



Diseño conceptual para implementar una planta piloto en mezclado y homogenización de crudos pesados colombianos en el Centro de Innovación y Tecnología-ICP Ecopetrol 2021

Modalidad: Práctica Empresarial

Maarja Alexandra Castellanos Carreño
CC 1232890714

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍAS
INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA
BUCARAMANGA, 18 NOVIEMBRE 2021**



Diseño conceptual para implementar una planta piloto en mezclado y homogenización de crudos pesados colombianos en el Centro de Innovación y Tecnología-ICP Ecopetrol 2021

Modalidad: Práctica Empresarial

Maarja Alexandra Castellanos Carreño
CC 1232890714

**Informe de práctica para optar al título de
Ingeniera Electromecánica**

DIRECTOR

M Sc Diana Carolina Dulcey Diaz

Ing. Jesús Alberto Castro Guadrón
Ingeniero Ecopetrol

Grupo de Investigación en Diseño y Materiales-DIMAT

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BASICAS E INGENIERIAS
INGENIERIA ELECTROMECHANICA
BUCARAMANGA, 18 NOVIEMBRE 2021**

Nota de Aceptación



Firma del Evaluador



Firma del Director

DEDICATORIA

A mis padres y hermana por su amor, apoyo, esfuerzo, trabajo que han realizado, gracias a eso soy la persona que soy y finalmente a todas las personas que me han acompañado y han depositado su confianza dándome palabras de motivación y buenos deseos que han permitido llegar hasta aquí.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por todas sus bendiciones que me han permitido avanzar día a día en cada paso que doy.

Mi profundo agradecimiento a mis padres, Nelson Castellanos y Sandra Carreño por ser ese apoyo en momentos de debilidad.

Asimismo, agradezco a mi familia por creer en mis sueños, confiar en mí, por todos sus concejos y valores que me han inculcado.

De igual manera agradezco a mi directora de proyecto M Sc Diana Carolina Dulcey por su apoyo incondicional, por compartir sus conocimientos, por las palabras de motivación, por confiar en mí y por guiarme no solo en este proyecto sino a lo largo de mi carrera.

Agradezco a los docentes del programa de ingeniería Electromecánica de las Unidades Tecnológicas de Santander por haberme dado tantas oportunidades y enriquecer mis conocimientos

Y por último quiero agradecer al semillero de investigación SIIMA a sus integrantes por darme una grata acogida, por los momentos compartidos y las destrezas desarrolladas.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	10
1. IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA O COMUNIDAD.....	11
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
2.1. DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA.....	11
2.2. JUSTIFICACIÓN DE LA PRÁCTICA	12
2.3. OBJETIVOS.....	12
2.3.1 OBJETIVO GENERAL	12
2.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
2.4. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA	13
3. MARCO REFERENCIAL	13
3.1. MÉTODOS DE TRANSPORTE PARA CRUDOS PESADOS	13
3.1.1. CALENTAMIENTO	13
3.1.2. DILUCIÓN.....	14
3.1.3 EMULSIÓN DE CRUDO EN AGUA	14
3.1.4. CORE-ANNULAR FLOW.....	15
3.2. INTERCAMBIADORES DE CALOR.....	16
3.3. MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR.....	17
3.3.1 CONDUCCIÓN	17
3.3.2 CONVECCIÓN.....	18
3.4 VISCOSIDAD	18
3.4.1 VISCOSIDAD DINÁMICA	18
3.4.2 VISCOSIDAD CINEMÁTICA	19
3.5 FLUJO TURBULENTO	19
3.6 NUMERO DE REYNOLDS	20
3.7 RUGOSIDAD RELATIVA.....	20
3.8 GRADIENTE HIDRÁULICO	21
4. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA.....	21
4.1. EXPLORACIÓN BIBLIOGRÁFICA	21
4.1.1 SISTEMAS DE HOMOGENIZACIÓN	21
4.1.2 TIPOS DE CRUDOS Y SISTEMAS DE CALENTAMIENTO.....	22
4.1.3. AGITADORES	23
4.1.4. BOMBA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO.....	23
4.1.5 MEZCLADOR ESTÁTICO	24

4.1.6. BOMBA MEZCLADORA	25
4.2. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS Y RECOPIACIÓN DE REQUERIMIENTOS.....	25
4.2.1 REQUERIMIENTOS DE TANQUES	25
4.2.2. REQUERIMIENTO SERPENTÍN	26
4.2.3. REQUERIMIENTO AGITADOR	26
4.2.4. REQUERIMIENTO BOMBA TRANSPORTE DE CRUDO.....	27
4.2.5. REQUERIMIENTO DE MEZCLADOR ESTÁTICO	27
4.2.6. REQUERIMIENTO DE BOMBA MEZCLADORA	28
4.3. ALTERNATIVAS DE DISEÑO	28
4.4. LISTADO DE EQUIPOS EXISTENTES.....	32
<u>5. RESULTADOS.....</u>	<u>33</u>
<u>6. CONCLUSIONES.....</u>	<u>35</u>
<u>7. RECOMENDACIONES.....</u>	<u>35</u>
<u>8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	<u>36</u>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Métodos para el transporte de aceite pesados y extrapesados	14
Figura 2 EVALUACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS APLICADAS AL TRANSPORTE DE CRUDO PESADO EN TUBERIAS	15
Figura 3 Características de los intercambiadores de calor	16
Figura 4 Ejemplo de transferencia por conducción	17
Figura 5 Conductividades térmicas de algunos materiales	18
Figura 6 Mezclador estático	27
Figura 7 Sistemas de homogenización 1, 2 y 3	29
Figura 8 Sistema de homogenización 4.....	31
Figura 9 Identificación de corrientes en el sistema de homogenización	33

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	Clasificación del flujo según el número de Reynolds.....	20
Tabla 2	Relación de viscosidad-Temperatura del crudo pesado.....	22
Tabla 3	Geometría de los mezcladores estáticos	24
Tabla 4	Características de los tanques	25
Tabla 5	Características del serpentín.....	26
Tabla 6	Características de agitador.....	26
Tabla 7	Característica de bomba de desplazamiento positivo	27
Tabla 8	Características del mezclador estático.....	27
Tabla 9	Características de bomba mezcladora.....	28
Tabla 10	Listado de componentes de la planta piloto existente	32
Tabla 11	Variables que afectan las corrientes	34

INTRODUCCIÓN

En la industria petroquímica surge la necesidad de analizar las muestras de los crudos mezclados para realizar nuevos estudios ya que se utilizan en productos como el cemento, la falta de mezcla homogénea en los crudos hace que varíe los resultados de los análisis sin poder determinar la calidad en el estudio, para esto se debe contar con un sistema de homogenización y mezclado de crudos caracterizados por diferentes componentes como los agitadores, sistema de calentamiento, sistema de transporte, sistema de mezclado y almacenamiento de la materia prima.

De igual forma se debe tener en cuenta que se trabaja con crudos de viscosidades altas como los crudos extrapesados y pesados que tienen dificultades en el transporte, mezclado y homogenizado, se busca plantear alternativas de reducción de viscosidad por medio de los diferentes sistemas de calentamiento como por ejemplo las resistencias eléctricas, serpentines que en su interior pasan un fluido de alta temperatura transmitiendo calor al crudo y sistemas de enchaquetados.

En Centro de Innovación y Tecnología-ICP se encuentra una planta que fue utilizada en HEZ-ECODIESEL que al cumplir su etapa experimental quedó disponible para nuevos desarrollos y aprovechar sus componentes mecánicos, a partir de lo anterior se planteó un sistema que cumpla con todas las características necesarias para la realización de homogenización siendo un sistema óptimo en su tipo.

1. IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA O COMUNIDAD

Identificación de la empresa o comunidad: Ecopetrol SA es la primera compañía en Colombia encargada del sector petrolero y de gas ubicadas en varias zonas del país, actualmente tiene dos refinerías ubicadas en Cartagena y Barrancabermeja, participa en negociaciones de biocombustible en toda América.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Descripción de la Problemática

En la industria petrolera el crudo se clasifica según la escala API (Instituto Americano de Petróleo) que permite conocer la densidad del mismo llevando a obtener crudos livianos, crudos medios, crudos pesados y crudos extrapesados; actualmente en Colombia en su mayoría de cuencas se extrae el crudo pesado, estos se mezclan y homogenizan para el proceso de refinación extrayendo derivaciones como lo son el asfalto, la gasolina, la nafta y demás combustibles.

Asimismo, incluye procesos de extracción, procesamiento, transporte y refinación que se vuelven complejos ante este tipo de crudos como lo es el crudo pesado debido a su alta viscosidad y falta de fluidez; en el proceso de homogenización se mezclan varios tipos de crudos según su característica, esto implica tener un sistema de mezclado en el cual permita que los productos estén homogéneos para su utilización, requiriendo de métodos en el proceso ya sea elevar temperaturas, agitar los productos y aplicación de solventes que permitan este desarrollo.

De lo anterior descrito se plantea la pregunta problematizadora que enmarca el desarrollo de esta practica

¿Como planear, analizar y adaptar las etapas y subetapas del diseño conceptual de una planta piloto para mezclado y homogenización de crudos pesados colombianos en el Centro de Innovación y Tecnología-ICP Ecopetrol desde los criterios Técnicos de ingeniería requeridos?

2.2. Justificación de la Práctica

En el Centro de Innovación y Tecnología-ICP Ecopetrol (Instituto Colombiano del petróleo) cuenta con una planta piloto utilizada en HEZ-ECODIESEL que una vez cumplido su estudio experimental de demostración industrial se dejó disponible para utilizar en nuevos desarrollos aprovechando sus componentes mecánicos y electrónicos el proceso de mezclado y homogenización de crudos pesados en plantas piloto del ICP. Para tal fin se hace sinergia con las Unidades Tecnológicas de Santander para aplicar conocimientos en metodologías, investigación y diseños adquiridas a través de la formación académica y vinculación de Semillero de Investigación en Ingeniería y Mecánica Automotriz SIIMA.

(Horvath, 2000) Es muy importante realizar el diseño conceptual del proyecto en este se realiza la comprensión de mecanismos fundamentales, desarrollar modelos de apariencia específica, aplicar técnicas de inteligencia artificial y clarificar el concepto a nivel global del proyecto; se conoce diferentes procesos, sistemas y subsistemas del equipo en desarrollo como el mezclado y homogenización de crudos mezclados, donde se aplican un conjunto de conocimientos en hidráulica, neumática, termodinámica y saberes en máquinas eléctricas y medios electrónicos para la conceptualización y el desarrollo de la planta piloto de homogenización de crudos pesados y mezclas de fracciones medias y livianas de hidrocarburos.

2.3. Objetivos

2.3.1 *Objetivo General*

Desarrollar ingeniería conceptual que permita identificar las variables de proceso y condiciones de diseño para la implementación de una planta piloto en mezclado y homogenización de crudos pesados colombianos.

2.3.2 *Objetivos Específicos*

- Revisar bibliográfica de tecnologías para aplicar en sistemas de mezclado y homogenización de crudos pesado por medio de artículos científicos, revistas científicas y trabajos de grado.
- Analizar equipos de reúso existentes en el CIT-ICP Ecopetrol para implementar la planta piloto para mezclado y homogenización de crudos pesados mediante la documentación adquirida de la empresa.
- Plantear alternativas de diseño a partir del análisis del estado del arte y el reconocimiento de las capacidades, propiedades, geometrías y limitaciones de los elementos y equipos requerido para el funcionamiento de un sistema de mezclado y homogenización de crudos pesados con y sin solventes.

- Elaborar el documento de ingeniería conceptual para la planta piloto de mezcla y homogenización de crudos pesados a través de la recolección de información, del análisis de equipos y alternativas de diseño.

2.4. Antecedentes de la Empresa

Actualmente la empresa no cuenta con antecedentes previos al proyecto en cuestión; se realizó una búsqueda de proyectos similares que ayudan al desarrollo del proyecto como simulación mediante CFD de la homogenización de crudos a escala piloto a continuación una breve descripción.

(Piloto, 2013) Este proyecto se basa en simulación CFD y se parte de modelos bases con tiempo cero que equivale a crudos totalmente separados es importante conocer las propiedades de los crudos a implementar, se programa un tanque con sistemas de agitadores a escala menor, este proceso se realiza en varias etapas para observar que la mezcla es homogénea y sus propiedades en función del volumen, para llevar a cabo la simulación es muy importante conocer la geometría, tipo, sesgo de equilibrio de la malla y el paso del tiempo.

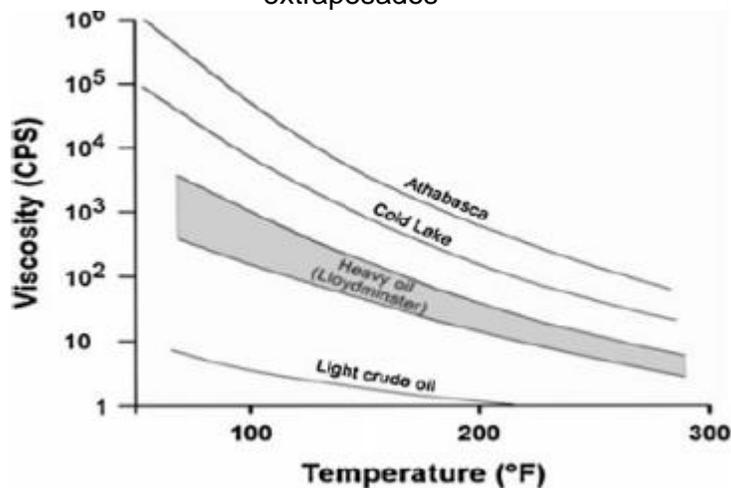
3. MARCO REFERENCIAL

3.1. Métodos de transporte para crudos pesados

3.1.1. Calentamiento

(Aranda, 2016) Este método es uno de los más antiguos y aun utilizados en la reducción de viscosidad ya que esta es sensible a la temperatura, consiste en realizar aumentos relativamente bajos de temperatura para ocasionar reducciones en la materia, a partir de esto se relaciona la siguiente tabla

Figura 1 Métodos para el transporte de aceite pesados y extrapesados



Fuente (Aranda, 2016)

3.1.2. Dilución

(Oñate & Rodriguez, 2012) Este método se realiza mediante la mezcla de crudo pesado o extrapesado y crudo liviano, de mayor gravedad API y cortes del petróleo como el querosén o nafta, ocasionando que el crudo disminuya la viscosidad y la densidad por medio de la agitación del producto manteniendo su temperatura ambiente y así facilita el transporte, aspectos para tener en cuenta es la relación de crudo/solvente, cuanto solvente se requiere para la mezcla y verificación de los parámetros de viscosidad y compatibilidad.

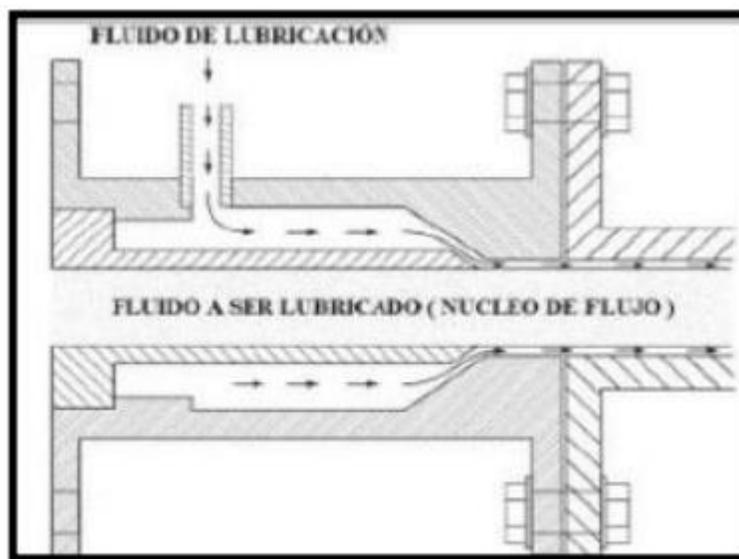
3.1.3 Emulsión de crudo en agua

(Aranda, 2016) Es un método relativamente novedoso, se requiere que la materia se emulsione con agua se estabiliza con ayuda de los agentes activos generando flujo, se dice que el aceite se dispersa en gotas pequeñas generando viscosidad mejorada de la materia, existen varias clases para generar las gotas de aceites como máquinas de dispersión, mezclado con rotor-estator, molinos coloidales, homogeneizadoras de alta presión y emulsión por membrana.

3.1.4. Core-annular Flow

(Camacho Briones & Cámara Mendoza, 2014) es un flujo anular central que reduce la caída e presión ocasionada por la fricción, este método consiste en generar una delgada capa de agua o solución acuosa que sea adyacente a la pared interior de la tubería comportándose como un lubricante, su función consiste en bombear la materia de menor viscosidad como el agua alcanzando la velocidad requerida para generar el estado estacionario luego se introduce el crudo de manera ascendente, a continuación se relaciona la siguiente grafica.

Figura 2 EVALUACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS APLICADAS AL TRANSPORTE DE CRUDO PESADO EN TUBERIAS



Fuente: (Camacho Briones & Cámara Mendoza, 2014)

3.1.5. Partial field upgrading

(Petroleum Technology Alliance Canada (PTAC), 2015) el mejoramiento parcial se refiere al uso de tecnologías para reducir la viscosidad sin la necesidad de utilizar diluyentes o usar menos de lo normal, es comercialmente viable ya que reduce los costos significativamente en el transporte de materia.

3.2. Intercambiadores de calor

(Montesdeoca Espín & Apunte Arico, 2015) Son dispositivos que contienen dos fluidos generalmente de diferentes temperaturas, uno de estos fluidos circula por un tubo y el otro por la coraza evitando que se toquen entre si, permitiendo la transferencia de calor entre las paredes metálicas; existen tres tipos de intercambiadores de tubo y carcasa.

- Intercambiador de calor de espejos fijos
- Intercambiador de calor en tubos U
- Intercambiador de calor de cabezal flotante

Figura 3 Características de los intercambiadores de calor

COMPARACIÓN ENTRE DISTINTOS TIPOS DE INTERCAMBIADORES						
Tipo de diseño	Tubos en U (Tipo U)	Placa de tubos fija (Tipos L,M,N)	Cabezal Flotante De arrastre (Tipo T)	Cabezal Flotante anillo Linterna (tipo W)	Cabezal Flotante anillo partido (tipo S)	Cabezal Flotante con Prensaestopa (tipo P)
Costo relativo Creciendo desde A (menos caro) hasta E (más caro)	A	B	C	C	D	E
Forma de lograr la expansión diferencial	Los tubos dilatan libremente	Junta de dilatación en carcasa	Cabezal flotante	Cabezal flotante	Cabezal flotante	Cabezal flotante
Haz extraíble	si	no	si	si	si	si
Tubos individualmente reemplazables	Sólo en las filas más externas	si	si	si	si	si
Tubos limpiables interiormente	Difícil mecánicamente Puede hacerse químicamente	Si- mecánica o químicamente	Si- mecánica o químicamente	Si- mecánica o químicamente	Si- mecánica o químicamente	Si- mecánica o químicamente
Limpieza exterior de tubos en arreglos triangulares	Solo químicamente	Solo químicamente	Solo químicamente	Solo químicamente	Solo químicamente	Solo químicamente
Limpieza exterior de tubos en arreglos en cuadro	Si- mecánica o químicamente	Solo químicamente	Si- mecánica o químicamente	Si- mecánica o químicamente	Si- mecánica o químicamente	Si- mecánica o químicamente
Número de pasos en los tubos	Cualquier número par de pasos es posible	No hay limitaciones	No hay limitaciones (para un solo paso se requiere empaquetadura)	Limitado a uno o dos pasos	No hay limitaciones (para un solo paso se requiere empaquetadura)	No hay limitaciones
Eliminación de juntas internas	si	si	no	si	no	si

Fuente: (Montesdeoca Espín & Apunte Arico, 2015)

(Cengel, 2007) Para diseñar un intercambiador de energía se sugiere los siguientes pasos, comprobar el balance de energía, asignar las corrientes al tubo, realizar diagramas técnicos, determinar el número de intercambiadores a utilizar, seleccionar tubería para esto es necesario conocer que diámetro, espesor, material,

longitud y configuración son necesarios, coeficientes de transmisión de calor, superficie y pérdidas de presión en el tubo.

3.3. Mecanismos de transferencia de Calor

3.3.1 Conducción

(Jimenez et al., 2015) Una molécula con temperatura mayor se mueve con mas rapidez que una de baja temperatura lo que hace que choque con estas y genere transferencia de energía, la transferencia por conducción de calor se da por la conducción de temperatura mas alta a la mas baja, para este tipo de transferencia se tiene dos tipos de conductores, los metales que en su mayoría son buenos conductores de calor y los no metales que se consideran malos convirtiéndose en aislante térmicos.

La ley de Fourier sirve para calcular la conducción que va de la región mayor a la región menor a continuación la formula

$$H = -kA \frac{T_h - T_c}{L}$$

H: tasa de flujo transferida por conducción (Watt)

k: conductividad térmica del material

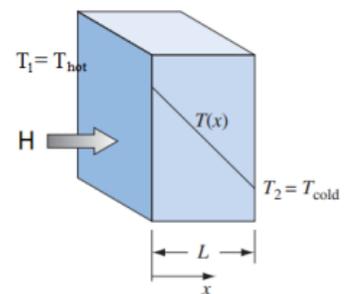
A: Área superficial

Th: Temperatura hot

Tc: Temperatura cold

L: Longitud

Figura 4 Ejemplo de transferencia por conducción



Fuente: (Jimenez et al., 2015)

Figura 5 Conductividades térmicas de algunos materiales

Sustancia	k (W/m· K)	Sustancia	k (W/m· K)
Aluminio	205,0	Concreto	0,8
Latón	109,0	Corcho	0,04
Cobre	385,0	Fieltro	0,04
Plomo	34,7	Fibra de vidrio	0,04
Mercurio	8,3	Vidrio	0,8
Plata	406,0	Hielo	1,6
Acero	50,2	Lana mineral	0,04
Ladrillo aislante	0,15	Poliestireno	0,027
Ladrillo rojo	0,6	Madera	0,12 – 0,04

Fuente:(Jimenez et al., 2015)

3.3.2 Convección

Es un mecanismo de transferencia de calor por medio de un fluido, se clasifica en convección natural y forzada en la primera es obligada a trabajar por medios naturales como el efecto de flotación ocasionando la subida del fluido a mayor temperatura y la caída del fluido a menor temperatura; para la clasificación forzada se realiza mediante una bomba o ventilador que transmiten el fluido por una tubería que se considera interna o si va por una superficie que es externa.

Se puede representar por medio de la ley de Newton de enfriamiento, a continuación, se relaciona la ecuación

$$Q_{conv} = hA_s(T_s - T_{\infty})$$

h = coeficiente por transferencia de calor por convección W/m²·°C

A_s = área superficial de transferencia de calor m²

T_s = Temperatura de la superficie °C

T_{∞} = Temperatura del fluido suficientemente lejos de la superficie °C

3.4 Viscosidad

3.4.1 Viscosidad dinámica

(Universidad Tecnológica de Chile, 2007) La viscosidad es la resistencia a la fluencia se representa como dos placas en paralelo una fija y la otra móvil separadas a una distancia muy pequeña por un fluido, a la placa superior se le aplica una fuerza que hace que esta se mueva a una velocidad, se considera que la velocidad en la

placa inferior es cero y en la placa superior es la mayor de hay aparece el termino velocidad dinámica o velocidad absoluta y se representa con μ que depende de la temperatura y presión, a continuación se relaciona la formula

$$F = A * \mu * \frac{dv}{dy}$$

F= fuerza aplicada a la placa superior

A= área de contacto de la placa con el fluido

μ = viscosidad dinámica

dv/dy = variación de la velocidad con respecto a la distancia de las dos placas

3.4.2 Viscosidad cinemática

(Cotos, 2019) La viscosidad cinemática está dada por la viscosidad dinámica y la densidad del fluido

$$\vartheta = \frac{\mu}{\rho}$$

ϑ = Viscosidad cinemática

μ = Viscosidad dinámica

ρ = Densidad

3.5 Flujo turbulento

(Ranald et al., 2003) Es una corriente caótica de las partículas del fluido que se mueven de manera desordenada formando pequeños remolinos o en todas partes, esto hace que sea imposible conocer la trayectoria de las partículas, se puede conocer la tensión cortante que se expresa de la siguiente manera

$$\tau = (\mu + \eta) \frac{dv}{dy}$$

μ = viscosidad dinámica

η = factor que depende de la densidad

3.6 Numero de Reynolds

(Parise et al., 2016) El número de Reynolds hace relación de la densidad, velocidad del flujo, dimensiones de la tubería como el diámetro y la viscosidad del fluido, a continuación, se representa la ecuación

$$N_r = \frac{\rho v D}{\mu}$$

ρ = Densidad del fluido
 v = velocidad del flujo
 D = diámetro de la tubería
 μ = viscosidad dinámica

El flujo se determina según el número de Reynolds, la siguiente tabla se relaciona la clasificación del flujo

Tabla 1 Clasificación del flujo según el número de Reynolds

Número Re	Tipo de flujo
Menor a 2300	Laminar
Entre 2300 - 4000	Crítico
Mayor que 4000	Turbulento

Fuente: (Parise et al., 2016)

3.7 Rugosidad relativa

(Belyadi et al., 2017) Es la cantidad de rugosidad que se encuentra en la superficie interna de la tubería también conocida como absoluta sobre el diámetro y está dada por la siguiente ecuación.

$$Rugosidad\ relativa = \frac{\varepsilon}{D}$$

ε = rugosidad absoluta en pulgadas
 D = diámetro interno de la tubería

3.8 Gradiente hidráulico

(Parise et al., 2016) Es la pérdida de presión que se realiza mediante el movimiento de fluido en la tubería, esa pérdida de presión por unidad de longitud se conoce como gradiente, este aumenta por las paradas que realiza la bomba este se calcula mediante el perfil topográfico del terreno y la línea calculada para el gradiente; también se puede expresar de la siguiente manera

$$i = \frac{\Delta h}{L}$$

i= Gradiente hidráulico

Δh = Pérdida de carga entre dos puntos

L= Distancia entre los dos puntos

4. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

Para el desarrollo de la práctica se tomó en cuenta cuatro etapas, primero exploración bibliográfica, segunda descripción de equipos y recopilación de requerimientos, tercero alternativas de diseño y por último Listado de equipos existentes, estas etapas permiten un progreso mejorado de la actividad y llevar un proceso ordenado; a continuación, se describen detalladamente cada una.

4.1. Exploración bibliográfica

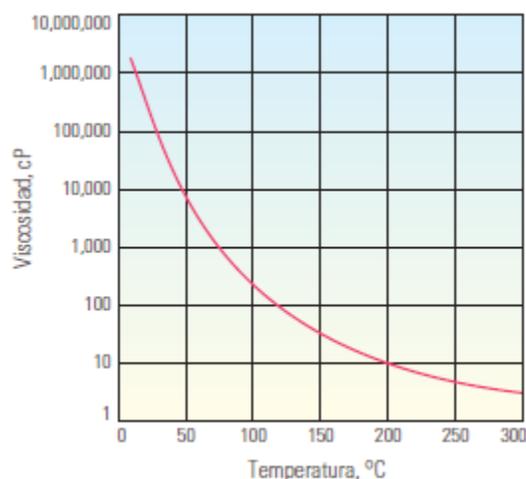
4.1.1 Sistemas de homogenización

Se realiza revisión bibliográfica sobre sistemas de homogenización de crudos allí se encontró que los sistemas de homogenización son necesarios para obtener estudios de muestras de crudo óptimos, su inestabilidad es dada por factores que afectan la homogenización de los crudos, como la relación de las corrientes y falta de tiempo para el mezclado; también se describe los componentes necesarios para realizar el proceso de homogenización y mezclado, dichos componentes son tanques para almacenamiento de materia prima, bomba de extracción, mezclador estáticos, mezclador dinámico y sistemas de intercambio de energía (Forero & Cuadrado, 1996).

4.1.2 Tipos de crudos y sistemas de calentamiento.

Para la selección de los diferentes activos se debe conocer qué tipo de crudos se va analizar, actualmente se conocen varios tipos como livianos, pesados, extrapesados que se diferencian por sus propiedades físicas como la viscosidad, temperaturas y presión de trabajo, uno de los factores más importantes es la viscosidad con esta se puede tener referencia de las demás, estos tipos de crudos se clasifican según la escala API por ejemplo un crudo liviano oscila entre 23.5° en adelante, un crudo pesado está entre 23.5° hasta 10° y un crudo extrapesado se considera de 10° a menor grado; la reducción de viscosidad en los crudos es muy importante porque permite trabajar con más comodidad la materia prima cada tipo de crudo maneja una relación temperatura-viscosidad pero todas tienden a la misma tendencia, a continuación se presenta una tabla de crudo pesado. (Felix et al., 2013)

Tabla 2 Relación de viscosidad-Temperatura del crudo pesado



Fuente: (Felix et al., 2013)

Con la anterior figura se determina que viscosidad del crudo se requiere trabajar para aplicar la temperatura necesaria, con esto se da entrada a los diferentes sistemas de intercambio de energía como los intercambiadores de calor por medio de resistencias eléctricas, serpentín que en su interior tienen un gas o líquido y chaqueta o encamisado, estos sistemas se pueden aplicar directa o indirecta al crudo; el sistema de calentamiento eléctrico se puede aplicar mediante dos métodos uno de ellos es introducir una bobina dentro de un cable que vaya desde el inicio del tanque hasta el final y el otro es que este se sujete por fuera del tanque, ambos métodos requieren cubrimiento total del fluido o tanque para un óptimo

calentamiento este método no es muy fiable ya que no se cuenta con componentes confiables (Karanikas et al., 2020).

El segundo sistema que se realiza por medio de serpentines es uno de los más utilizados a nivel de la industria petrolera, están diseñados para calentar fluido por convección, no requiere bobinas que traen aletas ocasionando puntos muertos o más conocidos como puntos calientes los cuales no se pueden controlar en cambio con los serpentines se controla con precisión alcanzando el 90% de eficiencia energética esto sucede porque el fluido o el gas que va en el interior del serpentín está recirculando (Urgència, 2017).

El tercer sistema de calentamiento es el enchaquetado se aplica en la mayoría de casos para tanques en posición horizontal, también son muy utilizados para agitación mecánica ya que si se requiere de un mantenimiento o limpieza frecuente del tanque sea fácil realizar el proceso y proporciona un nivel alto de transmisión energética estos dos ultimo sistemas son los más aplicados para tanques con agitación y mantienen la temperatura constante (SARASTI, 2015).

4.1.3. Agitadores

La agitación en tanques es necesaria porque esto permite que el calor transferido se encuentre homogéneo en todos los puntos del fluido, existen varios tipos de agitadores como los horizontales que se ubican en la parte inferior del tanque, los agitadores verticales son los más comunes a nivel industrial se encuentran en la parte superior de los tanques estos están compuestos por impulsores que dependen de la viscosidad a trabajar, hay tres tipos de impulsores como las palas, turbinas y hélices.

Los impulsores de palas giran en velocidades bajas y moderadas ya que se utilizan en fluidos de bajas densidades como sería un crudo tipo liviano, este tipo de componente hace que el fluido se mueva hasta las paredes del tanque y de arriba hacia abajo ocasionando que el fluido este en régimen laminar, los impulsores tipo hélice trabajan a altas velocidades en un rango de 1150rpm a 1750rpm con viscosidades moderadas como por ejemplo crudo pesado generando flujo turbulento y por ultimo las de turbina que su velocidad de trabajo es media.

4.1.4. Bomba de desplazamiento positivo

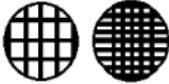
(Eléctrica, 2011) Son muy utilizadas para la industria petrolera ya que transportan fluidos de altas viscosidades como son los crudos extrapesados y pesados por ende

los livianos, con este tipo de bombas se mejora el rendimiento, la operación en los sistemas, resaltan por manejar caudales considerables y presiones altas, se consideran en el transporte de crudos de alta eficiencia comparadas con otro tipo de bombas.

4.1.5 Mezclador estático

(Zecua, 2016) Son dispositivos que se utilizan para la homogenización de fluidos y generar mezclas por medio de diferentes geometrías ubicadas en el interior de la tubería, el fluido pasa estas geometrías que cambian dependiendo del uso que se le vaya a dar, se encuentran diferentes tipos de mezcladores como abiertos de forma helicoidal, abiertos con hojas, platos corrugados, diseño multicapa y cerrados con hoyos con canales, pueden mezclar fluidos miscibles, multifásicos y con transferencia de calor, a continuación se relaciona la figura con las diferentes geometrías.

Tabla 3 Geometría de los mezcladores estáticos

Compañía fabricante	Modelo característico	País Fabricante	Mezclador	Vista seccionada de como realiza los cortes cada mezclador
Westfall	3050 Ultralow headloss otros modelos 2900, 2850, 28000	USA		
Sulzer	Tipo SMX, SMV, SMI	Winterthur Switzerland		
Koflow	Serie 275, Serie 276	Illinois Chicago	No disponible	
Kenics	KM, KMS, HEVMixers	Dayton Ohio		
Komax	Serie A, Serie M	Huntington beach California		
TPX	TPX static inline mixer	Gatwick United Kingdom		
Euromixer Primix ISG	Modelos varios no especificados	UK, Netherlands	No disponible	

Fuente: (Zecua, 2016)

4.1.6. Bomba mezcladora

(I. Martín, R. Salcedo, 2011) Las bombas centrifugas son utilizadas para realizar mezclado de fluido a un bajo costo, mejor operación y de fácil mantenimiento a diferencia de los mezcladores estáticos, se utilizan en la industria petroquímica por la variación de caudal, no generan pulsación en la línea de descarga, maneja un amplio rango de presiones y velocidades constantes.

4.2. Descripción de equipos y recopilación de requerimientos

4.2.1 Requerimientos de tanques

El diseño del cálculo del tanque de almacenamiento a presión atmosférica se basa en la norma estándar Api 650.

Tabla 4 Características de los tanques

Descripción	Volumen	Presion Max	Temperatura Max	Temperatura Min	Materiales	Espesor	Soldadura
TK 001, 002, 003, 004, 005	3 tanques de 30 L	Atm / 14,7 PSI	-28,8°C	93,3°C	Acero estructural ASTM A36	≤ 38mm	E-6010 E-7018
					Acero estructural ASTM A131 Grado A	< 12,7mm	E-6011
	Acero estructural ASTM A131 Grado B				< 25,4mm	E-6073	
	Acero estructural ASTM A131 Grado C				≤ 38mm	E-6073	
	2 tanques de 60 L						

Fuente: Autora

4.2.2. Requerimiento serpentín

Tabla 5 Características del serpentín

Descripción	Serpentin Helicoidal		
Temperatura Min	25°C		
Temperatura Max	100°C		
Presion de Operación	Atmosferica		
Material	ASTM A-53		
Tamaño de tubería	1 1/2"	2"	2 1/2"
Tiempo de Calentamiento	60min		
Diametro de la elice	20-80cm		
Altura de la elice	0,65*Altura del tanque		

Fuente: Autora

4.2.3. Requerimiento Agitador

Tabla 6 Características de agitador

Descripción	Viscosidad Max	Presion de operación	Temperatura de trabajo	Diametro del tanque	Altura del tanque	Fondo	Volumen de llenado
Rodete tipo turbina	10 ⁴	Atmosferica	0-100°C	0-1m	0-1m	Cilindrico	25L-50L

Fuente: Autora

4.2.4. Requerimiento bomba transporte de crudo

Tabla 7 Característica de bomba de desplazamiento positivo

Bombas de desplazamiento positivo	Presion	Viscosidad	Caudal
Reciprocante	<140 Atm	-	-
Tornillo	10-35bares	10000 cP	0,25-3400 m ³ /h

Fuente: Autora

4.2.5. Requerimiento de mezclador estático

Tabla 8 Características del mezclador estático

Descripcion	Diametro	Viscocidad	Caudal	Presion de trabajo	Material
Mezclador estatico	1"-16"	10000cP	0,25-3400 m ³ /h	10PSI	SAE-ANSI 304-316

Fuente: Autora

Figura 6 Mezclador estático



Fuente:(Mezcladores Estáticos Novatec Mixers® - Novatec Fluid System S.A., n.d.)

4.2.6. Requerimiento de bomba mezcladora

Tabla 9 Características de bomba mezcladora

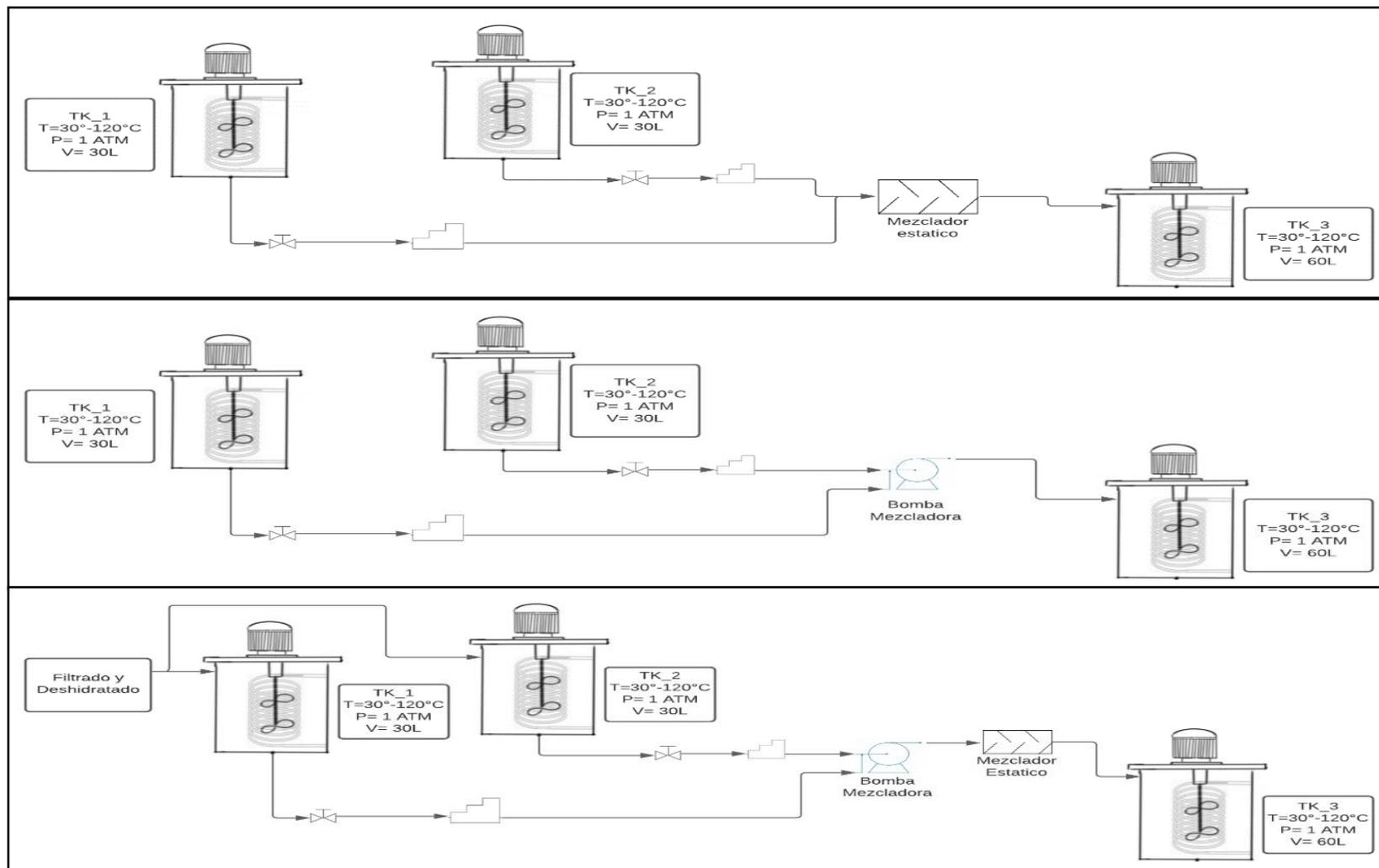
Descripcion	Caudal	Carga	Temperatura Max	Presion
Bomba centrifuga	Hasta 6360m ³ /h	107m	232°C	285PSIG
Bomba de bajo cizallamiento	57L/min	84m	-	8,4Bar

Fuente: Autora

4.3. Alternativas de diseño

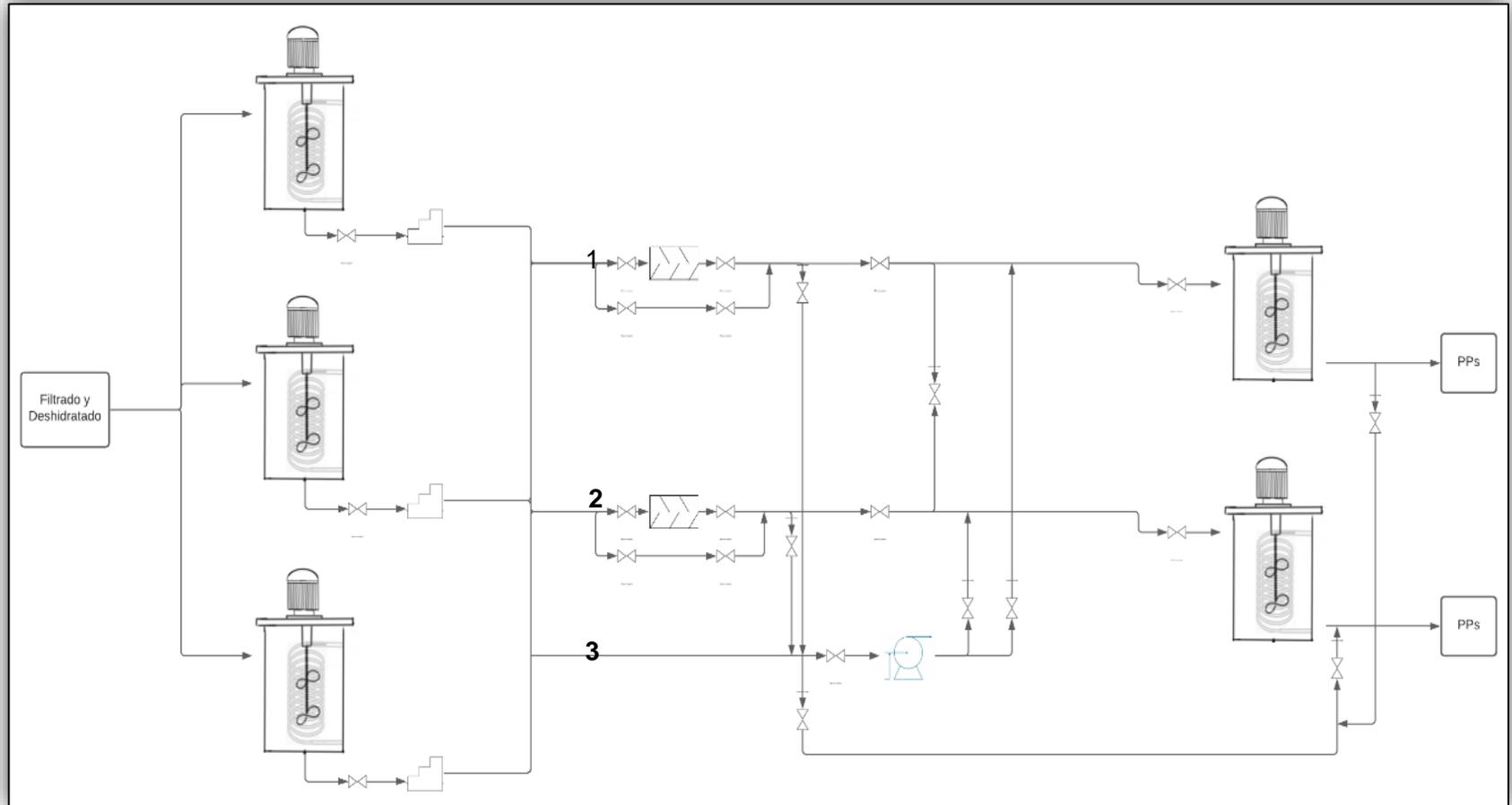
Primero se planteó tres alternativas teniendo en cuenta los requerimientos, en la primera se visualiza dos tanques con su respectivo agitador y sistema de calentamiento con crudos distintos estos pasan por una válvula que va a una bomba de desplazamiento positivo llevando los crudos a un mezclador estático allí se homogenizan y van al tanque de almacenamiento que también contiene sistema de calentamiento y agitación; el segundo contiene la misma estructura en tanques pero varia el dispositivo de homogenización por medio de una bomba mezcladora; el tercer sistema es la unión de los dos sistemas anteriores combinando bomba mezcladora con mezclador estático para dar más optimización al crudo.

Figura 7 Sistemas de homogenización 1, 2 y 3



Al realizar los sistemas anteriores se denota que no se tiene en cuenta de manera real el sistema número tres fue creado de manera ideal, por eso se plantea un sistema cuatro que contiene tres tanques con crudos diferentes, tiene tres bombas de desplazamiento positivo para transportar el crudo a líneas diferentes, la línea 1 y 2 pasa por un mezclador estático que se le añadió un bypass para realizar mantenimiento al dispositivo o si no se requiere que el crudo sea mezclado por este, de ahí se puede dirigir a dos tanques de almacenamiento de esta manera si se necesita que se realicen dos mezclas al tiempo, la línea tres va dirigida a una bomba mezcladora y de ahí pasa a los tanques de almacenamiento, las líneas 1 y 2 se pueden dirigir a la línea 3 realizando que el crudo pase por un mezclador estático y luego por la bomba mezcladora y finaliza en los tanque de almacenamiento, hay otra opción y es que cuando ya están en el tanque de almacenamiento el crudo vaya de nuevo o pase por la bomba para realizar recirculación y así tener una mezcla más optima.

Figura 8 Sistema de homogenización 4



Fuente: Autora

4.4. Listado de equipos existentes

Estos dispositivos fueron tomados del documento de especificaciones técnicas que lleva como título “CONSTRUCCION DE UNA PLANTA ESCALA PILOTO DE TRATAMIENTO DE BIODIESEL CON TIERRAS ADSORBENTES PARA REDUCIR COFACTORES PROMOTORES DE HAZE, PARA EL INSTITUTO COLOMBIANO DEL PETROLEO - ECOPELROL S.A Y QUE SERÁ MONTADA DENTRO DE LAS INSTALACIONES DE LA PLANTA DE ECODIESEL COLOMBIA S.A. EN BARRANCABERMEJA” y se pueden tener en cuenta para el diseño de la planta piloto para homogenización y mezclado de crudos pesados.

Tabla 10 Listado de componentes de la planta piloto existente

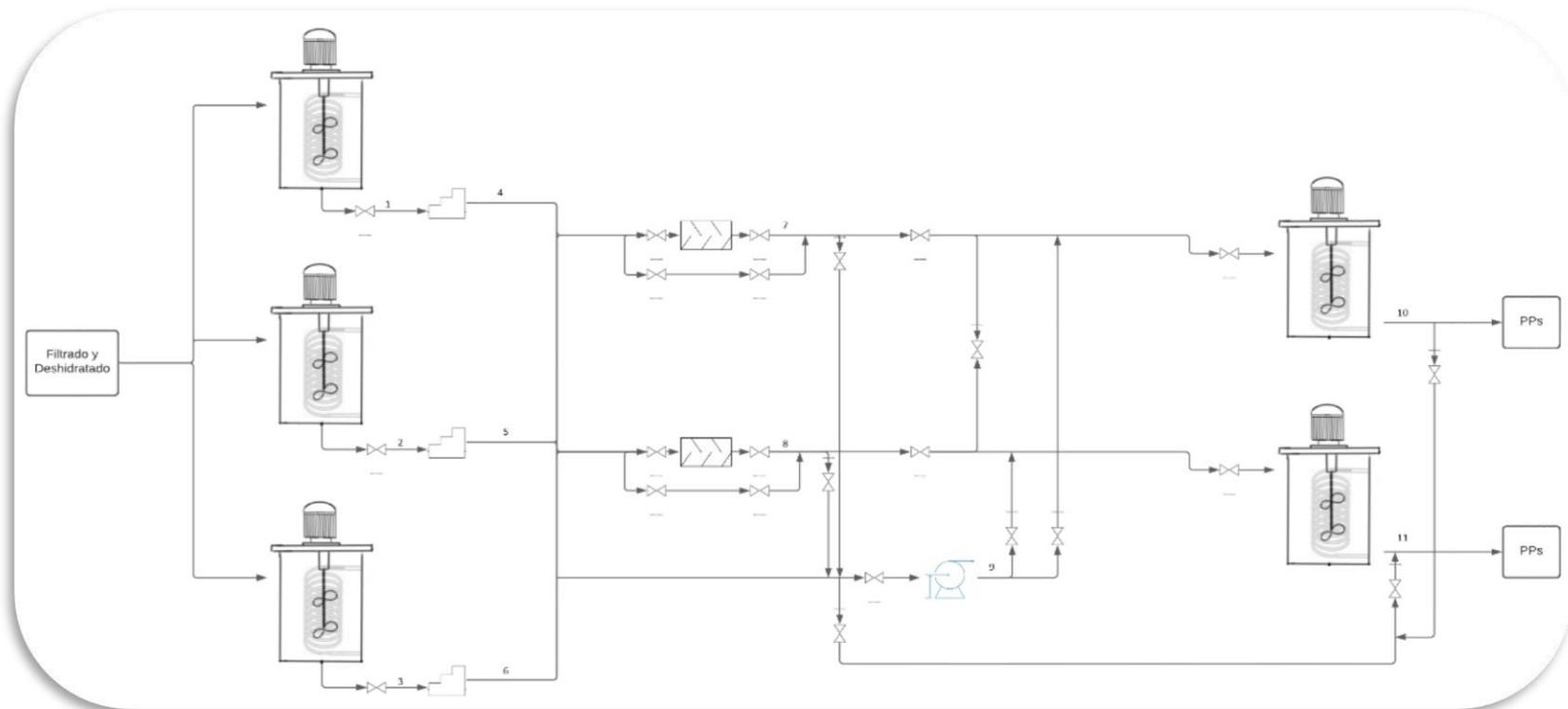
Descripcion	Volmen	Presion de operación	Material	Sistema de monitoreo llenado	Sistema de agitacion	Sistema de calentamiento	Caudal	Temperatura de operación
Tanque TK001	1000 L	14,7PSI	Acero Inoxidable T316SS	Si	si	Serpentin en Acero Inoxidable T316SS con 6 vueltas	N/A	120°C
Tanque TK002	22 L	14,7PSI	Acero al carbón XAR 400® con acabado SandBlasting	Si	si	Serpentin en Acero Inoxidable T316SS con 5 vueltas	N/A	120°C
Tanque TK003	80 L	50 mm Hg	Acero al carbón AISI 1020	Si	si	Serpentin en Acero Inoxidable T316SS con 7 vueltas	N/A	120°C
Tanque TK004	35 L	14,7PSI	Acero al carbón AISI 1020	No	No	No	N/A	N/A
Bomba dosificadora Slurry	N/A	90PSI	Acero Inoxidable	N/A	N/A	N/A	0,04-0,50 L/Min	120°C
Bomba de alimentacion	N/A	90PSI	Acero Inoxidable	N/A	N/A	N/A	1-5 L/Min	120°C
Bomba de succion / alimentacion	N/A	125PSI	Acero Inoxidable	N/A	N/A	N/A	1-5 L/Min	120°C

Fuente: Autora

5. RESULTADOS

Después de conocer los componentes que se deben utilizar para la homogenización y mezclado de crudos, proponer cuatros sistemas de homogenización en donde se seleccionó el ultimo sistema que se asemeja a la industria, se plantea el sistema con las diferentes variables que afectan las 11 corrientes, como presión, caudal, viscosidad y otras, esto puede ayudar u orientar al diseñador a realizar el respectivo diseño en 3D y facilitar los cálculos pertinentes.

Figura 9 Identificación de corrientes en el sistema de homogenización



Fuente: Autora

Tabla 11 Variables que afectan las corrientes

Descripción	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Viscosidad (cP)	<10000	<10000	<10000	<10000	<10000	<10000	<10000	<10000	<10000	<10000	<10000
Temperatura (°C)	25-100	25-100	25-100	25-100	25-100	25-100	25-100	25-100	25-100	25-100	25-100
Presion (PSI)	14,7	14,7	14,7	90	90	90	70	70	<285	14,7	14,7
Caudal (m³/h)	-	-	-	0,25-3400	0,25-3400	0,25-3400	-	-	3,42-6360	-	-
Flujo	-	-	-	Turbulento	Turbulento	Turbulento	Turbulento	Turbulento	Turbulento	-	-

Fuente: Autora

6. CONCLUSIONES

- Cuando se realiza investigación o revisión bibliográfica es muy importante extraer de fuentes confiables como las revistas, artículos científicos, repositorios académicos con la certeza que la información brindada sea verdadera dando confianza a los posibles proyectos que se realicen con este documento.
- Es importante conocer que elementos se necesitan para organizar un proceso o sistema, que características predominan, elementos de preselección, variables que afectan el funcionamiento del mismo y así generar los requerimientos, claros y concisos.
- Para realizar bocetos se debe conocer las distintas herramientas de dibujo como Sketchbook es de fácil manejo gracias a su interface didáctica, permite crear dibujos en 2D, se complementa con un diagramador en línea que se accede a varias funciones como las flechas que indican la trayectoria de las corrientes.
- En el momento en que se tiene los elementos a usar y requerimientos de los dispositivos se hace necesario plantear que variables afectan las diferentes corrientes del sistema para dar paso a los dispositivos que se pueden reutilizar de la anterior planta.

7. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar el diseño en 3D para tener más cercanía a los dimensionamientos de la planta piloto, poder realizar los cálculos pertinentes, seleccionar los equipos necesarios para un óptimo proceso y por último se recomienda realizar un análisis hidráulico para conocer los diferentes dimensionamientos de las tuberías y válvulas.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aranda, R. (2016). *Métodos para el transporte de aceites pesados y extra-pesados*. 99. www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/14847/Tesis.pdf?sequence=1%0D
- Belyadi, H., Fathi, E., & Belyadi, F. (2017). Hydraulic Fracturing Chemical Selection and Design. *Hydraulic Fracturing in Unconventional Reservoirs*, 107–120. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-849871-2.00008-3>
- Camacho Briones, C., & Cámara Mendoza, J. R. (2014). Evaluación De Las Tecnologías Aplicadas Al Transporte De Crudo Pesado En Tuberías. *Universidad Nacional Autónoma De México*, 61(3), 139–161.
- Cengel, Y. A. (2007). *Transferencia de calor y masa* (M. Toledo, R. Bosque, P. Roig, A. Delgado, & Z. Garcia (eds.); McGRAW-HIL).
- Cotos, R. (2019). Mecánica de fluidos. Impulsión de fluidos. *Mecánica De Fluidos*, 1–623. <http://repositorio.uladec.edu.pe/handle/123456789/>
- Eléctrica, M. Y. (2011). *Innovacion tecnologica en sistemas de bombeo para fluidos de alta viscosidad*.
- Felix, J. J., Bremner, C., Brough, B., Baker, A., Pattison, K., Brown, G., Hathcock, R., Koerner, K., Hughes, T., & Cárdenas, J. L. De. (2013). La importancia del petróleo pesado. *Oilfield Review*, 18, 38–59. <https://www.slb.com/-/media/files/oilfield-review/heavy-oil-3-spanish>
- Forero, J. E., & Cuadrado, C. E. (1996). *SISTEMA DE HOMOGENIZACIÓN Y CONTROL DE VISCOSIDAD DEL COMBUSTÓLEO*. 1, 77–85.
- I. Martín, R. Salcedo, R. F. (2011). *MECÁNICA DE FLUIDOS Tema2. Impulsión de fluidos*. 1–64.
- Jimenez, A., Tecnológico, I., & Rica, D. C. (2015). *Transferencia de calor* [Instituto Tecnológico de Costa Rica]. [https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10176/Trasferencia de calor.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10176/Trasferencia%20de%20calor.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Karanikas, J. M., Guillermo, P., & Scott, P. (2020). Downhole electric heating of heavy-oil wells. *CTyF - Ciencia, Tecnología y Futuro*, 10(2), 61–72. <https://doi.org/10.29047/01225383.273>
- Mezcladores Estáticos Novatec Mixers® - Novatec Fluid System S.A.* (n.d.). Retrieved October 29, 2021, from <https://novatecfs.com/productos/mezcladores-estaticos/>
- Montesdeoca Espín, D. E., & Apunte Arico, M. I. (2015). *Diseño térmico de intercambiadores de calor para crudos a manejar en una central de bombeo* [Universidad Central de Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/6840>
- Oñate, J., & Rodríguez, R. (2012). *EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE TRANSPORTE DE CRUDO PESADO POR TUBERÍAS: CASO APLICADO AL*

- CAMPO RUBIALES** [Universidad Industrial de Santander].
<https://docplayer.es/22443047-Evaluacion-de-las-alternativas-de-transporte-de-crudo-pesado-por-tuberias-caso-aplicado-al-campo-rubiales.html>
- Parise, C. K., Pinto, F., Aravéquia, J. A., Ribeiro, B. Z., Dutra, L. M. M., Loureiro, R. N. A., Abreu, E. X. de, Silva, M. V. da, Reboita, M. S., Teodoro, T. A., Assunção, V., Fecilcam, D. G., Uem, F., Estadual, U., Silveira, L., & Cruz, A. P. S. (2016). Analisis de las variables que intervienen en el diseño de oleoductos para el transporte de crudos pesados. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 11(9), 141–156. [http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS - RJ/RBG/RBG_v57_n1.pdf%0Ahttps://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/234295](http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS-RJ/RBG/RBG_v57_n1.pdf%0Ahttps://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/234295)
- Petroleum Technology Alliance Canada (PTAC). (2015). *Needs Assessment for Partial and Field Upgrading*. 15.
- Piloto, D. E. C. A. E. (2013). Cfd Simulation of Crude Oil. *Cfd Simulation of Crude Oil*, 5, 19–30. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-53832013000100002
- Ranald, V. G., Jack, B. E., & Cheng, L. (2003). *Mecanica de los fluidos e hidraulica* (M. J. Norte (Ed.); McGraw-Hil). https://www.academia.edu/36313710/Mecanica_de_los_Fluidos_e_Hidraulica_Tercera_Edicion_Ranald_V_Giles_Jack_B_Evett_Cheng_Liu_pdf
- SARASTI, C. A. (2015). CÁLCULO Y DISEÑO DE PLANTA PILOTO PARA LA OBTENCIÓN DE FORMIATO DE POTASIO COMO FLUIDO DE PERFORACION _____ *Ekp*, 13(3), 1576–1580.
- Universidad Tecnológica de Chile. (2007). *Unidad de Aprendizaje N ° 3: Análisis de Flujo Incompresible en Conductos*. 15, 1–9. <http://www.inacap.cl/web/material-apoyo-cedem/profesor/Construccion/Mecanica-de-los-Fluidos/G04Mecanica-de-los-Fluidos-Viscosidad.pdf>
- Urgència, I. T. D. (2017). *Optimizacion del transporte de crudo pesado mediante la implementacion de un sistema de calentamiento de fluido*. 1–23.
- Zecua, P. (2016). *DISEÑO DE UN MEZCLADOR ESTÁTICO QUE PERMITIRÁ PRODUCIR UNA MEZCLA DE COMBUSTIBLES EN EL AICM*.