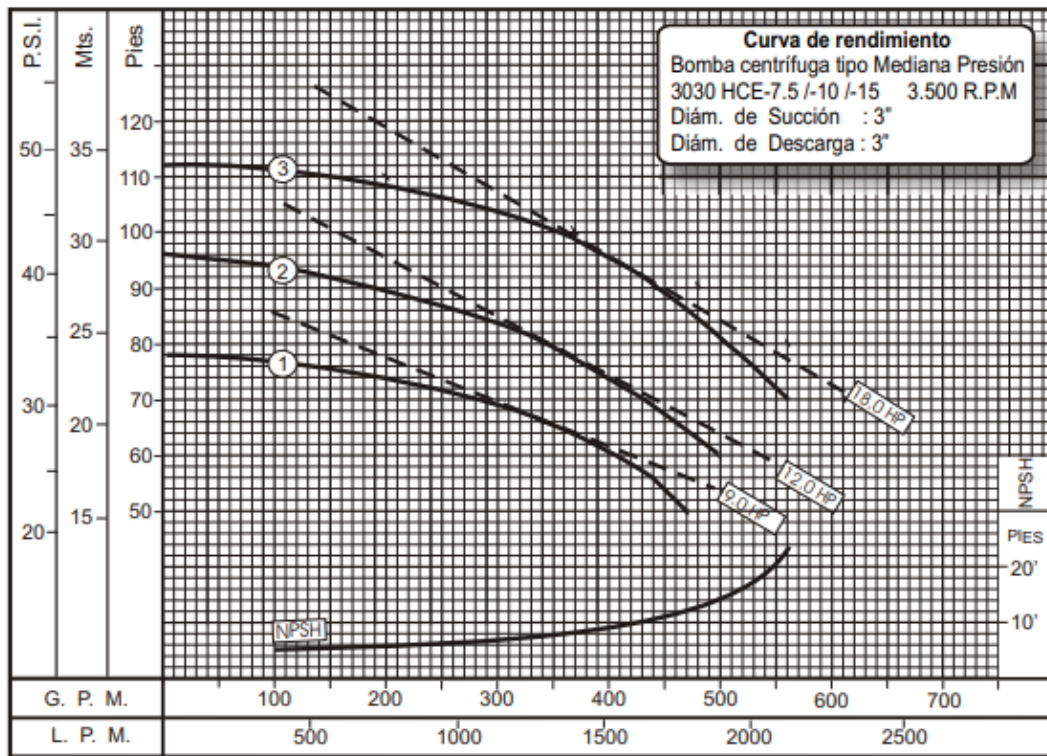
Con los valores ya especificados encontramos que los parámetros de trabajo de la bomba seleccionada para todos los sistemas son de 2.4 hp con una eficiencia de 60%.

Se escoge la opción 2 por tamaño de diámetros, ya que se minimiza las pérdidas en la tubería.

6.1.1.3. Bomba de lodos a desarenadores. Para la selección de esta bomba se tiene un caudal de 300 LPM con una altura de 13 Metros.

Figura 59

Curva de rendimiento bomba centrífuga tipo mediana presión 3030



No	MODELO	HP	VOLTAJE	AMP.	FASES	DIA. IMP.	øSUCC.	øDESC.
1	3030 HCE-7.5	9.0	220/440	24.0/12.0	3	4.875"	3"	3"
2	3030 HCE-10	12.0	220/440	32.0/16.0	3	5.125"	3"	3"
3	3030 HCE-15	18.0	220/440	46.0/23.0	3	5.500"	3"	3"

Nota. Con la siguiente tabla y con ayuda de los calculos obtenidos con anterioridad, se procede a la selección de las bombas. tomado de Barnes de Colombia S.A.

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

Debido a los requerimientos de presión y caudal para la entrada de los desarenadores se elige la bomba de 18 hp

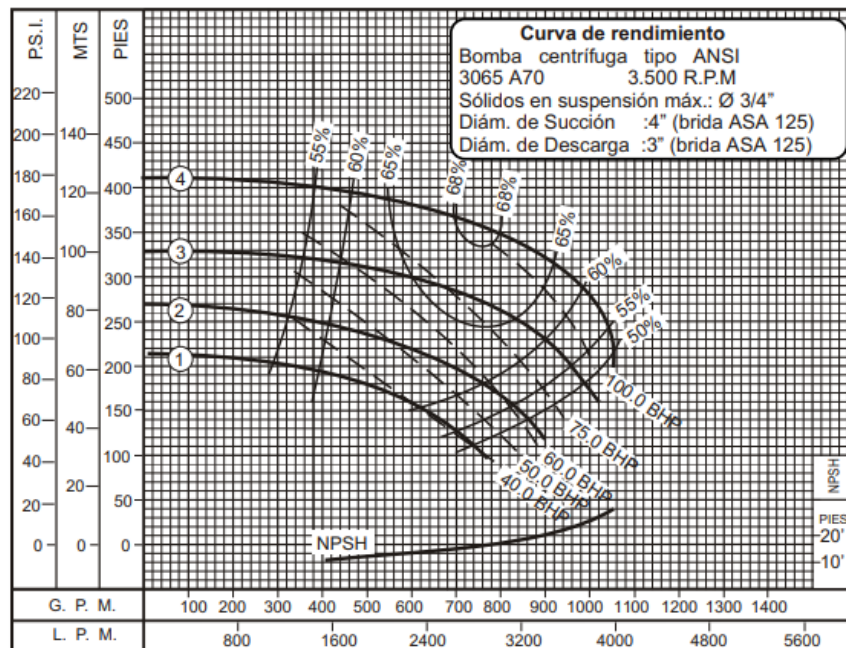
6.1.1.4. Bomba efluentes. Para la selección bomba de efluentes se tiene un caudal de 585 LPM, una altura de 8 metros y mediante la figura 59, mostrada anteriormente.

Según los requerimientos de caudal y altura de la bomba de efluentes, basado en los datos ya calculados se escoge potencia de la bomba de 9 HP.

6.1.1.5. Bomba alimentación general. Esta bomba se selecciona a partir de un caudal de 975 LPM y una altura de 8.

Figura 60

Curva de rendimiento bomba centrífuga tipo mediana presión 3065 A70



Nota. Con la siguiente tabla y con ayuda de los calculos obtenidos con anterioridad, se procede a la selección de las bombas, tomado de Barnes de Colombia S.A.

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

Según datos de potencia calculados y requerimientos de la planta, se selecciona la bomba de 50 BHP, lo cual equivale a 50.69 HP.

6.1.1.6. Bomba de agua alimentación al des aireador. Se toma un caudal de 516 LPM, altura de 3 metros y mediante la figura 59, mostrada anteriormente.

Según requerimientos calculados para esta bomba y el caudal se selecciona bomba de 18 HP.

6.1.1.7. Bomba de las calderas. Se remite al manual de operación de esta y nos encontramos que la bomba recomendada es de características similares a la calculada en este proyecto, así que se deja la misma bomba recomendada por el fabricante para el correcto funcionamiento de esta.

Bomba de la caldera centrífuga multietapa de motor 60 HP a 3600 rpm.

Seguido de esto se muestra un listado con la selección de bombas para cada uno de los diferentes sistemas de la planta extractora

Tabla 36

Selección de las bombas según rediseño de planta

Selección de la bomba					
Bomba	Potencia (Hp)	Øimpulsor (In)	Øs (In)	Ød (In)	AMP
Licor de prensa	3.6	5.050	2 ½	2	10.5/5.25
Sedimentador 1	2.4	5.375	1 ½	1	7.0/3.5
Sedimentador 2	2.4	5.375	1 ½	1	7.0/3.5
Recuperados	3.6	5.050	2 ½	2	10.5/5.25
Aceite acido a licor de prensa	2.4	5.375	1 ½	1	7.0/3.5
Tanque auxiliar de aceite ácido	2.4	5.375	1 ½	1	7.0/3.5
Pulmón de lodos	18	5.500	3	3	46.0/23.0
Clarificador a tanque pulmón	2.4	5.375	1 ½	1	7.0/3.5
Efluentes	9	4.875	3	3	24.0/12.0
Alimentación general	50	8.000	4	3	-
Alimentación de aireador	18	5.500	3	3	46.0/23.0

Nota. Se evidencia las selecciones de las bombas dependiendo de las curvas.

6.2 Selección de tuberías.

Llegado este punto no se tiene valores suficientes para seleccionar las tuberías, para ello es necesario el cálculo de los espesores y así cumplir con la presente selección, cumpliendo con la siguiente ecuación tomada de la norma ASME B31.1, se tiene que:

$$t_m = \frac{(P_d * D_o)}{(2 * (SEW + P_d * Y))} + C$$

Ecuación 12

Donde:

P_d = Presión interna máxima de diseño (Se calcula sumando 25 psig a presión interna máxima)

D_o = Diámetro de la tubería de descarga

S = Esfuerzo admisible del material

E = Factor de junta (valores entre 0.7 y 1 según norma ASME B31.1)

Y =Coeficiente adimensional dependiendo de la temperatura (Valores entre 0.6 a 0.8 según norma ASME B31.3)

C = Coeficiente de corrosión (0.13 debido a el fluido a transportar)

Teniendo en cuenta los constantes picos de presión en los sistemas provocados por diferentes factores como la condición de trabajo de la planta, la calidad de la energía eléctrica, estado del fluido transportado, vibraciones por soportes, riesgos naturales, ETC, se agregó un factor de seguridad para la ecuación de $F_s = 5$, reescribiendo la ecuación de la siguiente forma:

$$t_m = F_s * \left(\frac{(P_d * D_o)}{(2 * (SEW + P_d * Y))} \right) + C$$

El Esfuerzo admisible del material se toma de la tabla ASME B31.3, con un valor de 2000 para un acero A36 y A268, los cuales son acero al carbono y acero inoxidable

A partir de este cálculo se obtienen los siguientes datos para la selección del SCH de las tuberías de

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

la planta.

Tabla 37

Selección de SCH de tubería según norma ASME B36

Selección de tubería					
Sistema	Presión Max (PSI)	Presión de diseño en (PSI)	Øs (In)	Ød (In)	SCH
Licor de prensa	16.13	41.13	3 ½	3	SCH 30
Sedimentador 1	21.2	46.2	2 ½	1 ½	SCH 30
Sedimentador 2	21.8	46.87	2 ½	1 ½	SCH 30
Recuperados	25.58	50.58	4	3	SCH 30
Aceite acido a licor de prensa	8.86	33.86	1	1	SCH 40
Tanque auxiliar de aceite ácido	19.49	44.49	2	1 ½	SCH 40
Pulmón de lodos	20.56	45.56	3 ½	2 ½	SCH 30
Clarificador a tanque pulmón	7.66	32.66	3 ½	2 ½	SCH 30
Efluentes	24.3	49.3	4	3 ½	SCH 40
Alimentación general	4,5	29,5	5	4	SCH 40
Alimentación caldera VR15	49.74	74.74	3 ½	2 ½	SCH 40
Alimentación de aireador	49.74	54.4	4	3 ½	SCH 30

Nota. Se observa los diferentes SCH para los tramos de las tuberías de los sistemas rediseñados.

7. Conclusiones

Este proyecto determinó los cambios requeridos en los diferentes sistemas de transporte de fluidos de la planta extractora de Entrepalmas SAS para aumentar su capacidad en un 30% de la actual, pasando de un 45.5 Ton de RFF/h a 58.5 Ton de RFF/h. Para llegar a este resultado se aplicó el enfoque de diseño conceptual, iniciando con la recopilación de datos necesarios para tener un punto de partida, seguidamente se plantearon arreglos en respuesta a los requerimientos y problemáticas de la planta, utilizando el software SolidWorks para su elaboración. Posteriormente se realizaron los cálculos correspondientes para el nuevo diseño y se definieron las rutas actuales y propuestas mediante AutoCAD y finalmente se simularon los sistemas utilizando la herramienta epanet.

Por otra parte, se verificó la compatibilidad entre los cálculos y simulaciones de los diferentes sistemas propuestos. En particular, el sistema descrito (tanque de licor de prensa al tamiz) arrojó un porcentaje de error de 5,4% dicha variabilidad también se observó en los demás sistemas analizados, cuyos errores oscilaron entre 4% y 8%, debido a que en la simulación se utilizaron los respectivos valores normalizados, como lo es el caso de la potencia de la bomba, de igual forma no presenta velocidades críticas por encima de 3 m/s, por lo que es posible adaptar estos valores de velocidad aumentando o disminuyendo su diámetro y así disminuir los porcentajes de error, Estos resultados demuestran la importancia de la validación de los modelos en el diseño de sistemas, garantizando así la precisión y efectividad en la implementación de las soluciones propuestas.

La simulación de los sistemas tras los rediseños ha demostrado ser una herramienta eficaz para evaluar y mejorar las condiciones de trabajo. Los resultados obtenidos evidencian un funcionamiento óptimo de los sistemas, lo que sugiere que los cambios implementados han tenido un impacto positivo en la eficiencia operativa.

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

Aunque se lograron mejoras en los sistemas, el rediseño enfrenta limitaciones como la línea de vapor la cual presenta dificultades para su rediseño debido a las condiciones inseguras generadas por las altas temperaturas del sistema y la poca información inicial con la que se parte el estudio.

Los cambios en los sistemas no solo contribuyen a mejorar la eficiencia operativa, sino incorpora medidas que mejoran la seguridad del sistema, minimizando riesgos de fugas y fallas operacionales, trabajando bajo criterios de normativas las cuales fueron base para la realización del proyecto.

En este proyecto se desarrolló un método para simular sistemas de transporte de fluidos en 3 dimensiones, empleando un software para la simulación de 2 dimensiones, mediante el uso de la vista isométrica; de esta forma, se adaptó perfectamente al proyecto y se obtuvo una óptima relación en el análisis teórico práctico.

8. Referencias

- Acurio, L., & Choes, C. (2021). *Diseño de un sistema de transporte para un fluido Herschel-Bulkley (mayonesa)*. Ambato: Universidad técnica de Ambato.
- Cengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2007). *Mecánica de fluidos fundamentos y aplicaciones 1ra edición*. McGraw Hill Education.
- Cortes, P. (2009). Manual técnico de plama africana. *TechnoServe*.
- El palmicultor. (2002). La palma de aceite: un producto con historia. *El palmicultor*, 19-20.
- Fedepalma. (s.f.). En F. S. deración Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite, *Procesos modernos de axtracción de aceite de palma* (pág. 43). <http://repositorio.fedepalma.org/handle/123456789/107713>.
- Fedepalma. (s.f.). Porcesos modernos de extracción de aceite de palma. En F. S. Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite. <http://repositorio.fedepalma.org/handle/123456789/107713>.
- Fedepalma. (s.f.). Procesos modernos de extracción de aceite de palma. En F. S. Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite. <http://repositorio.fedepalma.org/handle/123456789/107713>.
- Fedepalma. (s.f.). Procesos modernos de extracción de aceite de palma. En F. S. Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite. <http://repositorio.fedepalma.org/handle/123456789/107713>.

REDISEÑO SISTEMA DE TRANSPORTE DE FLUIDOS

- Grupo Hada. (20 de Marzo de 2018). *Grupo Hada, la magia es hacerlo bien*. Obtenido de <https://grupohada.com/aceite-de-palma/>
- Ibarz, A., & Barbosa-Cánovas, G. (2005). *Operaciones unitarias en la ingenierías de alimentos*. Madrid, España: Mundi - prensa libros.
- McCabe, W., Smith, J., & Harriott, P. (2007). *Operaciones unitarias en ingeniería química, séptima edición*. McGraw-Hill Interamericana.
- Mesa, H., & Piñeros, L. (2018). *Fabricación y montaje de los equipos para una planta extractora de aceite de palma*. Bogota: Universidad piloto de Colombia.
- Minería Chilena. (2006). *Transporte de fluidos: Variables a considerar para una mayor disponibilidad* . Obtenido de <https://www.mch.cl/informes-tecnicos/transporte-fluidos-variables-considerar-una-mayor-disponibilidad/>
- Mott, R. L., & Untener, J. A. (2012). *Mecánica de fluidos séptima edición*. Dayton: Pearson.
- Mujica. (2010). *Evolucion del sector palmicultor*. Bucaramanga: UDI.
- White, F. M. (2001). *Mecánica de fluidos 5ta edición*. McGraw Hill Education.
- Yanzapanta, C., & Marcelo, F. (2013). *Diseño y construcción de un sistema de transporte de fluidos para la medición de caudales*. Riobamba: Escuela superior politécnica de Chimborazo.