

**PLAN DE OPTIMIZACIÓN EN EL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN DE CRUDO
INSTALANDO TANQUE DE ALTA EFICIENCIA PARA EVITAR EL CONSUMO DE
ENERGÍA EN LA PLANTA PLTC.**

INFORME TÉCNICO

**UNIVERSIDAD EAN
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE PROYECTOS
SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN**

AUTORES

HERNAN CAMILO MORA MORALES

SEBASTIAN GARAY CORTÉS

MANUEL DAVID LARA CORREA

BOGOTÁ, 2020

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN		6
INTRODUCCIÓN		7
1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
1.1	Antecedentes del problema	9
1.2	Descripción del problema	10
2	OBJETIVOS	12
2.1	Objetivo general	12
2.2	Objetivos específicos	12
3	JUSTIFICACIÓN	12
4	MARCO TEÓRICO	13
4.1	Gerencia de proyectos	13
4.2	Definición de proceso	14
4.3	Optimización	15
4.4	Deshidratación y desalado de crudo.....	17
4.5	Proceso de deshidratación y desalado en PLTC	20
4.6	Eficiencia Energética	22
4.7	La eficiencia energética en facilidades de producción de una planta de hidrocarburos	22
5	MARCO CONTEXTUAL.....	23
5.1	El sector petrolero en Colombia.....	23
6	DISEÑO METODOLÓGICO	24
6.1	Tipo de investigación	24

6.2	Alcance.....	25
6.3	Definición conceptual de variables.....	26
6.3.1	La energía eléctrica.....	26
6.3.2	Gas combustible.....	27
6.3.3	Petróleo crudo.....	27
6.3.4	Definición operacional de las variables.....	28
6.4	Diseño metodológico.....	29
7	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
7.1	Variables a tener en cuenta para la optimización.....	30
7.1.1	Instrumentos para recolección de información.....	30
7.1.2	Medición de variables.....	31
7.2	El proceso actual en PLTC.....	32
7.2.1	Deshidratación y desalado de crudo.....	32
7.2.2	Operación Plantas y Estaciones.....	37
7.2.3	Mantenimiento:.....	38
7.2.4	Consumo total de energía PLTC.....	40
7.3	Análisis de tecnologías más eficientes.....	43
7.3.1	Tratadores termoelectrostáticos.....	43
7.3.2	Recipiente tipo tanque atmosférico Gun Barrel.....	45
7.3.3	Recipiente tipo tanque atmosférico de alta eficiencia.....	47
7.4	Propuesta de optimización en la planta PLTC.....	50
7.4.1	Estructura de Trabajo (EDT) para la optimización del proceso de deshidratación de crudo en la planta PLTC.....	58

7.4.2 Cronograma de Actividades.....	61
CONCLUSIONES	63
RECOMENDACIONES.....	64

Lista de Figuras

Figura 1. Separador de gravedad trifásico horizontal	18
Figura 2. Etapas de ruptura de emulsión de agua en petróleo crudo	20
Figura 3. Esquema de horno de calentamiento de crudo	32
Figura 4. Esquema de Tratador Termoelectrostático	34
Figura 5. Deshidratador electrostático	44
Figura 6. Esquema de tanque Gun Barrel y distribuidor interno	46
Figura 7. Diseño apropiado para la entrada de fluido mediante un distribuidor interno en un tanque atmosférico con agujeros pequeños en el mismo.	48
Figura 8. EDT Propuesta Optimización Proceso de Deshidratación de crudo en PLTC.....	60
Figura 9. Cronograma de Actividades	62

Lista de Tablas

Tabla 1. Consumo de Energía y Gas Combustible en los Hornos de precalentamiento de Crudo de PLTC	33
Tabla 2. Consumo de energía eléctrica y gas natural proceso de deshidratación y desalado de crudo.....	35
Tabla 3. Costo de consumo de energía eléctrica y gas natural	35
Tabla 4. Costo Total de producción de crudo diaria en PLTC (COP).....	36
Tabla 5. Relación costo energético vs barriles producidos diarios.....	36

Tabla 6.	Especialidad: operación de plantas y estaciones perfiles calificados	37
Tabla 7.	Especialidad: mantenimiento de plantas y estaciones perfiles calificados.....	38
Tabla 8.	Consumo de energía eléctrica y gas combustible equipos de planta PLTC	40
Tabla 9.	Costo de consumo de energía eléctrica y gas natural en planta PLTC.....	43
Tabla 10.	Posibles tecnologías para implementar en la planta PLTC	50
Tabla 11.	Conducta de Tecnologías para implementar en PLTC.....	51
Tabla 12.	Análisis competitivo de acuerdo con el impacto para las tecnologías a implementar en PLTC.....	52
Tabla 13.	Matriz de Perfil Competitivo para las tecnologías a implementar en PLTC.....	53
Tabla 14.	Pronóstico de costo de consumo de energía eléctrica y gas sistema de tratadores.....	55
Tabla 15.	Pronóstico de costo de mantenimiento sistema de tratadores.....	56
Tabla 16.	Pronóstico de costo de mantenimiento tanque alta eficiencia	57
Tabla 17.	Resumen de ahorro de costos con instalación del tanque de alta eficiencia.....	58

RESUMEN

El presente Informe Técnico presenta de manera detallada el planteamiento del problema, marco teórico, marco contextual considerando el sector petrolero, tipo de investigación, alcance del proyecto, definición de variables enfocadas al consumo energético en la planta, diseño metodológico para el desarrollo de la propuesta junto con la respectiva sección que recopila los resultados, con base en los hallazgos encontrados frente la viabilidad respecto a la instalación de un tanque de alta eficiencia en la planta PLTC que permita ahorrar recursos bajo un enfoque sostenible.

El lector encontrará en el cuerpo del trabajo, razones que sustentan por qué se hace importante realizar una propuesta de mejora en el proceso actual de deshidratación y desalado de crudo en la planta PLTC. Es por esto, que al revisar el actual consumo energético en la planta, se abordan posibles soluciones que dan pie a mejorar al proceso en términos de eficiencia y se llegó a la conclusión de realizar la propuesta de mejora con base en la instalación de un tanque de alta eficiencia, al contar con el respaldo suficiente para ser catalogada como la opción más óptima dentro del alcance de la investigación y las tecnologías que se revisaron en este documento.

Palabras clave: Eficiencia energética, deshidratación, desalado, optimización, tratamiento de crudo.

INTRODUCCIÓN

El tema principal de la investigación del presente texto gira en torno al sector de hidrocarburos y por tanto, se hace pertinente enfocar la gerencia de proyectos hacia este ámbito, considerando la importancia que tiene este sector en un país como Colombia. Es por esto, que aunque los proyectos del sector están caracterizados por el alto nivel de complejidad y a su vez, cuentan con una barrera de entrada significativa en materia de inversión, el objetivo es abordar los diferentes conceptos tales como: proceso, optimización, eficiencia, deshidratadación de crudo, entre otros, que permitan dar a entender la relevancia y viabilidad del proyecto en materia de la propuesta que se plantea para un ahorro significativo de recursos mediante la instalación del tanque de alta eficiencia en la planta PLTC.

La investigación de esta problemática surge de la necesidad de ahorrar recursos por motivos que trascienden más allá de simplemente un ahorro en términos monetarios, al contemplar el impacto tan relevante que se puede alcanzar en el escenario en que se logre reducir costos en materia de daños ambientales y a su vez estar en búsqueda de reducir la afectación en este tópico con la que actualmente cuenta la industria.

Tanto en el ámbito profesional como académico se hace relevante al conocer las tecnologías que se están implementando en los diferentes lugares con el fin de actualizar y estar en búsqueda de constante de innovación para generar la mayor eficiencia posible bajo el principio lógico de realizar más con menos.

El desarrollo del trabajo consistió en presentar de forma detallada el marco teórico para la investigación que se plantea con respecto al plan de optimización mediante un tanque de alta eficiencia en el proceso de deshidratación de crudo en la planta PLTC, así como conceptos relevantes que permitan entender en qué consiste la eficiencia dentro del ámbito de la gerencia

de proyectos, así como la optimización y dar un entendimiento del sector petrolero en Colombia que le permita al lector contar con la información suficiente para entender la problemática desde una perspectiva global.

Una vez se brinda el contexto del tema en cuestión se define el tipo de investigación junto con su respectivo alcance y las definiciones necesarias para precisar sobre el tema y así, se logra identificar las variables a analizar junto con el respectivo diseño metodológico que permite crear una estructura definida para la medición de la energía eléctrica, gas combustible y petróleo crudo como aquellos factores relevantes para abordar la búsqueda de las tecnologías que pudiesen adaptarse en función de alcanzar la mayor eficiencia posible.

Una vez se hace una revisión conceptual de las tecnologías encontradas se procede a realizar una matriz que al medir algunos de los conceptos más relevantes permita establecer cuál es la mejor opción mediante un esquema de calificación creado para tal fin y llegar a la opción más óptima.

Finalmente, al encontrar aquella opción que resulta ser más eficiente se realiza una proyección de costos que permite dar cuenta del ahorro proyectado a 20 años realizando una comparación directa del ahorro en términos de costos con la nueva tecnología con respecto a seguir utilizando la misma tecnología. De tal forma que al definir la viabilidad en materia de costos, se presenta un cronograma que permite dar un entendimiento más completo de aquellas actividades que deben contemplarse al detallar la propuesta, considerando el enfoque de propuesta de mejora bajo la gerencia de proyectos.

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes del problema

En la industria de Oil & Gas, una de las principales tareas es la separación de fluido en el momento en que se extrae el petróleo de los yacimientos. Una vez es extraído, contiene diferentes compuestos como agua, crudo, gas y otros minerales que deben separarse para mejorar su transporte y tratamiento.

La separación del petróleo y el agua es una de las tareas más complejas en la industria y se remonta hasta las primeras etapas de refinamiento del petróleo para producir sus derivados. El petróleo crudo que llega a las refinerías contiene muchos compuestos indeseables, tales como, lodos, polímeros, sales, agua y subproductos de la corrosión, entre otros. El propósito de la deshidratación y desalación del petróleo crudo es eliminar estas impurezas, especialmente sales y agua, del petróleo crudo. antes de la destilación (Enggcyclopedia, 2012).

Los sistemas actuales de deshidratación y desalado de fluidos emulsionados utilizan en su mayoría, sistemas de tratadores termoelectrostáticos, los cuales realizan la tarea de separación de fluidos en un corto periodo de tiempo aunque se incurre en un alto consumo de energía en dicho proceso. “En estudios realizados en diferentes centros de investigación sobre las características hidráulicas de los separadores de emulsiones crudo agua y la correlación de estos patrones de flujo con la efectividad del separador, se ha encontrado que los patrones de flujo que generalmente se producen en los separadores de sistemas crudo-agua en los campos de producción son muy pobres” (Jorge Enrique et al., 2011, p.2). Con base en lo anterior, se propone entonces, un plan de optimización para el proceso de deshidratación y desalado de crudo con un tanque de alta eficiencia.

1.2 Descripción del problema

Dentro de la industria de tratamiento de hidrocarburos se presentan dificultades con respecto al manejo de los fluidos. En este caso se abordará la problemática de la acumulación de sales y agua en crudos previo envío a refinería donde se evidencia el uso de tratadores termoelectrostáticos para la deshidratación del fluido, donde se consume gran cantidad de energía.

Dadas las condiciones de confidencialidad, para el presente documento identificaremos la planta donde se pretende el desarrollo del proyecto como PLTC (Planta de Tratamiento de Crudo). Dentro de la PLTC, se encuentran instalados dos (2) hornos de precalentamiento de crudo y cuatro (4) tratadores termoelectrostáticos que manejan el crudo que se produce en el campo al cual pertenece esta planta, el crudo que llega a los tratadores es deshidratado y enviado posteriormente a la refinería. Según el departamento de producción de la empresa, este año se espera un aumento de la producción, lo cual se traduce en un aumento en la producción de barriles de crudo que llegan a la planta PLTC y por ende, se requiere ampliar el sistema de tratamiento.

Sin embargo actualmente la planta está consumiendo energía en este proceso, debido al uso de tecnologías de la industria oil & gas, que a pesar de que se han modernizado en los últimos años siguen generando altos costos de tratamiento, lo cual se traduce a su vez en costos de producción mucho más altos y por ende menor utilidad.

Este trabajo de investigación estará enfocado en la realización de una propuesta de optimización para el reemplazo de tratadores termoelectrostáticos, por una tecnología más eficiente que supla las necesidades de manejo del fluido y que cumpla con las características fisicoquímicas para envío de crudo a refinería. Es así como el proyecto se hace relevante en

medida que genera un ahorro en términos de costos y por lo tanto, es un proyecto orientado a la sostenibilidad de la empresas del sector de hidrocarburos al traer consigo beneficios principalmente de tipo económico y ambiental al reducir la energía requerida en el proceso de deshidratación de crudo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Proponer el plan de optimización del proceso de deshidratación de crudo en la planta PLTC con la instalación de tanque de alta eficiencia reduciendo el continuo consumo de energía.

2.2 Objetivos específicos

- Identificar las variables requeridas para la optimización del proceso.
- Analizar el proceso actual de deshidratación de crudo en la planta PLTC, cuantificando el consumo de energía.
- Realizar la propuesta de optimización del proceso de deshidratación de crudo mediante la instalación de un tanque de alta eficiencia en la planta PLTC.
- Formular el cronograma de trabajo para la optimización del proceso de deshidratación de crudo en la planta PLTC.

3 JUSTIFICACIÓN

El proyecto se hace relevante en la medida que busca mejorar la eficiencia al interior de plantas de procesamiento de crudo. Por lo tanto, se pretende explorar un tratamiento diferente al implementado actualmente con tratadores termoelectrostaticos con el fin de evitar el consumo de energía y reducir los gases de efecto invernadero dentro del proceso de deshidratación de crudo. Es un documento cuyo campo de investigación es el Emprendimiento y Gerencia, grupo de Dirección y Gestión de Proyectos bajo la línea de investigación e Gestión de proyectos,

Estrategía y Competitividad. Debido a que la temática del presente documento está enfocada en el sector de hidrocarburos, se torna aún más relevante considerando la importancia que tiene dicho sector en Colombia y más aún si puede traer consigo una reducción en costos de energía en medida que puede ser una base teórica que ayude al sector a nivel nacional a tener mejores prácticas y así lograr una eficiencia que resulte en mejores resultados para las diferentes empresas que hacen parte de este sector.

La gerencia de proyectos brinda herramientas para planear, ejecutar y controlar las actividades que se pretenden desarrollar dentro de una organización, logrando así tomar las mejores decisiones en pro de realizar una mejora continua en busca de beneficios económicos bajo un enfoque de sostenibilidad. Por tanto, la optimización del proceso de deshidratación de crudo es un proyecto que le permite a la organización alcanzar un mayor grado de eficiencia. Posteriormente, con los resultados obtenidos en la investigación se pretende relacionar los costos tanto monetarios como ambientales en los que está incurriendo la planta PLTC para el proceso de deshidratación de crudo y cómo se puede corregir esta tendencia con una mejora de menor costo tanto de operación como de mantenimiento.

4 MARCO TEÓRICO

4.1 Gerencia de proyectos

En la actualidad se podría afirmar que en todas las industrias, sin excepción alguna, se debería estar en búsqueda constante de la mayor eficiencia posible para las diferentes actividades que llevan a cabo, sin importar el sector o segmento de mercado en que se encuentren operando. Considerando a su vez muchos factores que están en juego, se puede dar el caso en donde se llegue a desestabilizar una empresa a raíz de la pandemia y es allí en donde cobra importancia el

control que se lleva sobre los diferentes recursos para lograr mejorar dicha eficiencia mediante la implementación de proyectos que así lo logren.

Existen muchas aproximaciones sobre el concepto puntual de proyecto, sin embargo, al explorar el estándar que plantea el Project Management Institute a través del Project Management Body of Knowledge, se define como un aquel esfuerzo temporal el cual es llevado a cabo para la creación de un producto, servicio o resultado único. Es así como respectivamente, la naturaleza temporal de los proyectos implica que un proyecto tiene un principio y un final definidos (PMI, 2013).

Una vez definido el concepto de proyecto, es importante señalar que se busca generar una mayor eficiencia que permita mejorar el proceso que deshidratación de crudo en la planta PLTC, sin embargo, se debe considerar la definición acerca de qué es un proceso y en qué medida puede ser un punto clave para generar una propuesta que permita mejorar las condiciones actuales de eficiencia.

4.2 Definición de proceso

Un proceso puede ser definido como aquella secuencia de actividades que se encuentran relacionadas de forma lógica y cuando son tenidas en cuenta como un grupo, logran crear una salida en términos de aquellas metas y objetivos del proceso en mención. Por otra parte, define las interacciones o acciones secuenciales, mediante las cuales se logra la transformación de unos insumos hasta obtener un producto con las características previamente especificadas, de acuerdo con los requerimientos del cliente o grupo de interés interno o externo de la entidad pública que lo requiera (Alvarez, 2007).

Así mismo, el proceso también puede ser conceptualizado como un “Conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que interactúan” (Puin Lamus, 2016, p. 8), por tanto será

relevante, en medida que la mejora en la eficiencia de una empresa puede ser vista como la reducción de costos sin afectar la calidad del producto o servicio que se está brindando, considerando que en el proyecto en cuestión, el tema gira en torno al proceso de deshidratación del crudo.

Por otro lado, es importante definir el proceso como aquel que puede dictar o demarcar pasos en trabajo realizado, al igual que su orden y cómo estos se comunican entre sí. Es decir, define el flujo de control y el flujo de datos entre pasos. (Bernstein y Newcomer, 2009).

Cuando se define qué se considera como proceso, en su conjunto es claro que se debe ahondar aún más en qué pasos se deben seguir o de igual forma qué puede ser contemplado al momento de llevar a cabo un proceso de optimización que conlleve a un ahorro o que a su vez traiga consigo una reducción de costos y finalmente genere mayores niveles de eficiencia.

4.3 Optimización

Para alcanzar dicho objetivo, es claro que se debe realizar ciertos ajustes o cambios los cuales se traduzcan en una mejora y precisamente alcanzar una optimización. Dicho concepto se puede definir como el hecho de realizar lo máximo posible con los menores recursos disponibles y así mismo, el propósito de la optimización puede estar dado como alcanzar “lo mejor” en términos de un diseño relativo en cuanto a un conjunto de datos priorizados o en su defecto, restricciones específicas (Kelley, 2010, p. 3)

Es importante resaltar que la optimización está en búsqueda constante de la eficiencia, considerando que “podríamos calificar de «eficiencia estática» y que sería aquella que consiste en la buena gestión de los recursos disponibles (o «dados») tendente a evitar su despilfarro”. (De Soto, 2010, p. 3) y así lograr llevar a cabo los diferentes procesos mediante el menor uso posible de recursos sin comprometer la calidad del producto o servicio que se está prestando.

Por otro lado,

El D.R.A.E, define Optimización a partir del vocablo Optimizar, y éste último lo precisa como: acción y efecto de optimizar. Así entonces, este verbo refiere a la búsqueda de “el mejor modo” de realizar una tarea, actividad, labor o encargo. Es por eso que esta expresión es de las que más rápidamente incorporamos en nuestro lenguaje aun cuando su comprensión auténtica la valoremos posteriormente. (Escalante Delmar, 2019, p.44).

Así mismo, optimizar se puede concebir como una manera de mejorar una acción o trabajo realizado, con el fin de comprender que la optimización de recursos es la mejor forma de lograr generar mejores resultados en las diferentes compañías a lograr una mayor eficacia y por tanto esto se traduce en hacer mejor las cosas con los mismos o menos recursos (Jiménez Guerra, 2017).

Considerando estas aproximaciones, se puede afirmar que una optimización se puede dar en tanto se logre realizar un conjunto de pasos o tareas que conlleven a la mejora de un proceso. Es así, como existen diferentes formas de abordarlo con el fin de alcanzar una mejora de eficiencia e incluso mediante diferentes métodos. Como ejemplo, tenemos que incluso un modelo simple de optimización lineal puede ayudar de sobremanera en la planeación de cualquier proceso ya que puede traer consigo ahorros relevantes para una empresa y por tanto aumentar la competitividad en la industria a la que pertenece. (Jablonsky Skocdopolova, 2017)

Es así como se deben buscar las diferentes estrategias y metodologías que permitan un proceso de optimización, considerando que el éxito de las empresas de hoy está atado a la eficiencia y eficacia de sus procesos centrales. La importancia de esto ha sido reconocida en la investigación, lo que lleva a una gran cantidad de sofisticadas técnicas de análisis y optimización de procesos. (Niedermann y Schwarz, 2011)

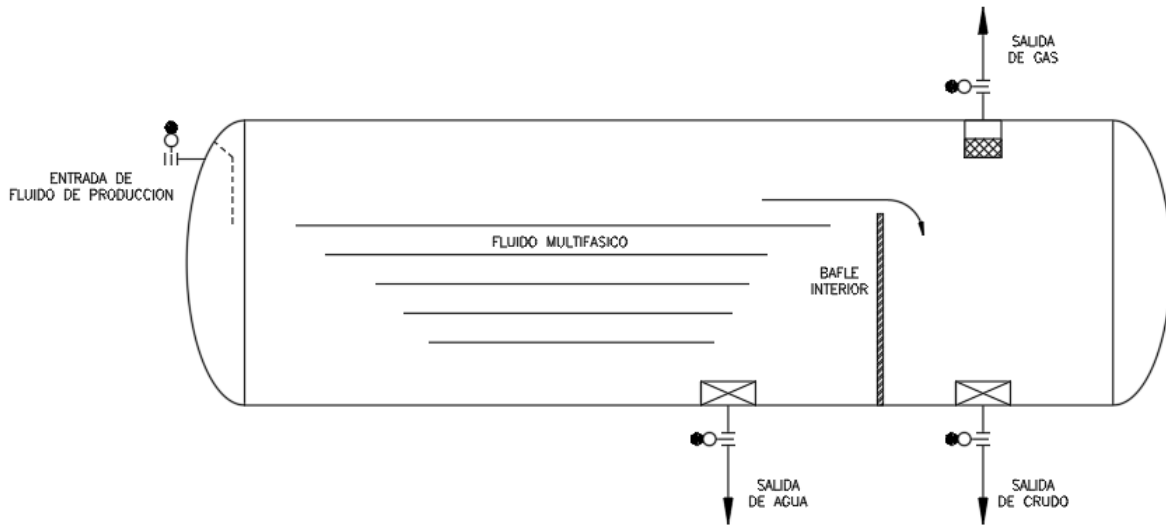
4.4 Deshidratación y desalado de crudo

Antes del proceso de deshidratación y desalación de crudo, objeto de este trabajo de investigación, se debe exponer de forma general las fases de manejo de fluidos en los campos petroleros. Este documento está enfocado principalmente en la propuesta de optimización de deshidratación de crudo para la planta PLTC.

El fluido de producción, recién extraído de los yacimientos contiene una mezcla de gases, sales, agua, petróleo y otros componentes que se encuentran bajo tierra. En el momento que el fluido llega a la superficie, se transporta por medio de redes de tuberías hasta estaciones de producción en donde se realiza la primera separación de fases, utilizando sistemas de separadores trifásicos (ver Figura 1) (Douglas L. Erwin, 2014) y otros sistemas adicionales.

Este fluido de producción se separa en grandes cantidades de agua, crudo y gas. El agua producida o agua libre se trata posteriormente y luego se inyecta en pozos de disposición o en pozos de inyección para extraer más fluido de producción. El gas producido se envía a sistemas de limpieza de gas y posteriormente se usa para generación eléctrica u otros usos en donde finalmente el crudo es enviado por medio de bombas de transferencia hasta los sistemas de deshidratación y desalación. (Howe Baker International, s. f.).

Figura 1. Separador de gravedad trifásico horizontal



Fuente: Elaboración propia

A pesar de que en la primera etapa del proceso se realiza una gran separación de los diferentes fluidos, el crudo transportado contiene “formación de emulsiones de agua en crudo”, trazas de agua libre y sal que se deben tratar para dejarlo con una calidad de entrega a la correspondiente refinería de aproximadamente 5-10 PTB (Pounds per Thousand Barrels) libras de sal por mil barriles de crudo por sus siglas en inglés (Howe Baker International, s. f.), y 0,5% de BS&W (Basic Sediments & Water) sedimentos básicos y agua por sus siglas en inglés (Piping Engineering, 2014).

La importancia de la deshidratación y desalación del crudo previa entrega del fluido a las refinerías se da por los riesgos de fallas en los tubos de calentamiento y equipos de destilación por aumento de corrosión y por contenidos de cloruros (Semih, 2020).

El fluido que llega al sistema de deshidratación y desalado contiene un porcentaje alto de BS&W y sal. “La sal en el petróleo crudo existe como compuestos inorgánicos disueltos en el agua

remanente que se encuentra en el petróleo. Esta agua remanente se conoce como salmuera. Estas gotas de sal se dispersan dentro del aceite”. (Abdel Aal et al., 2018, p. 2). El contenido de sal en el agua hace necesario que se elimine por medio de proceso de desalado, “el proceso de desalación consta de seis pasos principales: separación por sedimentación por gravedad, inyección de productos químicos, calentamiento, adición de agua menos salada (dilución), mezcla y coalescencia eléctrica” (Mahdi et al., 2008, p. 1). Posteriormente, se realiza el proceso de deshidratación que se pueden eliminar por diferentes medios; por medio de inyección de químicos, por aumento de temperatura del fluido, por tratamiento mecánico y por tratamiento eléctrico o la combinación de algunos de estos.

El tratamiento con químico consiste en inyectar un producto desemulsificante. “El agua emulsionada requiere de un tratamiento químico capaz de romper la emulsión para luego efectuar la separación por gravedad” (Brenda, 2015, p. 6). Este proceso se encarga de prevenir la formación de emulsiones y dicho método tiene una característica especial, y es que se debe realizar en el proceso de extracción del petróleo o sea en el yacimiento, en la cabeza de pozo y en el proceso de separación inicial. El agua emulsionada requiere de un tratamiento químico capaz de romper la emulsión para luego efectuar la separación por gravedad. (Corredor-Rojas et al., 2016)

Otro método para la deshidratación del crudo es por medio de calentamiento del fluido por medio de hornos o intercambiadores de calor, lo que facilita la separación de partículas de crudo y agua.

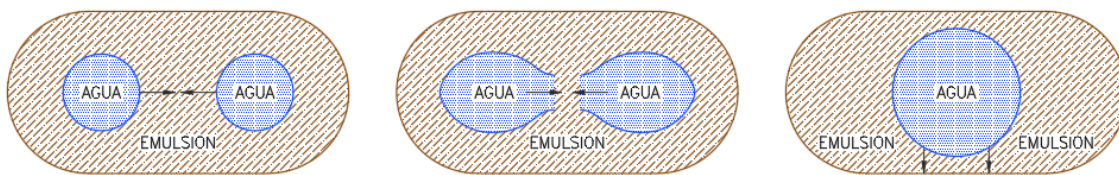
“El tratamiento mecánico se caracteriza por utilizar equipos de separación dinámica que permiten la dispersión de las fases de la emulsión y aceleran el proceso de separación gravitacional” (Marfisi & Salager, 2004, p. 14). Este proceso se puede realizar por medio de

tanques de lavado o tanques “Gun Barrel” que ayudan a separar las fases con un alto tiempo de residencia del fluido dentro del recipiente.

Finalmente, el tratamiento eléctrico para la deshidratación de crudo consiste en la instalación de tratadores electrostáticos que cuentan en el interior con paredes de electrodos que hacen tres efectos principales como se ve en la Figura 2

- a) Acercamiento de las gotas de la fase dispersa entre sí, hasta llegar a flocular (distancia típica $0.5-1 \mu\text{m}$). Como, $\rho \text{ agua} > \rho \text{ crudo}$, tiene lugar un proceso de sedimentación.
- b) Drenaje de la película inter-gota, hasta alcanzar un espesor del orden de $0.1 \mu\text{m}$ o menos.
- c) Ruptura de la película inter-gota y coalescencia (Delgado-Linares et al., 2013, p. 3).

Figura 2. Etapas de ruptura de emulsión de agua en petróleo crudo



Fuente: Elaboración propia

La floculación, en donde se agrupan las gotas de agua, posteriormente se evidencia la coagulación en donde se unen superficialmente y luego se observa la sedimentación, en donde se separan gravitacionalmente las fases como último paso del proceso de deshidratación de crudo. “Bajo la influencia de un campo eléctrico una gota de agua se deforma elipsoidalmente. Con el alargamiento de la gota, la película que la rodea puede romperse, facilitando la coalescencia de gotas adyacentes” (Polanía, 2014, p. 23).

4.5 Proceso de deshidratación y desalado en PLTC

Dentro de la planta PLTC, se realiza el proceso de deshidratación y desalación de crudos provenientes de estaciones primarias de separación. El crudo que llega a la planta PLTC es

examinado por medio de instrumentos de medición de BS&W en una unidad LACT (Lease Automatic Custody Transfer) por sus siglas en inglés y consiste en un sistema de medición, en donde se utilizan diferentes elementos electrónicos para medir con precisión flujos de productos hidrocarburos líquidos o gas natural (Abuin, 2016), este crudo se cuantifica o se fiscaliza y es enviado al sistema de tratamiento.

Posterior a la medición, el crudo es enviado a dos tanques de recibo de la planta. Este fluido es posteriormente enviado a una serie de bombas que a su vez cuentan con un sistema de válvulas en donde se inyecta agua fresca para generar una mezcla más homogénea y así facilitar su posterior deshidratación y desalación. Luego, la mezcla se dirige hacia un sistema de precalentamiento que consta de dos hornos verticales que disminuyen la viscosidad del mismo y facilitan el transporte del fluido por las tuberías que llegan hasta los cuatro tratadores térmico electrostáticos.

El crudo entonces llega a los recipientes que gracias a su sistema de calentamiento del fluido por medio de quema de gas natural y su sistema eléctrico, produce los efectos mencionados anteriormente para la deshidratación y desalación del fluido.

Luego del proceso de tratamiento térmico electrostático, el crudo es enviado a dos tanques de reposo que se encuentran en la planta y estos a su vez conectan al sistema de bombas de transferencia de crudo que despachan el fluido a dos tanques de fiscalización que almacenan el producto hasta que es bombeado hacia la refinería pasando por otra unidad LACT de despacho de crudo en la planta PLTC. (Ingrid & Juan, 2014)

Cabe resaltar que al interior de la planta PLTC se encuentran diferentes sistemas asociados al proceso de deshidratación y desalado del crudo; dentro de estos sistemas se

encuentran sistemas de depuración de gas, de alivio de gas hacia tea, sistemas de tubería contraincendios, sistemas de suministro de aire, sistemas de drenaje, entre otros.

4.6 Eficiencia Energética

De acuerdo con Cleveland y Morris, (2014), el termino eficiencia es descrito de manera general como la eficacia relativa de un sistema o dispositivo, especialmente en lo que respecta a los recursos totales necesarios para lograr un resultado deseado. Con referencia a la termodinámica, se describe como una cantidad adimensional que caracteriza un proceso de conversión de energía basado en la relación entre la producción de trabajo y la entrada de energía.

Patterson, (1996) destaca el entendimiento de eficiencia energética como un proceso asociado a un menor uso de energía por cada unidad de producción. En ese orden de ideas podemos deducir que un proceso es altamente eficiente si el trabajo es realizado con el menor consumo de energía posible.

4.7 La eficiencia energética en facilidades de producción de una planta de hidrocarburos

La eficiencia energética es potencialmente el medio más importante y rentable para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero de la industria (Worrell et al., 2009).

Dentro de las facilidades de producción petrolera, se realizan cambios y mejoras en los procesos en periodos de tiempo relativamente cortos. El desarrollo de estos proyectos obedece muchas veces a cambios en los comportamientos de los fluidos que se manejan dentro de la planta o a mejoras tecnológicas para disminuir costos y aumentar la productividad de la planta (Qiao et al., 2016).

Los costos que hacen referencia al consumo de energía, el transporte y el tratamiento del agua separada logran alcanzar un 80 % del costo total de producción de la planta de tratamiento y, por tal razón, es importante contar con sistemas de tratamiento de alta eficiencia (Forero et al., 2008). Estos sistemas de tratamiento buscan optimizar el proceso de deshidratación y desalado del crudo logrando reducir los costos por consumos energéticos y a su vez reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, lo cual se traduce no solamente en beneficios económicos sino también en incrementar la capacidad de la industria para aportar a mitigar el cambio climático.

5 MARCO CONTEXTUAL

5.1 El sector petrolero en Colombia

A lo largo de la historia del país, la economía colombiana ha dependido en gran medida a la producción petrolera para muchos de los gastos que enfrenta el país en diferentes ámbitos, esta tendencia hace que se inviertan grandes cantidades de recursos en exploración y producción de hidrocarburos, ya sea que los precios internacionales estén altos (una bonanza) o cuando los precios bajan (déficit de recursos) el gobierno siempre tiene la confianza para continuar con este negocio que para muchos sigue siendo muy rentable.

La Industria del petróleo en Colombia ha sido las últimas décadas la principal fuente de crecimiento económico en el país. El petróleo es el primer producto de exportación con el 55,4 por ciento del total de las exportaciones y el principal contribuyente a las finanzas del Estado. Los municipios se vieron beneficiadas en sus recursos fiscales al recibir regalías por un valor de 5,9 billones de pesos en los últimos 4 años. (ANH, 2019).

Con la crisis actual que está atravesando el mundo entero por cuenta de la pandemia del Covid-19, el país se debe enfrentar al debate de continuar con cuarentenas o reactivar la

economía en diferentes sectores, y el sector energético, específicamente Oil & Gas no debe ser la excepción. Esta es una industria clave para la reactivación económica, y el gobierno está al frente de una oportunidad para hacer crecer el sector en el momento en que el país lo necesita.

Desde las disposiciones que se toman en los círculos gubernamentales parten las tomas de decisiones en las diferentes compañías de exploración y explotación de hidrocarburos y desde este punto de vista, se generan oportunidades de mejora para los procesos de tratamiento ayudando así a mejorar la eficiencia de las plantas de procesamiento de crudo disminuyendo costos de operación y mantenimiento para sus equipos.

6 DISEÑO METODOLÓGICO

Durante esta sección se desarrollará el enfoque del proceso de investigación escogido para la realización de la propuesta de mejora mediante la instalación de un tanque de alta eficiencia en la planta PLTC. Lo anterior, teniendo en cuenta las diferentes secciones que se presentarán a continuación, considerando así, el tipo de investigación que se escogió para abordar la propuesta, definición de variables relevantes para la consecución de objetivos y finalmente se procederá a analizar el proceso actual y por tanto generar una propuesta que resalte los beneficios, en caso tal de existir, al implementar un tanque de alta eficiencia como mejora en el proceso actual de deshidratación de crudo.

6.1 Tipo de investigación

En esta etapa se explicará el tipo de investigación escogido para la realización de la propuesta de mejora en el proceso de deshidratación de crudo en la planta PLTC y por tanto se especifica que se realizará bajo un proceso cuantitativo. Este se define como aquel que “Utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis

estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías.” (Sampieri, 2014, p. 5). Lo anterior, considerando que se llevara a cabo una medición del estado actual de las variables a estudiar y mediante el apoyo de literatura se busca medir el impacto de la posible solución que se busca alcanzar mediante la propuesta en cuestión.

6.2 Alcance

El documento actual de investigación es de tipo descriptivo considerando que en este tipo de informes se seleccionan diferentes aspectos a considerar y así se mide cada uno de estos de forma independiente. Así mismo, se hace una breve descripción que permite dar un contexto sobre el tema, con el fin principal de realizar una predicción, que en este caso se refiere a precisamente la incidencia que tendría la instalación de un tanque de alta eficiencia y qué tanto ahorro se puede generar mediante la reducción de costos de energía que actualmente se emplea en el proceso de deshidratación de crudo en la planta PLTC (Cauas, 2015).

Para el desarrollo del documento, se recurrió a tareas específicas en la recolección de datos, así como la revisión bibliográfica y consulta al interior de la planta PLTC para la recopilación de datos relevantes respecto a cifras reales observadas en la planta PLTC. Una vez obtenida la información, se realizó una depuración de la misma y así el análisis correspondiente a la consolidación de datos recogidos para la interpretación que permita dar cuenta de la validez de la propuesta en términos cuantitativos.

El diseño empleado para el desarrollo de la investigación es considerado como No experimental/Transversal. Es importante destacar que se considera transversal en medida que se considera apropiado para medir y analizar la relación existente entre un conjunto de variables en un punto del tiempo, que en este caso, sería el momento inicial con respecto al momento en que se implementará el tanque de alta eficiencia que permita dar cuenta de la mejora de eficiencia en

el proceso en cuestión. Por otro lado, es no experimental dado que no se manipulará directamente las variables a observar, sino que se realizará un proceso de observación al medir la incidencia que conlleva la propuesta planteada (Ramírez, 2004).

Finalmente, las variables escogidas que se emplearán como herramientas de análisis para medir la viabilidad de la propuesta serán: consumo de energía eléctrica, consumo de gas combustible y producción de barriles de petróleo. Cabe resaltar que las tres variables a estudiar son consideradas al momento en que se lleva a cabo el proceso de deshidratación de crudo en la planta PLTC.

6.3 Definición conceptual de variables.

6.3.1 La energía eléctrica

La electricidad hace parte de nuestras vidas, desde los primeros estudios de este fenómeno físico en el siglo XVII, nos acompaña desde el momento en que nos levantamos y en el transcurso de nuestras actividades diarias cotidianas. El crecimiento industrial mundial ha dependido en gran medida del desarrollo del manejo de la electricidad.

La energía eléctrica se considera propiamente como un elemento clave de la denominada "Segunda Revolución Industrial" del último cuarto del siglo XIX y principios del XX. Esta revolución, junto con la transformación de la industria química y el motor de combustión interna, redefinió todo el conjunto de oportunidades tecnológicas disponibles para las sociedades industrializadas. (Rosenberg, 1998, p. 9)

Además dentro de la industria de Oil & Gas ha sido demasiado importante porque muchos de los equipos y sistemas que tratan los diferentes procesos dentro de plantas industriales dependen de la electricidad.

6.3.2 Gas combustible.

Con respecto al consumo de gas para la industria se puede asegurar que su uso se desarrolló después de la producción petrolera, ya que el gas que salía de los yacimientos era normalmente quemado porque en ese momento no representaba mayor utilidad para las compañías de extracción.

La necesidad de hallar nuevas fuentes energéticas y la puesta a punto de las técnicas de licuefacción de gas y procedimientos de soldadura de tuberías para resistir grandes presiones, hacen posible la utilización de todos estos recursos energéticos (Foro de la Industria Nuclear Española, 2019).

Este combustible tiene un gran poder calorífico, con la entrada de equipos y sistemas de instrumentación y control, se puede regular su consumo para diferentes actividades que se desarrollan en plantas de producción petrolera. “Dadas las ventajas medioambientales y operacionales del gas natural, su utilización en el mundo entero ha ido aumentando año a año. Es así como su participación en la matriz energética mundial ha crecido considerablemente en el último tiempo” (Guerrero Suárez & Llano Camacho, 2003, p. 5).

6.3.3 Petróleo crudo.

El petróleo es una mezcla de compuestos orgánicos que han estado en el fondo de la tierra por miles de años, se compone principalmente de hidrocarburos (carbono e hidrógeno) y ha sido parte importante para el desarrollo de la vida moderna desde las primeras extracciones en el siglo XIX, El coronel Edwin L. Drake fue quien perforó el primer pozo petrolero del mundo en 1859, en Estados Unidos, alcanzando extraer petróleo de una profundidad de 21 metros (Susana, 1998). La importancia del petróleo en la vida moderna no es solo para el consumo de

combustible para vehículos o para generación de energía, el petróleo después de ser refinado genera muchas sustancias químicas que permiten desarrollo de productos como guantes de látex, mantas quirúrgicas, lentes de sol, toallas y prendas a base de polímeros y muchos productos más que utilizamos en nuestras vidas a diario.

6.3.4 Definición operacional de las variables.

A nivel nacional, el consumo de energía eléctrica se mide por medio de instrumentos que permiten cuantificar cuánta potencia o cuánta energía consume determinado hogar o industria en un periodo de tiempo determinado. “un Kilovatio hora (Kwh) es el equivalente a mantener un consumo de potencia de 1000 vatios durante una hora” (CELSIA, 2017). La medición del consumo de energía se da con la siguiente terminología:

- K = kilo = 1000
- W = watts = vatio = unidad de potencia
- h = hora = unidad de tiempo

Para la medición del gas natural que se consume normalmente en la industria o en los hogares, igualmente se mide por medio de instrumentos que cuantifican cuánto gas pasa por medio de una tubería de suministro hacia determinado punto o puntos de consumo. “Se puede medir en unidades de volumen (metros cúbicos m^3 ó pies cúbicos ft^3) o de energía (kilovatio hora Kwh. o unidades caloríficas BTU)” (Ministerio de Minas y Energía, 2015). Igualmente, se puede medir el consumo de gas por la cantidad de energía eléctrica o energía calorífica que puede generar, por eso los datos de unidades de medida de Kwh y BTU (“British Termal Unit”, BTU: Unidad térmica o de energía del Sistema Británico o Imperial de Unidades).

En la industria de Oil & Gas, dentro de muchos procesos se identifican las cantidades volumétricas de los fluidos líquidos que no necesariamente son hidrocarburos, sino que pueden ser aguas residuales, aguas de producción, agua de inyección entre otras en términos de barriles por día. En términos de producción de petróleo crudo, se puede identificar la unidad de medida como BOPD, la cual corresponde a la abreviatura de barriles de crudo producido por día.

Barril – US, bbl: Unidad de medida de volumen de Hidrocarburos Líquidos de los Estados Unidos de América. Equivale a cuarenta y dos (42) galones también americanos, a ciento cincuenta y ocho coma noventa y ocho sesenta y ocho litros (158,9868 l), a cinco coma sesenta y uno cuarenta y seis pies cúbicos (5,6146 ft³) y a cero coma quince ochocientos noventa y nueve metros cúbicos (0,15899 m³), corregidos a condiciones estándar, es decir, a una temperatura de sesenta grados Fahrenheit (60° F) y a una (1) atmósfera de presión absoluta. Es trece centésimas (0,13) de litro menor que el barril del Sistema Británico o Imperial de Unidades. (Agencia Nacional de Hidrocarburos, 2016).

6.4 Diseño metodológico

El presente acápite presenta la metodología desarrollada para la ejecución de este trabajo la cual consiste en:

- A. Formular el cronograma de actividades para el desarrollo de la propuesta de optimización del proceso de deshidratación de crudo en la planta PLTC, para lo cual se utilizará la herramienta de Ms Project®, bajo la estructura del PMBOK.
- B. Estimar el consumo energético del proceso de deshidratación y desalado de crudo en la planta PLTC, identificando el consumo de gas y el consumo de energía eléctrica que requiere actualmente el proceso para un año base y construir el escenario de línea base hasta el 2040.
- C. Identificar conceptualmente las tecnologías disponibles en el mercado local con su respectivo potencial de reducción de consumo energético dentro de los procesos de deshidratación y desalado del crudo. Costos de inversión, costos de operación y mantenimiento.

- D. Evaluar la reducción del consumo energético al utilizar una de estas tecnologías dentro del proceso de deshidratación y desalado de la planta PLTC.

7 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Variables a tener en cuenta para la optimización

7.1.1 Instrumentos para recolección de información.

Con respecto a la recolección de información acerca de los consumos de energía y barriles producidos en la planta PLTC, se realiza por medio de observación de los procesos industriales actuales e indagación, la cual consiste en obtener información verbal mediante averiguaciones directas o conversaciones con funcionarios que están en constante trabajo en esta instalación. La indagación se puede definir como:

Las diversas formas en las que los científicos estudian el mundo natural y proponen explicaciones basadas en la evidencia derivada de su trabajo. La indagación también se refiere a las actividades de los estudiantes en la que ellos desarrollan conocimiento y comprensión de las ideas científicas. (Reyes-Cárdenas & Padilla, 2012, p. 1).

Según la información recolectada con funcionarios de la planta de tratamiento de crudo PLTC, dentro de las corporaciones existen acuerdos de confidencialidad con respecto a los costos establecidos que se pagan por el consumo de energía eléctrica y por el consumo de gas combustible.

El acuerdo de confidencialidad, también conocido como NDA (por las siglas en inglés de Non-Disclosure Agreement) es un contrato que tiene como objetivo comprometer legalmente a las partes signatarias a no revelar información que se divulga o intercambia entre las mismas para un objetivo o fin determinado, pero que no está o no debe alcanzar el dominio público, y de ahí que deba guardarse confidencialmente. (Wonder Legal España, 2020).

7.1.2 Medición de variables.

Con respecto al consumo de energía eléctrica de la planta; el cliente, en este caso la planta PLTC se considera como un usuario no regulado, y se define como “la persona natural o jurídica, con una demanda máxima superior a 2 Mw por instalación legalizada, cuyas compras de electricidad se realizan a precios acordados libremente”. (Ley No. 143, 1994, p. 5)

Igualmente, el consumo de gas combustible para los diferentes procesos dentro de la planta PLTC, se maneja de forma confidencial, también es regulado por la CREG y como es una planta industrial se considera como usuario no regulado el cual se define:

Es un consumidor de más de 500.000 pcd hasta el 31 de diciembre del año 2001; de más de 300.000 pcd hasta el 31 de diciembre del año 2004; y, de más de 100.000 pcd a partir de enero 1o. del año 2005, medida la demanda de conformidad con lo establecido en el Artículo 77 de la Resolución CREG-057 de 1996 o aquellas que la modifiquen, sustituyan o complementen. Para todos los efectos un Usuario No Regulado es un Gran Consumidor. (RESOLUCIÓN No. 007, 2000, p. 2).

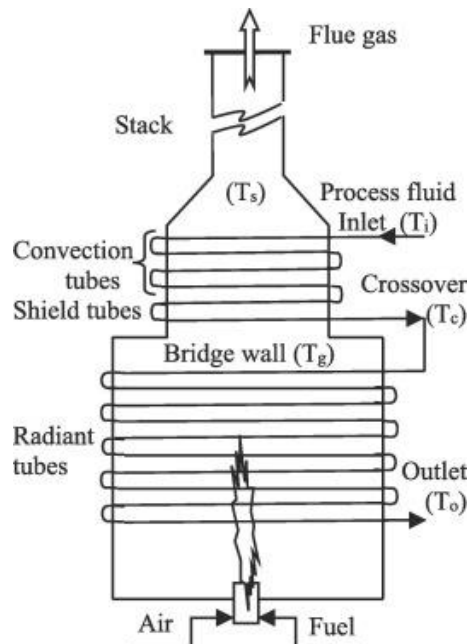
Según la indagación con fines académicos que se pudo realizar, el costo actual aproximado del kWh de energía eléctrica acordado entre las partes para la PLTC es de \$ 250 COP y el costo actual aproximado por m³ de gas combustible para consumo en la planta PLTC es de \$ 1.100 COP.

7.2 El proceso actual en PLTC.

7.2.1 Deshidratación y desalado de crudo.

La planta de tratamiento de crudo PLTC, cuenta para el proceso de deshidratación y desalado de crudo con dos hornos calentadores como el que se muestra en la Figura 3, de capacidad 25.000 BOPD y con un consumo de gas combustible de 4,5 MMBTU/h cada uno. A su vez cuentan cada uno con un soplador para el calentamiento que tiene un consumo aproximado de 1,5 kWatt/h. Los hornos de calentamiento de crudo tienen como función hacer más fácil la posterior deshidratación y transporte del fluido hacia los tratadores termoelectrostáticos.

Figura 3. Esquema de horno de calentamiento de crudo



Fuente: (Haratian et al., 2019). Modeling and optimization of process fired heaters [Figura] Recuperado de:

<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.113722>

A continuación, la Tabla 1 evidencia la información recolectada de los datos de diseño y operación de los hornos calentadores de crudo actualmente instalados en la planta PLTC.

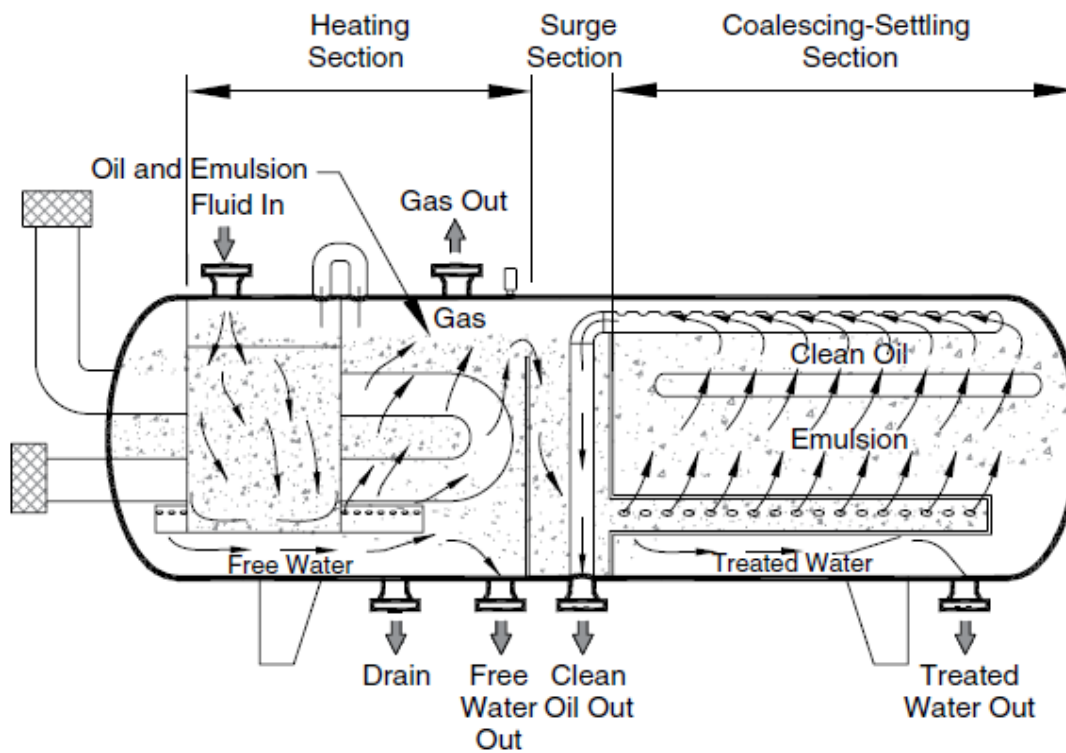
Tabla 1. Consumo de Energía y Gas Combustible en los Hornos de precalentamiento de Crudo de PLTC

ITEM	EQUIPO	CAPACIDAD (BOPD)	CONSUMO ELÉCTRICO (kWatt/h)	CONSUMO DE GAS (MMBTU/h)
1	Horno H 1	25.000	1,5	4,5
2	Horno H 2	25.000	1,5	4,5
total:		50.000	3	9

Fuente: Elaboración propia, basada en los datos de diseño y operación de planta PLTC

Posterior al calentamiento de crudo, la planta PLTC cuenta con 4 tratadores termoelectrostáticos del tipo que se muestra en la Figura 4, a donde llega el fluido precalentado e inicia el proceso de deshidratación y desalado. Los cuatro tratadores tienen una capacidad de 12.000 BOPD, cuentan igualmente con un sistema de calentamiento por medio de quema de gas natural y su consumo es de 6,3 MMBTU/h cada uno; a su vez, cada recipiente tiene incorporado un transformador eléctrico de 80 KVA lo que se traduce en consumo eléctrico de 56 kWatt/h.

Figura 4. Esquema de Tratador Termoelectrostático



Fuente: (Arnold & Steward, 2008), Surface Production Operations [Figura], Recuperado de:

https://www.academia.edu/31686267/Ken_Arnold_Surface_Production_Operations_Volume_1_3rdE

La función de los tratadores termoelectrostáticos es realizar la tarea principal de la planta que consiste en eliminar los últimos contenidos de agua y sal en el crudo para cumplir con la condición de entrega hacia la refinería, la cual según indica la (ANH, 2016) “en Colombia, el factor BSW debe ser inferior al cero coma cinco por ciento (0,5%) del volumen total, mientras que la salinidad no debe sobrepasar de veinte libras por cada mil barriles (20 lb / 1.000 bbl)”. En la Tabla 2 se resume el consumo de energía de los tratadores instalados actualmente.

Tabla 2. Consumo de energía eléctrica y gas natural proceso de deshidratación y desalado de crudo

ITEM	EQUIPO	CAPACIDAD (BOPD)	CONSUMO ELÉCTRICO (kWatt/h)	CONSUMO DE GAS (MMBTU/h)
1	Tratador TTE 1	12.000	56	6,3
2	Tratador TTE 2	12.000	56	6,3
3	Tratador TTE 3	12.000	56	6,3
4	Tratador TTE 4	12.000	56	6,3
total:		48.000	224	25,2

Fuente: Elaboración propia, basada en los datos de diseño y operación de planta PLTC

Teniendo en cuenta el costo aproximado de \$ 250 COP que se pagan hoy por kWatt/h y el costo de \$ 1.100 COP que se pagan por el m³ de gas combustible, En la Tabla 3 se detalla el costo energético estimado en el que incurre la planta PLTC solamente para el proceso de deshidratación y desalado de crudo.

Tabla 3. Costo de consumo de energía eléctrica y gas natural

Tipo de Energía	Consumo	Costo por hora (COP)	Costo Total por día (COP)
Gas combustible	902,52 m ³ /h *	1.100	23.826.528
Energía eléctrica	227 kWatt/h	250	1.362.000
total por día			25.188.528

*Se realiza conversión de unidades de consumo de gas de MMBTU/h por m³/h, 1 MMBTU/h = 26,38 m³/h

Fuente: Elaboración propia, basada en los datos de diseño y operación de planta PLTC

El crudo que se comercializa en Colombia toma el valor diario de referencia de petróleo Brent. Para poder determinar la producción de la planta PLTC en pesos colombianos, dato que nos servirá posteriormente para medir la eficiencia del proceso, se toma como referencia los precios internacionales de petróleo. “Los precios de comercialización de los crudos en el mercado mundial se establecen de acuerdo con la cotización del día del crudo marcador o trazador. Un crudo marcador o trazador es aquel cuyo precio se utiliza como referencia para las transacciones realizadas con otros crudos.” (Unidad de Planeación Minero Energética, 2013, p. 35). En la Tabla 4 se describe la producción diaria de crudo en la planta PLTC, con base en los reportes de fiscalización. Realizando una comparación entre el consumo energético diario con los precios de barril de petróleo de referencia Brent fiscalizado que se envía hacia la refinería, el cual tiene un costo promedio para el mes de septiembre de 2020 de USD \$ 41,20, se tiene la siguiente relación:

Tabla 4. Costo Total de producción de crudo diaria en PLTC (COP)

TRANSFERENCIA DE CRUDO DIARIO (BOPD)	PRECIO DE REFERENCIA POR BARRIL (\$ USD)	TRM	TOTAL
44.000	41,20	3.870,00	7.015.536.000

Fuente: Elaboración propia, basada en los datos de diseño y operación de planta PLTC

Tabla 5. Relación costo energético vs barriles producidos diarios

TRANSFERENCIA DE CRUDO DIARIO (BOPD)	COSTO ENERGÉTICO DESHIDRATACIÓN Y DESALADO	TOTAL
44.000	25.188.528	572,47

Fuente: Elaboración propia, basada en los datos de diseño y operación de planta PLTC

Con los datos anteriormente mostrados Tabla 5, se puede afirmar que por cada barril producido la planta PLTC gasta aproximadamente \$ 580 COP. El costo anual aproximado de consumo de energía para el proceso de deshidratación y desalado de crudo es de \$ 302.262.336 COP.

7.2.2 Operación Plantas y Estaciones.

Con respecto a los costos de operación total de la planta PLTC, se establecen con base a la Tabla 6, la cual representa el personal calificado promedio para las labores dentro de plantas y estaciones de la industria Oil & Gas.

Tabla 6. Especialidad: operación de plantas y estaciones perfiles calificados

ITEM	DESCRIPCIÓN PERSONAL	RANGO SALARIAL (COP)			
1	Auxiliar I	Entre:	1.000.000	y	2.000.000
2	Auxiliar II	Entre:	1.000.000	y	2.000.000
3	Coordinador de facilidades de producción I	Entre:	10.000.000	y	12.000.000
4	Coordinador de facilidades de producción II	Entre:	10.000.000	y	12.000.000
5	Coordinador de transporte I	Entre:	8.000.000	y	10.000.000
6	Coordinador de transporte II	Entre:	8.000.000	y	10.000.000
7	Ingeniero de procesos y facilidades I	Entre:	10.000.000	y	12.000.000
8	Ingeniero de procesos y facilidades II	Entre:	10.000.000	y	12.000.000
9	Líder de medición	Entre:	8.000.000	y	10.000.000
10	Operador I	Entre:	8.000.000	y	10.000.000
11	Operador II	Entre:	8.000.000	y	10.000.000
12	Operador III	Entre:	8.000.000	y	10.000.000
13	Operador IV	Entre:	8.000.000	y	10.000.000
14	Supervisor de planta I	Entre:	12.000.000	y	16.000.000
15	Supervisor de planta II	Entre:	12.000.000	y	16.000.000
16	Supervisor de transportes	Entre:	8.000.000	y	10.000.000
17	Supervisor de tratamiento químico y/o laboratorio	Entre:	8.000.000	y	10.000.000
El costo mensual de personal de operación de una planta o estación del sector Oil & Gas se encuentra entre:			138.000.000	y	174.000.000

Fuente: Elaboración propia, basada en los datos de

<https://www.mintrabajo.gov.co/documents/20147/45091/Anexo+t%C3%A9cnico+Resolucion+2626+de+2016.pdf/97f24477-a84d-20f5-ec66->

[db7074150289](#) y (MICHAEL PAGE, 2020)

En promedio, los costos de operación de una planta o estación de producción petrolera en Colombia se estiman en \$ 156.000.000 mensuales.

7.2.3 Mantenimiento:

Dentro de los procesos industriales, un aspecto muy importante a considerar es el mantenimiento de los equipos, las tareas de mantenimiento permiten un mejor desempeño de los procesos industriales y si se realiza un programa de mantenimiento con anticipación, estos se ven reflejados en ahorros considerables de recursos ya que no se llega al punto de daño completo de un equipo y su posterior reemplazo, sino que se alarga su vida útil.

El mantenimiento relacionado para la industria de Oil & Gas y aplicado a los equipos encargados del proceso de deshidratación y desalado de crudo se muestra en la Tabla 7, la cual representa el costo aproximado de personal calificado para el desarrollo de estas actividades. Cabe resaltar que aparte del costo de personal, las empresas incurren igualmente en costos de maquinaria, equipos y repuestos lo cual incrementa el costo de mantenimiento.

Tabla 7. Especialidad: mantenimiento de plantas y estaciones perfiles calificados

ITEM	DESCRIPCIÓN PERSONAL	RANGO SALARIAL (COP)			
1	Electricista en mantenimiento de superficies I	Entre:	4.000.000	y	6.000.000
2	Electricista en mantenimiento de superficies II	Entre:	4.000.000	y	6.000.000
3	Electricista en mantenimiento de superficies III	Entre:	4.000.000	y	6.000.000
4	Instrumentista I	Entre:	4.000.000	y	6.000.000
5	Instrumentista II	Entre:	4.000.000	y	6.000.000
6	Instrumentista III	Entre:	4.000.000	y	6.000.000
7	Instrumentista IV	Entre:	4.000.000	y	6.000.000
8	Liniero eléctrico	Entre:	2.000.000	y	4.000.000
9	Mecánico I	Entre:	4.000.000	y	6.000.000
10	Mecánico II	Entre:	4.000.000	y	6.000.000
11	Mecánico III	Entre:	4.000.000	y	6.000.000
12	Profesional CBM (Mantenimiento Basado en la	Entre:	5.000.000	y	7.000.000

ITEM	DESCRIPCIÓN PERSONAL	RANGO SALARIAL (COP)		
	Condición)			
13	Profesional confiabilidad Jr.	Entre:	4.000.000 y	6.000.000
14	Profesional de confiabilidad	Entre:	5.000.000 y	7.000.000
15	Programador / Planeador de mantenimiento	Entre:	6.000.000 y	9.000.000
16	Supervisor de mantenimiento mecánico / eléctrico / automatización / instrumentación / control	Entre:	10.000.000 y	12.000.000
17	Técnico analista I CBM	Entre:	3.500.000 y	4.500.000
18	Técnico analista II CBM	Entre:	3.500.000 y	4.500.000
19	Técnico I Integridad mecánica	Entre:	3.500.000 y	4.500.000
20	Técnico II Inspector integridad mecánica	Entre:	3.500.000 y	4.500.000
21	Profesional en integridad mecánica	Entre:	6.000.000 y	8.500.000
22	Ingeniero de automatización / instrumentación y control	Entre:	6.000.000 y	8.500.000
23	Superintendente de operaciones / jefe de planta	Entre:	12.000.000 y	16.000.000
24	Coordinador de mantenimiento y operación	Entre:	10.000.000 y	12.000.000
	El costo de personal de mantenimiento de un equipo en industria Oil & Gas se encuentra entre:		120.000.000 y	168.000.000

Fuente: Elaboración propia, basada en los datos de

<https://www.mintrabajo.gov.co/documents/20147/45091/Anexo+t%C3%A9cnico+Resolucion+2626+de+2016.pdf/97f24477-a84d-20f5-ec66-db7074150289>

El mantenimiento de los hornos calentadores de crudo y los tratadores termoelectrostáticos se realiza cada 5 años en la planta PLTC, en diferentes escalas de tiempo para no detener todo el proceso y la duración estimada de cada mantenimiento es de 7 semanas (aproximadamente 1,5 meses). En promedio, los costos mensuales de personal de mantenimiento de un equipo mayor en la industria petrolera en Colombia se estiman en \$ 144.000.000. De acuerdo a la indagación realizada con funcionarios de la planta PLTC, los costos asociados a la contratación de empresa de mantenimiento, la cual debe realizar bajo parámetros establecidos el alquiler de maquinaria, equipo y elementos de repuesto y gastos administrativos se estiman en \$ 560.000.000. El mantenimiento total de cualquier equipo (Horno calentador de crudo o tratador termoelectrostático) es de aproximadamente \$ 776.000.000.

Como en la planta PLTC se encuentran (2) hornos calentadores y (4) tratadores electrostáticos, el costo de mantenimiento anual en que incurre la empresa solamente en el proceso de deshidratación y desalado de crudo es de \$ 931.200.000.

7.2.4 Consumo total de energía PLTC

La planta de tratamiento de crudo PLTC cuenta con servicios y procesos adicionales que en conjunto con el proceso de deshidratación y desalado de crudo dan como resultado un consumo total de energía eléctrica y gas combustible, que representa un costo que servirá como punto de partida, para visualizar el ahorro total de energía eléctrica y gas natural que puede llegar a tener la planta con la implementación de un tanque API 650 de alta eficiencia para la deshidratación y desalado de crudo. A continuación, en la Tabla 8 se presentan los equipos identificados dentro de la planta de tratamiento de crudo PLTC y su respectivo consumo de energía eléctrica y gas combustible.

Tabla 8. Consumo de energía eléctrica y gas combustible equipos de planta PLTC

SISTEMA	ITEM	EQUIPO	CONSUMO ELÉCTRICO (kWatt/h)	CONSUMO DE GAS (MMBTU/h)
SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO	1	TANQUE DE RECIBO DE CRUDO 1	0	0
	2	TANQUE DE RECIBO DE CRUDO 2	0	0
	3	TANQUE DE FISCALIZACIÓN DE CRUDO 1	0	0
	4	TANQUE DE FISCALIZACIÓN DE CRUDO 2	0	0
	5	TANQUE DE FISCALIZACIÓN DE CRUDO 3	0	0
	6	TANQUE DE REPOSO DE CRUDO 1	0	0
	7	TANQUE DE REPOSO DE CRUDO 2	0	0
	8	TANQUE DE DRENAJES	0	0
	9	TANQUE DE AGUA PARA DESALADO	0	0
SISTEMAS DE BOMBEO	10	BOMBA 1 TANQUE DRENAJES	11,2	0
	11	BOMBA 2 TANQUE DRENAJES	11,2	0
	12	BOMBA 1 DE CARGA A TRATADORES	30	0

SISTEMA	ITEM	EQUIPO	CONSUMO ELÉCTRICO (kWatt/h)	CONSUMO DE GAS (MMBTU/h)
	13	BOMBA 2 DE CARGA A TRATADORES	30	0
	14	BOMBA 3 DE CARGA A TRATADORES	30	0
	15	BOMBA 4 DE CARGA A TRATADORES	30	0
	16	BOMBA DOSIFICADORA DE QUIMICOS 1	0,8	0
	17	BOMBA DOSIFICADORA DE QUIMICOS 2	0,8	0
	18	BOMBA DOSIFICADORA DE QUIMICOS 3	0,8	0
	19	BOMBA 1 DE TRASIEGO DE CRUDO HACIA TANQUES FISCALIZACIÓN	7,5	0
	20	BOMBA 2 DE TRASIEGO DE CRUDO HACIA TANQUES FISCALIZACIÓN	7,5	0
	21	BOMBA 1 DE RECHAZO DE CRUDO A TANQUES	15	0
	22	BOMBA 2 DE RECHAZO DE CRUDO A TANQUES	15	0
	23	BOMBA BOOSTER DE DESPACHO DE CRUDO 1	112	0
	24	BOMBA BOOSTER DE DESPACHO DE CRUDO 2	112	0
	25	BOMBA BOOSTER DE DESPACHO DE CRUDO 3	112	0
	26	BOMBA PRINCIPAL DE DESPACHO DE CRUDO 1	261	0
	27	BOMBA PRINCIPAL DE DESPACHO DE CRUDO 2	261	0
	28	BOMBA PRINCIPAL DE DESPACHO DE CRUDO 3	261	0
	29	BOMBA DE AGUA PARA DESALADO DE CRUDO 1	3,7	0
	30	BOMBA DE AGUA PARA DESALADO DE CRUDO 2	3,7	0
SISTEMA DE DESHIDRATACIÓN Y DESALADO	31	TRATADOR TERMOELECTROSTÁTICO 1	56	6,3
	32	TRATADOR TERMOELECTROSTÁTICO 2	56	6,3
	33	TRATADOR TERMOELECTROSTÁTICO 3	56	6,3
	34	TRATADOR TERMOELECTROSTÁTICO 4	56	6,3
	35	HORNO CALENTADOR DE CRUDO 1	0	4,5
	36	QUEMADOR DE HORNO	1	0
	37	VENTILADOR PARA HORNO DE CRUDO	0,5	0

SISTEMA	ITEM	EQUIPO	CONSUMO ELÉCTRICO (kWatt/h)	CONSUMO DE GAS (MMBTU/h)
	38	HORNO CALENTADOR DE CRUDO 2	0	4,5
	39	QUEMADOR DE HORNO	1	0
	40	VENTILADOR PARA HORNO DE CRUDO	0,5	0
	41	INTERCAMBIADOR DE CALOR 1	0	2,3
	42	INTERCAMBIADOR DE CALOR 2	0	2,3
	43	SISTEMA DE TEA	3	6
	44	TANQUE DE RECHAZO DE ALIVIOS	0	0
SISTEMA DE MANEJO DE GAS	45	RECIPIENTE SEPARADOR DE GAS 1	0	0
	46	RECIPIENTE SEPARADOR DE GAS 2	0	0
	47	TORRE DE ABSORCIÓN 1	0,7	0
	48	TORRE DE ABSORCIÓN 2	0,7	0
	49	SEPARADOR GAS COMBUSTIBLE 1	0	0
	50	SEPARADOR GAS COMBUSTIBLE 2	0	0
	51	RECIPIENTE TIPO FRACK TANK 1	0	0
	52	RECIPIENTE TIPO FRACK TANK 2	0	0
	53	RECIPIENTE TIPO FRACK TANK 3	0	0
	54	RECIPIENTE TIPO FRACK TANK 4	0	0
	55	UNIDAD LACT ENTRADA	2,5	0
	56	COMPRESOR DE AIRE DE INSTRUMENTOS 1	1,5	0
	57	COMPRESOR DE AIRE DE INSTRUMENTOS 2	1,5	0
	58	TANQUE PULMÓN DE AIRE 1	0	0
	59	TANQUE PULMÓN DE AIRE 2	0	0
SISTEMAS DE UTILIDADES	60	UNIDAD LACT SALIDA	2,5	0
	61	TANQUE DE ESPUMA SISTEMA CONTRAINCENDIO	1	0
	62	BOMBA DIESEL DE SISTEMA CONTRAINCENDIO 1	0	0
	63	BOMBA DIESEL DE SISTEMA CONTRAINCENDIO 2	0	0
	64	BOMBA JOCKEY DE SISTEMA CONTRAINCENDIO 1	3,7	0
	65	BOMBA JOCKEY DE SISTEMA CONTRAINCENDIO 2	3,7	0
		total por hora	1564	44,8
		total por día	37536	1075,2

Nota: 37.536 kWatt/h se ajusta a unidades de consumo eléctrico de MW/h = 37,54 MW/h

Fuente: Elaboración propia, basada en los datos de diseño y operación de planta PLTC

Con base en lo anterior, a continuación podemos ratificar que el consumo de energía eléctrica y consumo de gas combustible en la planta de tratamiento de crudo PLTC en términos de costos es de aproximadamente \$40.595.976 COP por día.

Tabla 9. Costo de consumo de energía eléctrica y gas natural en planta PLTC

Tipo de Energía	Consumo	Costo por hora (COP)	Costo Total por día (COP)
Gas combustible	1182,27 m ³ /h*	1.100	31.211.976
Energía eléctrica	1564 kWatt/h	250	9.384.000
total por día			40.595.976

* se realiza conversión de unidades de consumo de gas de MMBTU/h por m³/h.

Fuente: Elaboración propia, basada en los datos de diseño y operación de planta PLTC

7.3 Análisis de tecnologías más eficientes

7.3.1 Tratadores termoelectrostáticos.

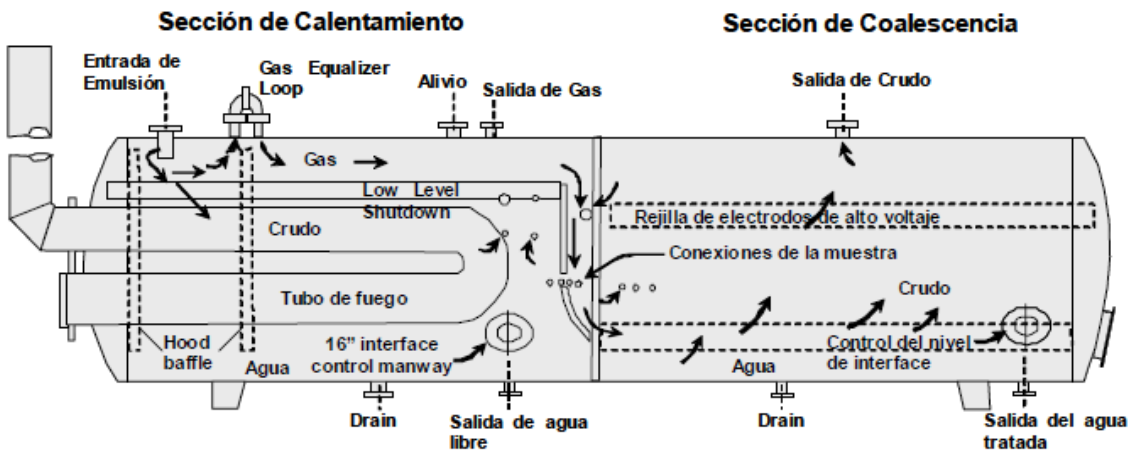
Dentro de la industria de Oil & Gas, para el proceso de deshidratación y desalado de crudo, se han venido manejando en su mayoría los sistemas de tratamiento termoelectrostático, recipientes a presión que por sus condiciones mecánicas internas y gracias a la alimentación de energía eléctrica y energía calorífica sirven para realizar la separación de la emulsión que contiene agua crudo y sal.

La principal ventaja de este tipo de recipiente es la velocidad del tratamiento del fluido, el tiempo de residencia del fluido se ve disminuido por la interacción de este con alta temperatura y

las cargas eléctricas que ayudan a unir las partículas de agua para que ocurra la sedimentación, otra ventaja que se puede observar con la instalación de estos equipos, es que no requieren mucho espacio físico para su instalación.

Un tratador termoelectrostático se divide en tres secciones principales como se ilustra en Figura 5. La primera sección ocupa aproximadamente el 50% de su longitud y es llamada “Sección de calentamiento”. La segunda sección es llamada “Sección central o control de nivel” y esta ocupa por alrededor del 10% de su longitud ubicada adyacente a la sección de calentamiento. La tercera sección ocupa el 40% de la longitud del deshidratador y es denominada “Sección de asentamiento” del agua suspendida para producir crudo limpio. Las parrillas de electrodos de alto voltaje están localizadas en la parte superior del recipiente, arriba de la interfase agua-aceite (Marfisi & Salager, 2004, p. 30).

Figura 5. Deshidratador electrostático



Fuente: (Marfisi & Salager, 2004), *DESHIDRATACIÓN DE CRUDO Principios y Tecnología*. [Figura] Recuperado de: https://es.firp-ula.org/wp-content/uploads/2019/07/S853PP_Deshidratacion.pdf

La principal desventaja que se observa es el alto consumo de energía eléctrica y gas que se requiere para su funcionamiento, solamente para un tratador termoelectrostático de la planta PLTC de capacidad 12.000 BOPD se requiere aproximadamente 56 kWatt/h de consumo eléctrico y aproximadamente 166.2 m³/h de gas combustible.

Según información de personal de la planta PLTC, las negociaciones entre la empresa y los posibles proveedores de recipientes a presión se manejan de forma confidencial, sin embargo, se pudo estimar el costo aproximado de un tratador termoelectrostático de capacidad 12.000 BOPD es de USD \$ 750.000 lo que se traduce en pesos colombianos tomando un promedio de la TRM del último mes aproximadamente en \$ 2.850.000.000 COP. Este sería el valor de inversión para la compra, instalación y puesta en servicio del equipo en la planta PLTC.

7.3.2 Recipiente tipo tanque atmosférico Gun Barrel.

Los tanques tipo Gun Barrel, son utilizados desde los comienzos de la historia de manejo de hidrocarburos alrededor del mundo. Este tipo de recipientes sirven tanto para almacenar, como para tratar combustibles líquidos que pueden tener diferentes componentes intrínsecos, como agua, gas y crudo.

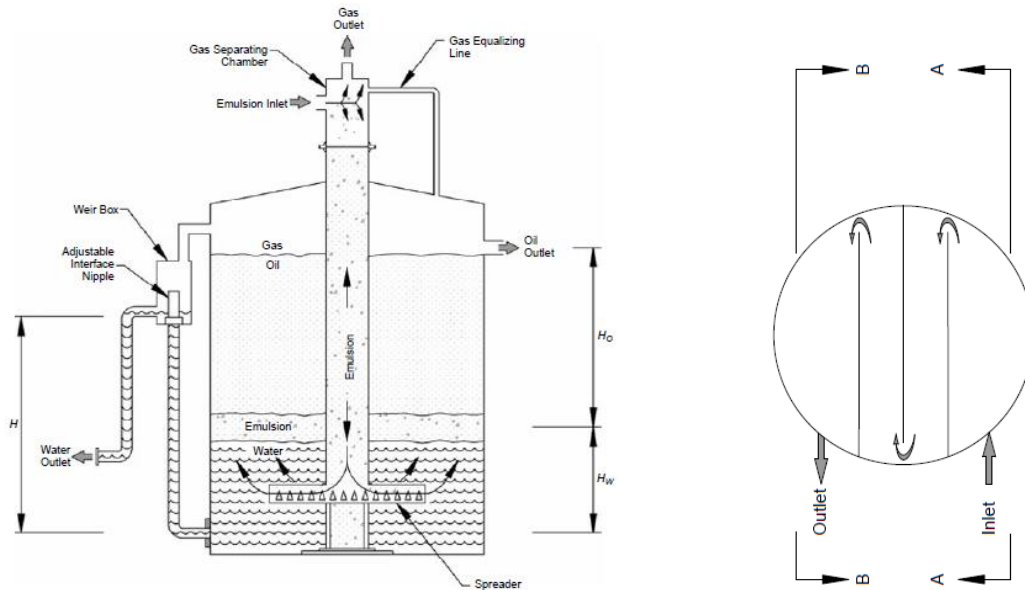
Este tipo de tanque cuenta generalmente con una bota de gas la cual se encarga de acumular los gases contenidos en el fluido y envía el mismo hacia otro proceso dentro de la planta de producción. Su principal uso es en el proceso primario de deshidratación de crudo proveniente de los campos de producción petrolera, esta característica hace que no cumplan con las condiciones de fluido de entrega a refinería, a recordar (0,5% BS&W y entre 5 y 10 PTB).

Para la instalación de un tanque tipo gun barrel y su correspondiente bota de gas, se requieren unas distancias mínimas a edificaciones, a equipos cercanos y a otros tanques de

almacenamiento lo cual se convierte en una restricción o desventaja respecto a la instalación de un tratador termoelectrostático.

Los tanques Gun Barrel pueden tener en su interior un sistema de canal, dividido por baffles que permiten tener un mayor tiempo de residencia del fluido como se puede observar en la Figura 6, y con lo cual se puede cumplir el objetivo principal del recipiente que es la deshidratación y desalado del crudo.

Figura 6. Esquema de tanque Gun Barrel y distribuidor interno



Fuente: (Stewart & Arnold, 2009) Chapter 1—Crude Oil Treating Systems [Figura] Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-8970-0.00001-3>

Una de las principales ventajas de este tipo de recipiente es que no requieren consumo de energía eléctrica o consumo de gas combustible para su funcionamiento. Por otro lado, una gran desventaja es el costo de las instalaciones en conjunto para su funcionamiento, como se nombra en normas como API, NFPA 30, este tipo de recipientes debe contar con un patio donde se pueda contener hasta el 110 % de la capacidad del recipiente.

Se realizó indagación con fabricantes de tanques (sin recibir respuesta oficial de cotización) y entrevistas con personal de la planta e ingenieros involucrados en proyectos de Oil & Gas y se pudo establecer que el costo aproximado de un tanque Gun Barrel API 650 de capacidad 60.000 BOPD con su respectiva bota de gas es de USD \$ 2.150.000 lo que se traduce en pesos colombianos tomando un promedio de la TRM del último mes aproximadamente en \$ 8.170.000.000 COP.

7.3.3 Recipiente tipo tanque atmosférico de alta eficiencia.

Los tanques atmosféricos tienen la función de realizar el proceso de deshidratación y desalado de crudo por medio de tiempo de residencia del fluido en su interior. Esto facilita la coalescencia y sedimentación posterior de las partículas de agua por gravedad ya que según Pérez, (2017, p. 60)

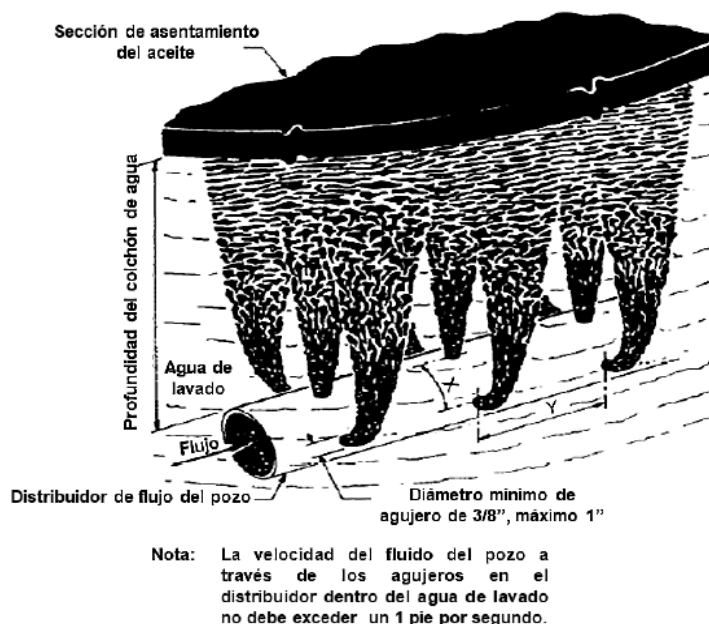
El tiempo de residencia presenta un valor óptimo para el deshidratador. Inicialmente, el incremento de esta variable permite la colisión de un mayor número de partículas dispersas, aumentando la probabilidad de decantación y entregando a la salida del equipo un crudo con un menor contenido de agua. Sin embargo, después de un tiempo dado, el tamaño de gota y el porcentaje de agua remanente bajan significativamente, lo que disminuye la probabilidad de colisionar y seguir decantando.

Una desventaja que se debe contemplar al considerar este tipo de instalaciones es el tiempo de residencia, debido a que un fluido puede llegar a ser de varias horas; igualmente, otro punto a tener en consideración es el espacio requerido para la instalación de un tanque de cualquier tamaño ya que según las normas NFPA 30, API, ASME, entre otras, tienen exigencias de distancias a equipos cercanos, muros o diques de contención, disposición con otros tanques, sistema de tuberías contraincendio entre otros requerimientos lo cual genera mayores trabajos de ingeniería para su instalación y a su vez mayores costos para cualquier organización.

La ventaja que se puede tener con la instalación de un tanque de alta eficiencia es la cantidad de fluido que puede manejar, pueden ser grandes volúmenes en un tiempo considerable, pero no se incurre en gastos energéticos ya que el tanque por sí solo hace el proceso de deshidratación y desalado del crudo por medio de la decantación.

Una característica especial, por la cual se establece que es un tanque de alta eficiencia, es por el sistema de distribuidores internos con los que puede contar el tanque. Existen muchos tipos de diseños de distribuidores y se pueden elaborar realizando ranuras pequeñas o agujeros en las tuberías que forman el interno, como se muestra en la Figura 7. Esto ayuda a que la emulsión se separe en corrientes más pequeñas, el distribuidor provoca un contacto más profundo con el agua y permite la coalescencia del fluido. (Utrera García & Sánchez Orozco, 2019)

Figura 7. Diseño apropiado para la entrada de fluido mediante un distribuidor interno en un tanque atmosférico con agujeros pequeños en el mismo.



Fuente: (Utrera García & Sánchez Orozco, 2019) Diseño apropiado para la entrada de fluido mediante un distribuidor interno en un tanque atmosférico con agujeros pequeños en el mismo. Copyright 1987 Society of Petroleum Engineers, Crude Oil Emulsions.[Figura] Recuperado de:

<http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/handle/123456789/26714>

Como se describe en la patente relacionada con el tanque de alta eficiencia, el distribuidor de hidrocarburo a tratar consiste en un arreglo de tuberías perforadas, ubicadas uniformemente respecto al área de la sección transversal del tanque, para asegurar una correcta distribución del mismo y un contacto homogéneo con la columna de agua contenida en el tanque. (Jorge Enrique et al., 2011, p. 11)

El tanque de almacenamiento que se plantea es de tipo atmosférico con un sistema de tuberías interiores las cuales tendrán perforaciones y ayudarán a que el fluido entre de forma homogénea al recipiente y cumpla la función principal de deshidratar y desalar el crudo.

Finalmente, se realizaron entrevistas con personal de la planta e ingenieros involucrados en proyectos de Oil & Gas y se pudo establecer que el costo aproximado de un tanque API 650 de capacidad 60.000 BOPD es de USD \$ 1.850.000 lo que se traduce en pesos colombianos tomando un promedio de la TRM del último mes aproximadamente en \$ 7.030.000.000 COP. Este sería el valor de inversión para la compra, instalación y puesta en servicio del recipiente en la planta PLTC.

Cabe resaltar, que dentro de los costos estimados tanto de la alternativa de instalación del tratador termoelectrostático y el tanque atmosférico están las fases asociadas a la construcción de estos, fases de ingenierías básica y detallada y fase de construcción cubriendo todas las especialidades de ingeniería involucradas.

En contraste, se puede observar a simple vista la diferencia de costos al instalar un tratador termoelectrostático y un tanque atmosférico de alta eficiencia, esta diferencia es de aproximadamente \$ 4.180.000.000 COP, lo que no se observa en estas cifras es el consumo energético en el que incurre cada equipo luego de su instalación. Mientras que el recipiente a presión requiere un consumo constante de energía eléctrica y un volumen de flujo de gas

constante para el calentamiento del crudo, el tanque de alta eficiencia no requiere consumo alguno de energía con su instalación.

7.4 Propuesta de optimización en la planta PLTC.

Para plantear la propuesta de optimización de tratamiento de crudo en la planta PLTC, se realiza inicialmente una matriz de competitividad entre las diferentes tecnologías, las cuales se resumen en las siguientes tablas, considerando que la que se presenta a continuación muestra las posibles tecnologías a implementar con sus características generales.

Tabla 10. Posibles tecnologías para implementar en la planta PLTC

IMPACTO DE TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DE DESHIDRATACIÓN Y DESALADO DE CRUDO	
TRATADORES TERMOELECTROSTÁTICOS	<p>Sistemas presurizados</p> <p>Permiten separar las últimas fases de agua y sal del crudo</p> <p>Consumo de energía eléctrica y gas combustible</p> <p>Recipientes normalmente importados</p> <p>Alta eficiencia en la separación de fluidos (<0,5% BS&W / 5-10 PTB)</p> <p>Bajos costos de ingeniería / construcción (2.850.000.000 COP)</p> <p>Tiempo de ingeniería / construcción aproximado (8 meses)</p>
TANQUE ATMOSFÉRICO TIPO GUN BARREL	<p>Sistemas atmosféricos</p> <p>Permiten separar fluidos multifásicos en fases iniciales de separación</p> <p>Sin consumo de energía eléctrica ni gas combustible</p> <p>Recipientes realizados con fabricación nacional</p> <p>Baja eficiencia en la separación de fluidos (>0,5% BS&W / 10-20 PTB)</p> <p>Altos costos de ingeniería / construcción (8.170.000.000 COP)</p> <p>Tiempo de ingeniería / construcción aproximado (7 meses)</p>
TANQUE ATMOSFÉRICO DE ALTA EFICIENCIA	<p>Sistemas atmosféricos</p> <p>Permiten separar las últimas fases de agua y sal del crudo</p> <p>Sin consumo de energía eléctrica ni gas combustible</p> <p>Recipientes realizados con fabricación nacional</p> <p>Alta eficiencia en la separación de fluidos (<0,5% BS&W / 5-10 PTB)</p> <p>Altos costos de ingeniería / construcción (7.030.000.000 COP)</p> <p>Tiempo de ingeniería / construcción aproximado (7 meses)</p>

Fuente: Elaboración Propia

La Tabla 11 indica que bajo la tecnología seleccionada se presentan las respectivas funciones de cada una, observando sus beneficios y sus debilidades.

Tabla 11. Conducta de Tecnologías para implementar en PLTC

IMPACTO DE TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DE DESHIDRATACIÓN Y DESALADO DE CRUDO		
PROCESO	ACTORES	CONDUCTA
SISTEMA DE DESHIDRATACIÓN Y DESALADO DE CRUDO	Tratadores termoelectrostáticos	Recipientes a presión que cuentan en su interior con sistemas de tubos de fuego que calientan el crudo y posteriormente es tratado con sistemas de electrodos de alto voltaje que permiten la floculación, coagulación y sedimentación de agua para cumplir con la separación de la emulsión que contiene agua crudo y sal.
	Tanque atmosférico tipo Gun Barrel	Recipientes atmosféricos que cumplen la función de separación multifásica de fluidos inicial por medio de prolongado tiempo de residencia del fluido en su interior, posterior a la extracción de los hidrocarburos del campo petrolero. Esta opción no cumple con las características de entrega de crudo a refinería.
	Tanque atmosférico de alta eficiencia	Recipiente atmosférico que cumple la función de separación de emulsión por medio de prolongado tiempo de residencia, cuenta en su interior con sistema de distribuidor interno con perforaciones que permiten una mejor distribución del fluido en el interior del tanque permitiendo entregar el fluido con condiciones óptimas a refinería.

Fuente: Elaboración Propia

La Tabla 12 muestra una calificación de acuerdo con los beneficios del funcionamiento de cada tecnología seleccionada, mostrando un puntaje dominante por parte de la tecnología de tratadores termoelectrostáticos y el tanque de alta eficiencia.

Tabla 12. Análisis competitivo de acuerdo con el impacto para las tecnologías a implementar en PLTC

MATRIZ DE ANÁLISIS COMPETITIVO			BAJO	MEDIO	MEDIO BAJO	MEDIO ALTO	ALTO ALTO
CALIFICACIÓN DE ACUERDO AL IMPACTO			1	2	3	4	5
PROCESO	ACTORES	CONDUCTAS	1	2	3	4	5
SISTEMA DE DESHIDRATACIÓN Y DESALADO DE CRUDO	Tratadores termoelectros táticos	Recipientes a presión que cuentan en su interior con sistemas de tubos de fuego que calientan el crudo y posteriormente es tratado con sistemas de electrodos de alto voltaje que permiten la floculación, coagulación y sedimentación de agua para cumplir con la separación de la emulsión que contiene agua crudo y sal.				X	
	Tanque atmosférico tipo Gun Barrel	Recipientes atmosféricos que cumplen la función de separación multifásica de fluidos inicial por medio de prolongado tiempo de residencia del fluido en su interior, posterior a la extracción de los hidrocarburos del campo petrolero. Esta opción no cumple con las características de entrega de crudo a refinería.			X		
	Tanque atmosférico de alta eficiencia	Recipiente atmosférico que cumple la función de separación de emulsión por medio de prolongado tiempo de residencia, cuenta en su interior con sistema de distribuidor interno con perforaciones que permiten una mejor distribución del fluido en el interior del tanque permitiendo entregar el fluido con condiciones óptimas a refinería.					X

Fuente: Elaboración Propia

Dentro de la Tabla 13, se presenta finalmente la matriz de competitividad entre las tres tecnologías expuestas, dando como resultado más beneficioso para el proyecto la instalación de un tanque de alta eficiencia.

Tabla 13. Matriz de Perfil Competitivo para las tecnologías a implementar en PLTC

IMPACTO DE TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DE DESHIDRATACIÓN Y DESALADO DE CRUDO							
MATRIZ DE PERFIL COMPETITIVO							
FACTORES CLAVE DEL ÉXITO	FACTOR DE PONDERACIÓN	Tanque Gun Barrel		Tratador termoelectrostático		Tanque de Alta Eficiencia	
		Calificación	Puntaje	Calificación	Puntaje	Calificación	Puntaje
Facilidad de contacto con fabricantes y proveedores	0,06	9	0,54	7	0,42	9	0,54
Facilidad de realización de ingeniería	0,08	9	0,72	8	0,64	9	0,72
Facilidad de construcción del equipo o recipiente	0,07	8	0,56	9	0,63	8	0,56
Facilidad de construcción de obras y servicios complementarios	0,08	8	0,64	9	0,72	9	0,72
Consumo de energía eléctrica	0,09	9	0,81	2	0,18	10	0,9
Consumo de gas combustible	0,09	9	0,81	2	0,18	10	0,9
Costos asociados al proyecto	0,07	6	0,42	9	0,63	7	0,49
Cumplimiento de entrega de características del fluido a refinería	0,13	2	0,26	10	1,3	10	1,3
Impacto ambiental de la tecnología	0,12	8	0,96	2	0,24	10	1,2
Facilidad de ampliación del sistema	0,06	5	0,3	6	0,36	5	0,3
Tiempo de realización de ingeniería y construcción	0,07	8	0,56	9	0,63	8	0,56
Costos relacionados con el mantenimiento del equipo o recipiente	0,08	8	0,64	8	0,64	9	0,72
	1	89	7,22	81	6,57	104	8,91

Fuente: Elaboración Propia

Con información de aumento de producción en el campo petrolero y zona de influencia donde se encuentra la planta PLTC, se requiere aumentar la capacidad de tratamiento de deshidratación y desalado de crudo. Una propuesta inicial más económica a corto plazo es la instalación de un tratador termoelectrostático adicional que completará el sistema con una capacidad de 60.000 BOPD, pero aumentando el consumo de energía eléctrica y el consumo de gas en el proceso.

Buscando una mejora continua en los procesos industriales que se trabajan en la industria de Oil & Gas, se presenta la propuesta de optimizar el proceso de deshidratación y desalado de crudo dentro de la planta PLTC instalando un tanque atmosférico de alta eficiencia bajo la norma API 650. Este recipiente manejará todo el fluido entrante a la estación y se espera que, con su instalación, se suspenda el servicio de los dos hornos calentadores de crudo y los cuatro tratadores termoelectrostáticos existentes en la planta.

Para llevar a cabo este proyecto, desde el punto de vista de ingeniería se plantean inicialmente las siguientes fases para dar completa viabilidad al sistema propuesto:

1. Realizar caracterización de los fluidos de entrada a PLTC.
2. Realizar pruebas de laboratorio del estado actual de entrega de fluido a refinería.
3. Construir bajo parámetros de procesos la geometría virtual del tanque de alta eficiencia con el sistema de distribuidor interno.
4. Realizar modelo enmallado de las geometrías completas del tanque en software ANSYS MESHING.®
5. Realizar simulación fluidodinámica CFD (Dinámica de Fluidos Computacional) con las geometrías completas del tanque y el distribuidor interno en software ANSYS FLUENT.®

6. Analizar los resultados arrojados en las simulaciones y determinar si por medio de estas la capacidad de separación de la mezcla emulsionada agua-crudo cumple con las características de fluido que exige la refinería.

El pronóstico de operación de este tanque de alta eficiencia se estima a 20 años. En este tiempo se plantea la realización de 4 mantenimientos, uno cada 5 años y el costo aproximado del mantenimiento al quinto año es \$ 1.015.000.000 COP. Es importante resaltar que, en el momento de la realización de los mantenimientos, la planta debe contar con tanques de almacenamiento o sistemas alternos para poder mitigar la parada del tanque.

Con base en la Tabla 3, la cual muestra el costo del consumo de energía eléctrica y gas combustible actualmente en la planta PLTC, se estableció que asciende a \$ 25.188.528 COP por día y por tanto, se puede afirmar que el ahorro de los mismos durante los 20 años de operación del tanque de alta eficiencia es de aproximadamente \$255.271.673.227 COP (ver Tabla 14), tomando un índice de inflación proyectado con base en cifras de analistas del banco de la república para el año 2021 y respectivamente se utilizó un modelo de regresión lineal simple para proyectar los IPC hasta el año 2040 asumiendo que el rango oscila entre el 2% y el 4% según la meta de inflación del Banco de la República

Tabla 14. Pronóstico de costo de consumo de energía eléctrica y gas sistema de tratadores

AÑO	COSTO ANUAL
AÑO 1	\$9.193.812.720,00
AÑO 2	\$9.490.811.265,22
AÑO 3	\$9.865.739.100,83
AÑO 4	\$10.196.877.952,59
AÑO 5	\$10.522.889.591,44
AÑO 6	\$10.858.569.135,00

AÑO	COSTO ANUAL
AÑO 7	\$11.198.885.108,21
AÑO 8	\$11.573.273.964,38
AÑO 9	\$11.962.352.300,89
AÑO 10	\$12.352.776.661,02
AÑO 11	\$12.754.035.571,70
AÑO 12	\$13.169.416.157,81
AÑO 13	\$13.599.792.650,66
AÑO 14	\$14.047.269.371,88
AÑO 15	\$14.508.234.046,63
AÑO 16	\$14.982.382.641,35
AÑO 17	\$15.472.135.887,73
AÑO 18	\$15.978.427.922,51
AÑO 19	\$16.501.698.086,98
AÑO 20	\$17.042.293.091,04
Total a los 20 años	\$255.271.673.227,89

Fuente: Elaboración Propia

Así mismo, con base a los datos de costos de mantenimiento de los recipientes actuales para la deshidratación y desalado de crudo, los cuales se establecen anualmente en \$ 931.200.000 COP, se puede afirmar que el ahorro de estos durante los 20 años de operación del tanque de alta eficiencia es de aproximadamente \$ 25.855.321.329 COP (ver Tabla 15) utilizando la misma metodología de los IPC proyectados en la tabla anterior.

Tabla 15. Pronóstico de costo de mantenimiento sistema de tratadores

AÑO	COSTO ANUAL
AÑO 1	\$931.200.000,00
AÑO 2	\$961.281.648,79
AÑO 3	\$999.256.405,42
AÑO 4	\$1.032.795.972,53
AÑO 5	\$1.065.816.227,28
AÑO 6	\$1.099.815.700,67
AÑO 7	\$1.134.284.777,20
AÑO 8	\$1.172.204.943,03
AÑO 9	\$1.211.612.940,34
AÑO 10	\$1.251.157.270,34
AÑO 11	\$1.291.798.983,30

AÑO	COSTO ANUAL
AÑO 12	\$1.333.871.017,35
AÑO 13	\$1.377.461.919,44
AÑO 14	\$1.422.784.826,87
AÑO 15	\$1.469.473.868,53
AÑO 16	\$1.517.498.250,24
AÑO 17	\$1.567.103.157,03
AÑO 18	\$1.618.383.203,42
AÑO 19	\$1.671.382.888,32
AÑO 20	\$1.726.137.328,41
TOTAL	\$ 25.855.321.329

Fuente: Elaboración Propia

Sin embargo, hay que tener presente, que el tanque de alta eficiencia propuesto para el proceso de deshidratación y desalado de crudo requiere igualmente tareas de mantenimiento cada cinco años y los costos relacionados proyectados a los años 5, 10, 15 y 20 son los relacionados en la Tabla 16, que se presenta a continuación.

Tabla 16. Pronóstico de costo de mantenimiento tanque alta eficiencia

AÑO	COSTO ANUAL
AÑO 5	\$ 1.013.640.811,00
AÑO 10	\$ 1.197.184.362,95
AÑO 15	\$ 1.361.924.474,00
AÑO 20	\$ 1.599.569.033,34
TOTAL	\$ 5.172.318.681,29

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, el ahorro neto relacionado con los mantenimientos de los equipos para el proceso de deshidratación y desalado de crudo en la planta PLTC es de \$279.312.423.434,60 COP según la tabla que se presenta a continuación.

Tabla 17. Resumen de ahorro de costos con instalación del tanque de alta eficiencia

AÑO	COSTO CONSUMO ENERGÍA ELÉCTRICA Y GAS (1)	COSTO MANT. TRATADORES (2)	COSTO TANQ. ALTA EFICIENCIA (3)	AHORRO TOTAL CON TANQUE DE ALTA EFICIENCIA (1) + (2) - (3)
AÑO 1	\$9.193.812.720,00	\$931.200.000,00		\$ 10.125.012.720,00
AÑO 2	\$9.490.811.265,22	\$961.281.648,79		\$ 10.463.915.265,22
AÑO 3	\$9.865.739.100,83	\$999.256.405,42		\$ 10.882.632.780,83
AÑO 4	\$10.196.877.952,59	\$1.032.795.972,53		\$ 11.259.531.848,59
AÑO 5	\$10.522.889.591,44	\$1.065.816.227,28	\$1.013.640.811,00	\$ 10.619.722.101,44
AÑO 6	\$10.858.569.135,00	\$1.099.815.700,67		\$ 12.019.013.755,00
AÑO 7	\$11.198.885.108,21	\$1.134.284.777,20		\$ 12.411.549.736,21
AÑO 8	\$11.573.273.964,38	\$1.172.204.943,03		\$ 12.840.508.501,38
AÑO 9	\$11.962.352.300,89	\$1.211.612.940,34		\$ 13.286.612.391,89
AÑO 10	\$12.352.776.661,02	\$1.251.157.270,34	\$1.197.184.362,95	\$ 12.539.444.093,06
AÑO 11	\$12.754.035.571,70	\$1.291.798.983,30		\$ 14.200.160.697,70
AÑO 12	\$13.169.416.157,81	\$1.333.871.017,35		\$ 14.680.616.913,81
AÑO 13	\$13.599.792.650,66	\$1.377.461.919,44		\$ 15.178.997.440,66
AÑO 14	\$14.047.269.371,88	\$1.422.784.826,87		\$ 15.697.538.377,88
AÑO 15	\$14.508.234.046,63	\$1.469.473.868,53	\$1.361.924.474,00	\$ 14.870.840.683,63
AÑO 16	\$14.982.382.641,35	\$1.517.498.250,24		\$ 16.784.517.652,35
AÑO 17	\$15.472.135.887,73	\$1.567.103.157,03		\$ 17.355.366.974,73
AÑO 18	\$15.978.427.922,51	\$1.618.383.203,42		\$ 17.946.404.407,51
AÑO 19	\$16.501.698.086,98	\$1.671.382.888,32		\$ 18.558.233.513,98
AÑO 20	\$17.042.293.091,04	\$1.726.137.328,41	\$1.599.569.033,34	\$ 17.591.803.578,71
Total a los 20 años	\$255.271.673.227,89	\$ 25.855.321.329	\$5.172.318.681,29	\$279.312.423.434,60

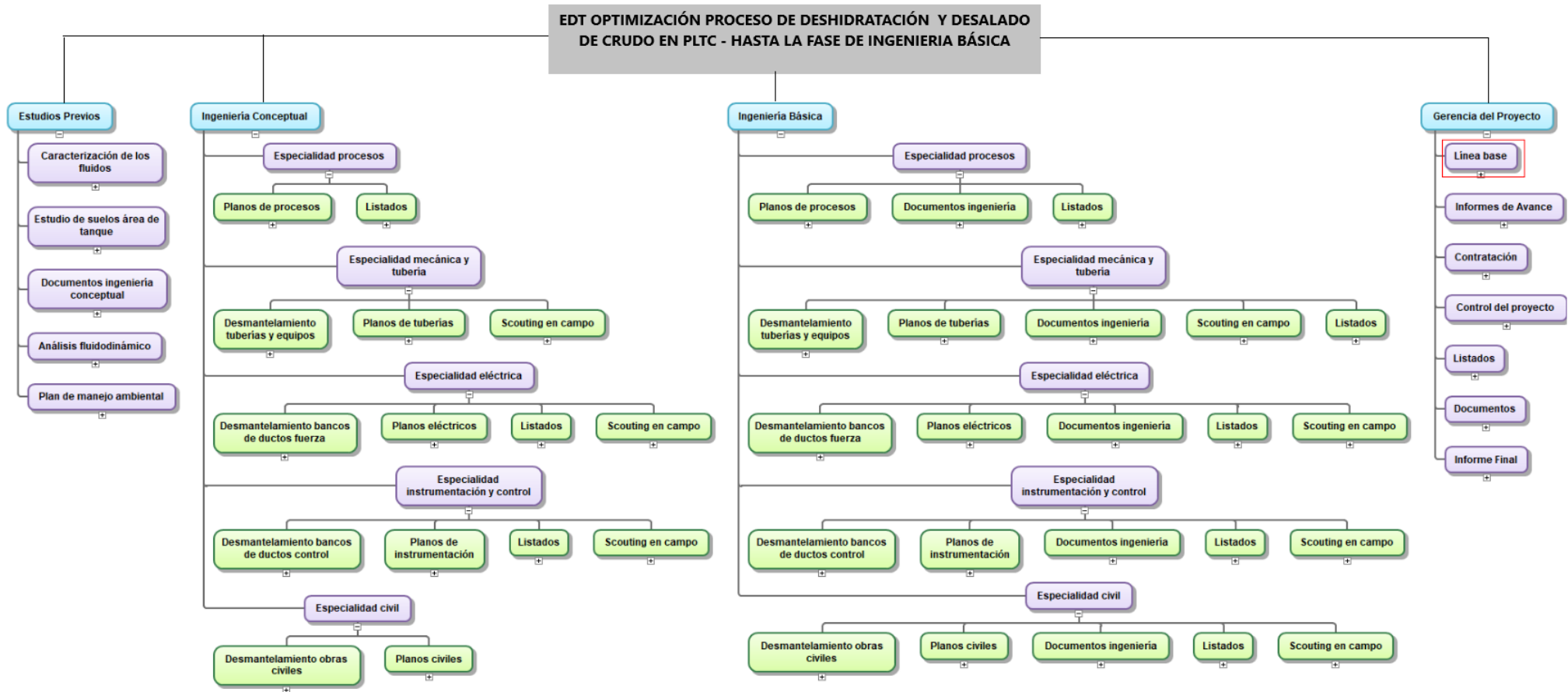
Fuente: Elaboración Propia

7.4.1 Estructura de Trabajo (EDT) para la optimización del proceso de deshidratación de crudo en la planta PLTC

En ese acápite se presenta La EDT para la optimización del proceso de deshidratación de crudo en la planta PLTC, hasta la fase de ingeniería básica, dado que por la magnitud del proyecto es recomendable elaborar el cronograma de actividades por fases, para la elaboración de la EDT se tuvo en cuenta todos los entregables y sus correspondientes paquetes de trabajo los

cuales se muestran en la Figura 8, en el cual se puede evidenciar por colores cada nivel de la EDT.

Figura 8. EDT Propuesta Optimización Proceso de Deshidratación de crudo en PLTC



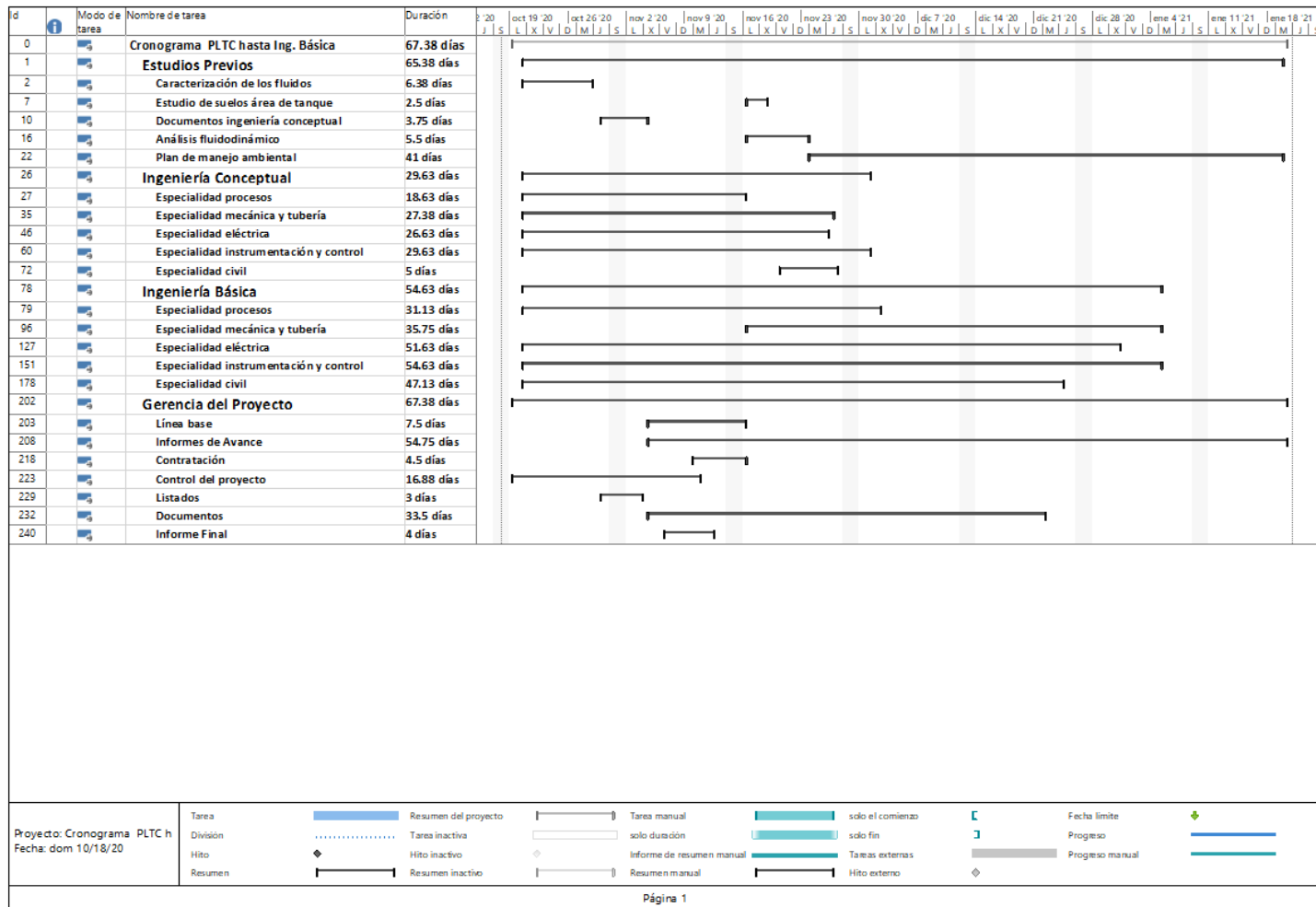
Fuente: elaboración Propia

7.4.2 Cronograma de Actividades

De la misma manera que la EDT el cronograma de actividades para esta investigación se presenta hasta la fase de ingeniería básica, incluyendo una fase de Gerencia de Proyectos como buenas prácticas. En la Figura 9 se presenta el cronograma completado hasta las tareas resumen y en el Anexo 1 de esta investigación se presenta en detalle todo el cronograma de actividades con sus tiempos especificados y sus correspondientes actividades predecesoras.

Cabe resaltar que este cronograma puede tener variaciones y se podrá ajustar a las necesidades de la planta PLTC si hay lugar a ello. Luego de la fase de ingeniería básica y los ajustes respectivos se puede plantear la fase de ingeniería detallada y construcción.

Figura 9. Cronograma de Actividades



Fuente: elaboración Propia

CONCLUSIONES

Se realizó el análisis de los sistemas actuales de tratamiento de deshidratación y desalado de crudo dentro de la planta PLTC, identificando las variables involucradas en el proceso como lo son la energía eléctrica, el gas combustible, los barriles de crudo producidos al día BOPD por sus siglas en inglés, dando como resultado una propuesta de mejora que se verá reflejada en el ahorro de consumibles y mejor eficiencia en la producción de crudo de la planta PLTC.

El desarrollo de la investigación arrojó los datos de consumo de energía eléctrica y consumo de gas combustible en el proceso actual de deshidratación y desalado de crudo de la planta PLTC donde se expone el uso de recipientes a presión denominados tratadores termoelectrostáticos. Los datos recopilados sirvieron como punto de partida para evaluar la propuesta de optimización del proceso.

Con base al análisis de diferentes tecnologías usadas para el proceso de deshidratación y desalado de crudo, donde se exponen las alternativas de tratamiento con tratadores termoelectrostáticos, los tanques atmosféricos tipo “Gun Barrel” y finalmente la propuesta de optimización del proceso con un tanque atmosférico de alta eficiencia, se concluye esta última como la alternativa más óptima en función de eficiencia energética, características de fluido, impacto ambiental, entre otros. Según la información recopilada y el puntaje obtenido mediante el sistema de calificación realizado para esta investigación, satisface las necesidades de la planta PLTC entregando un fluido a la refinería con las características fisicoquímicas ideales.

En la realización del cronograma de actividades para la optimización del proceso de la planta PLTC, se concluye que debido a la magnitud del proyecto se requiere que la entrega del cronograma se realice por fases al igual que la ejecución del proyecto, cabe resaltar que esto incluye la recopilación de información, ingeniería conceptual e ingeniería básica. Igualmente se

identifica el trabajo multidisciplinario en que se debe incurrir para el manejo de un proyecto de este tamaño.

RECOMENDACIONES

Para estudios posteriores, se recomienda el estudio físico y químico de los fluidos con el fin de determinar las mejores condiciones tanto de diseño como de ingeniería del tanque de alta eficiencia asegurando un tiempo de residencia adecuado del fluido y una distribución homogénea en su interior que permita la separación de fluidos eficientemente.

Con los resultados obtenidos en esta investigación, se recomienda la implementación de sistemas de deshidratación y desalado de crudo no solo en la planta PLTC sino en el sector Oil & Gas en general, ayudando a mejorar la eficiencia energética de los procesos industriales del sector y mitigando los efectos del cambio climático.

Con el fin de mejorar las condiciones medioambientales en el mundo entero, se debe buscar un progreso en tecnologías actuales de todo tipo de industria, mejorando así los costos de consumibles energéticos y generando mejores utilidades para los inversionistas de cualquier sector industrial.

Lista de referencias

Abdel Aal, H. K., Zohdy, K., & Abdelkreem, M. (2018). Waste Management in Crude Oil Processing: Crude Oil Dehydration and Desalting. *International Journal of Waste Resources*, 08(01). <https://doi.org/10.4172/2252-5211.1000326>

Abuin, G. (2016, enero). *Lact Unidades de Medición Fiscal* [Business].

<http://www.agoilcorp.com/>. <http://www.agoilcorp.com/download/AG-LCT00-2016.01.pdf>

Agencia Nacional de Hidrocarburos. (2016). *Glosario de Términos, Unidades y Equivalencias* [Governmental]. Agencia Nacional de Hidrocarburos.

<https://www.anh.gov.co/Asignacion-de-areas/Asignacion%20de%20areas/Anexo%201%20-%20Glosario%20de%20T%C3%A9rminos%20Unidades%20y%20Equivalencias.pdf>

Alvarez, B. (2007). Importancia de la implementación del manual de procesos y procedimientos para el logro de los objetivos de las escuelas populares del deporte pertenecientes al instituto de deportes y recreación de Medellín, Ider. *Medellín, Colombia*.

ANH. (2016). *Anexo 1—Glosario de Términos Unidades y Equivalencias.pdf* [Gubernamental].

Agencia Nacional de Hidrocarburos. <https://www.anh.gov.co/Asignacion-de-areas/Asignacion%20de%20areas/Anexo%201%20-%20Glosario%20de%20T%C3%A9rminos%20Unidades%20y%20Equivalencias.pdf>

ANH. (2019, agosto). *Colombia Petrolera* [Governmental]. <http://www.anh.gov.co/>.

<http://www.anh.gov.co/Banco%20de%20informacion%20petrolera/Colombia%20Petrolera/Paginas/default.aspx>

- Arnold, K., & Steward, M. (2008). *Surface Production Operations* (Tercera, Vol. 1). Elsevier.
https://www.academia.edu/31686267/Ken_Arnold_Surface_Production_Operations_Volume_1_3rdE
- Bernstein, P. A., & Newcomer, E. (2009). Business Process Management. En *Principles of Transaction Processing* (pp. 121-139). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-1-55860-623-4.00005-6>
- Brenda, A. B. (2015). *Selección y formulación de un agente desemulsificante para la deshidratación del crudo proveniente de la plataforma Albacora, Lote Z-1* [UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA].
<http://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/UNP/871/QUI-ABA-BUR-15.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cauas, D. (2015). Definición de las variables, enfoque y tipo de investigación. *Bogotá: biblioteca electrónica de la universidad Nacional de Colombia*, 2, 1-11.
- CELSIA. (2017, enero 3). *Cinco pasos para saber medir el consumo de energía en tu hogar* [Business]. Eficiencia energética y energía solar en Colombia.
<https://blog.celsia.com/new/5-pasos-para-saber-medir-tu-consumo-de-energia-en-tu-hogar/>
- Cleveland, C. J., & Morris, C. G. (2014). *Dictionary of Energy*. Elsevier.
<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliotecaean-ebooks/detail.action?docID=1821967>
- Ley No. 143, Pub. L. No. 143, 34 (1994).
http://www.upme.gov.co/normatividad/upme/ley_143_1994.pdf

Corredor-Rojas, L. M., Uribe-Rodríguez, A., & Cobos-Gómez, J. C. (2016). Monitoring and evaluation of energy use in oil treatment facilities. *DYNA*, 83(197), 68-73.

<https://doi.org/10.15446/dyna.v83n197.49600>

De Soto, J. H. (2010). La teoría de la eficiencia dinámica. *Revista de Economía*, 7(2), 42.

Delgado-Linares, J. G., Gutiérrez, C., Salazar, F., Guevara, M., Mercado, R., & Pereira, J. C.

(2013). Aplicación de conceptos clásicos de la Física en la práctica ingenieril. La ley de Stokes como herramienta conceptual en el análisis de procesos de deshidratación del petróleo. *Educación Química*, 24(1), 57-62. [https://doi.org/10.1016/S0187-](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(13)73196-3)

[893X\(13\)73196-3](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(13)73196-3)

Douglas L. Erwin, P. E. (2014). *Oil and Gas Production Surface Facility Design and Rating* (Second Edition). McGraw-Hill Education; 4.6. Three-Phase Horizontal Separator.

</content/book/9780071819800/chapter/chapter4>

Enggcyclopedia. (2012, junio). *Desalting of crude oil in refinery* [Educational/Business].

<https://www.Enggcyclopedia.Com/>.

<https://www.Enggcyclopedia.com/2012/06/desalting-crude-oil-refinery/>

ESCALANTE DELMAR, C. M. (2019). *LA DIRECCIÓN DE PROYECTOS EN BASE AL CONOCIMIENTO PMBOK ORIENTADA A LA OPTIMIZACIÓN DE LA GESTIÓN DE INFORMACIÓN DE LAS HISTORIAS CLÍNICAS, EN LA CLÍNICA VIRGEN DEL ROSARIO* [Universidad nacional Federico Villareal].

<http://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/UNFV/3604/ESCALANTE%20DELMAR%20%20CARLOS%20MANUEL%20-%20MAESTRIA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Forero, J. E., Ortiz, O. P., Nariño, F. A., Diaz, J., & Peña, H. (2008). DESIGN AND DEVELOPMENT OF A HIGH EFFICIENCY TANK FOR CRUDE OIL DEHYDRATION (I). *Ciencia, Tecnología y Futuro*, 3(4), 185-199.
- Foro de la Industria Nuclear Española. (2019, febrero). *¿Qué es el gas natural y qué usos tiene?* [Business]. www.foronuclear.org. <https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/preguntas-y-respuestas/sobre-distintas-fuentes-de-energia/que-es-el-gas-natural-y-que-usos-tiene/>
- Guerrero Suárez, F., & Llano Camacho, F. (2003). GAS NATURAL EN COLOMBIA - GAS e.s.p. *Estudios Gerenciales*, 19(87), 115-146.
- Haratian, M., Amidpour, M., & Hamidi, A. (2019). Modeling and optimization of process fired heaters. *Applied Thermal Engineering*, 157, 113722. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.113722>
- Howe Baker International. (s. f.). *CRUDE OIL DESALTER/DEHYDRATION* [<https://howe-baker.com>]. <https://howe-baker.com>. https://howe-baker.com/crude-oil-desalter_dehydration/
- Ingrid, V., & Juan, P. (2014). Emulsiones de agua en crudo. Aspectos Generales. *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/publication/274836394_Emulsiones_de_agua_en_crudo_Aspectos_Generales
- Jablonsky, J., & Skocdopolova, V. (2017). Análisis y Optimización del Proceso de Producción en una Empresa Procesadora de Leche. *Información Tecnológica*, 28(4), 39-46. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000400006>
- JIMENEZ GUERRA, L. M. (2017). *OPTIMIZACION PROCESO CREACIÓN DE CLIENTES* [TECNOLÓGICO DE ANTIOQUIA – INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA].

<https://dspace.tdea.edu.co/bitstream/handle/tda/191/OPTIMIZACION%20PROCESO%20CREACION%20DE%20CLI;jsessionid=39DF575F162E97B1F463968F9818C09D?sequence=1>

Jorge Enrique, F. S., Javier, D. S., Olga Patricia, O. C., Hermes, P. V., & Fredy Abelardo, N. R. (2011). *SISTEMA PARA DESHIDRATAACION Y DESALADO DE HIDROCARBUROS* (Organización Mundial de la Propiedad Intelectual Patent N.º WO 2011/077198 A1).

<https://patentimages.storage.googleapis.com/f3/ed/de/8d0a3341cbf3f1/WO2011077198A1.pdf>

Kelley, T. R. (2010). Optimization, an Important Stage of Engineering Design. En *Purdue University* (pp. 18-23).

https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1031&context=ncete_publications

Mahdi, K., Gheshlaghi, R., Zahedi, G., & Lohi, A. (2008). Characterization and modeling of a crude oil desalting plant by a statistically designed approach. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 61(2), 116-123. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2008.05.006>

Marfisi, S., & Salager, J. L. (2004). *DESHIDRATACIÓN DE CRUDO Principios y Tecnología*. Laboratorio FIRP Escuela de INGENIERIA QUIMICA, UNIVERSIDAD de Los ANDES Mérida 5101 VENEZUELA. https://es.firp-ula.org/wp-content/uploads/2019/07/S853PP_Deshidratacion.pdf

MICHAEL PAGE. (2020). *Estudio de Remuneración Colombia 2019-2020*. PageGroup.

https://www.michaelpage.com.co/sites/michaelpage.com.co/files/estudio_de_remuneracion_michael_page_2019-2020.pdf

RESOLUCIÓN No. 007, Pub. L. No. Ley 142 de 1994, 10 (2000).

<http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/Indice01/Resoluci%C3%B3n-2000-CREG007-2000>

Ministerio de Minas y Energía. (2015). *Hidrocarburos—Ministerio de Minas y Energía*

[Governmental]. Minenergía. <https://www.minenergia.gov.co/gas-natural1>

Niedermann, F., & Schwarz, H. (2011). Deep Business Optimization: Making Business Process

Optimization Theory Work in Practice. En T. Halpin, S. Nurcan, J. Krogstie, P. Soffer, E.

Proper, R. Schmidt, & I. Bider (Eds.), *Enterprise, Business-Process and Information*

Systems Modeling (Vol. 81, pp. 88-102). Springer Berlin Heidelberg.

https://doi.org/10.1007/978-3-642-21759-3_7

Patterson, M. G. (1996). What is energy efficiency?: Concepts, indicators and methodological

issues. *Energy Policy*, 24(5), 377-390. [https://doi.org/10.1016/0301-4215\(96\)00017-1](https://doi.org/10.1016/0301-4215(96)00017-1)

Perez, N. (2017). *PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EL DISEÑO Y OPERACIÓN DE*

INSTALACIONES DE SEPARACIÓN Y PROCESAMIENTO DE CRUDO [Tesis de

Maestria, Universidad Nacional de Colombia].

<http://bdigital.unal.edu.co/57228/1/1075662561.2017.pdf>

Piping Engineering. (2014, junio 4). *Crude Oil Processing on Offshore Facilities* [Educational].

<Http://Www.Piping-Engineering.Com/>. [http://www.piping-engineering.com/crude-oil-](http://www.piping-engineering.com/crude-oil-processing-offshore-facilities.html)

[processing-offshore-facilities.html](http://www.piping-engineering.com/crude-oil-processing-offshore-facilities.html)

PMI, G. D. L. F. P. (2013). *LA DIRECCIÓN DE PROYECTOS (Guía del PMBOK®)—Quinta*

edición, Newtown Square, Pensilvania 19073-3299 EE. UU. *Project Management*

Institute, Inc.

- Polanía, M. A. R. (2014). *Análisis del funcionamiento, uso y aplicación de los tratadores térmicos electrostáticos* [UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER].
<http://noesis.uis.edu.co/bitstream/123456789/33734/1/155773.pdf>
- Puin Lamus, N. A. (2016). *Adaptación de estrategias para reducir pérdidas en obra mediante el diseño de formatos ligados a un sistema de gestión de calidad y productividad para la empresa Ingeniería & Proyectos Civiles y Arquitectónicos Pinar S.A.S.*
<https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/13965>
- Qiao, Y., Yang, J., Cai, H., Cheng, P., & Xu, X. (2016). High-efficiency separation for SAGD produced liquids. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 145, 148-153.
<https://doi.org/10.1016/j.petrol.2016.04.001>
- Ramírez, R. H. (2004). Diseños de Investigación. *Como hacer un proyecto de investigación*.
- Reyes-Cárdenas, F., & Padilla, K. (2012). La indagación y la enseñanza de las ciencias. *Educación química*, 23(4), 415-421.
- Rosenberg, N. (1998). The Role of Electricity in Industrial Development. *The Energy Journal*, 19(2), 7-24. JSTOR.
- Sampieri, R. H. (2014). Capítulo 1. Definiciones de los enfoques cuantitativo y cualitativo, sus similitudes y diferencias. En *Metodología de la investigación* (Sexta Edición, pp. 2-21). McGraw Hill Education.
- Semih, E. (2020). *Desalting and Distillation / FSC 432: Petroleum Refining* [Educational].
<https://www.e-education.psu.edu/>. <https://www.e-education.psu.edu/fsc432/content/desalting-and-distillation>

- Stewart, M., & Arnold, K. (2009). Chapter 1—Crude Oil Treating Systems. En M. Stewart & K. Arnold (Eds.), *Emulsions and Oil Treating Equipment* (pp. 1-80). Gulf Professional Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-8970-0.00001-3>
- Susana, C. P. (1998). *PETROQUÍMICA Y SOCIEDAD* (segunda edición, Vol. 2). D.R. © 1998, FONDO DE CULTURA ECONÓMICA.
http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/39/html/sec_7.html
- Unidad de Planeación Minero Energética, U. (2013). *Cadena del Petroleo* [Gubernamental].
Unidad de Planeación Minero Energética.
http://www.upme.gov.co/Docs/CadenadelPetroleo_sp.pdf
- Utrera García, J. Á., & Sánchez Orozco, N. (2019). *Optimización del diseño del distribuidor de un tanque atmosférico deshidratador de crudo* [Tesis a fin de obtener el título Ingeniero Petrolero, Instituto Politecnico Nacional].
<http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/handle/123456789/26714>
- Wonder Legal España. (2020). *Acuerdo de confidencialidad (NDA)* [Business].
<https://www.wonder.legal/>. <https://www.wonder.legal/es/modele/acuerdo-de-confidencialidad-nda>
- Worrell, E., Bernstein, L., & Roy, J. (2009). *Industrial Energy Efficiency and Climate Change Mitigation*. 37.

**Anexo 1 Cronograma Detallado de
Actividades hasta la Fase de Ingeniería
Básica de la propuesta de Optimización del
Proceso de Deshidratación y Desalado de
Crudo en la Planta PLTC**

<https://drive.google.com/file/d/1Ing5sE70PkOx80IHijBBtOjySYzxX8AN/view?usp=sharing>