



Tecnológico UNIVERSITARIO
‘RUMIÑAHUI’

CARRERA:

PETRÓLEOS

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
TECNOLÓGO SUPERIOR EN PETRÓLEOS**

TEMA:

Implementación de un separador de producción de agua libre o separador electrostático en la central de procesamientos de fluidos Tiputini para la reducción de la fracción de agua en el petróleo producido en el bloque 43 del año 2024

AUTOR:

José Daniel Aveiga Marquínez

Francisco Xavier Carvajal Cabascango

DIRECTOR:

Ing. Luis Alvarez

Sangolquí, marzo, 2024

CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CT-ANX-2024-ISTER-6-6.2

Sangolquí, 04 de noviembre de 2024

MSc. Elizabeth Ordoñez
DIRECTORA DE DOCENCIA

MSc. Mónica Loachamín
COORDINADORA DE TITULACIÓN

**INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO RUMIÑAHUI CON CONDICIÓN DE
UNIVERSITARIO**

Presente

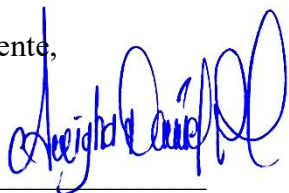
Por medio de la presente, yo JOSE DANIEL AVEIGA MARQUINEZ, declaro y acepto en forma expresa lo siguiente: Ser autor del trabajo de titulación denominado IMPLEMENTACIÓN DE UN SEPARADOR DE AGUA LIBRE O SEPARADOR ELECTROESTÁTICO EN LA CENTRAL DE PROCESAMIENTO DE FLUIDOS TIPUTINI PARA LA REDUCCIÓN DE LA FRACCIÓN DE AGUA EN EL PETRÓLEO PRODUCIDO EN EL BLOQUE 43 DEL AÑO 2024.

de la Tecnología Superior en Petróleos; y a su vez manifiesto mi voluntad de ceder al Instituto Superior Tecnológico Rumiñahui con condición de Universitario los derechos de reproducción, distribución y publicación de dicho trabajo de titulación, en cualquier formato y medio, con fines académicos y de investigación.

Esta cesión se otorga de manera no exclusiva y por un periodo indeterminado. Sin embargo, conservo los derechos morales sobre mi obra.

En fe de lo cual, firmo la presente.

Atentamente,



JOSE DANIEL AVEIGA MARQUINEZ
C.I. 2100453477

CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CT-ANX-2024-ISTER-6-6.2

Sangolquí, 08 de noviembre de 2024

MSc. Elizabeth Ordoñez
DIRECTORA DE DOCENCIA

MSc. Mónica Loachamín
COORDINADORA DE TITULACIÓN

INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO RUMIÑAHUI CON CONDICIÓN DE UNIVERSITARIO

Presente

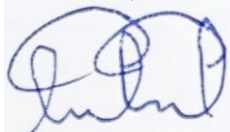
Por medio de la presente, yo FRANCISCO XAVIER CARVAJAL CABASCANGO, declaro y acepto en forma expresa lo siguiente: Ser autor del trabajo de titulación denominado IMPLEMENTACIÓN DE UN SEPARADOR DE AGUA LIBRE O SEPARADOR ELECTROESTÁTICO EN LA CENTRAL DE PROCESAMIENTO DE FLUIDOS TIPUTINI PARA LA REDUCCIÓN DE LA FRACCIÓN DE AGUA EN EL PETRÓLEO PRODUCIDO EN EL BLOQUE 43 DEL AÑO 2024.

de la Tecnología Superior en Petróleos; y a su vez manifiesto mi voluntad de ceder al Instituto Superior Tecnológico Rumiñahui con condición de Universitario los derechos de reproducción, distribución y publicación de dicho trabajo de titulación, en cualquier formato y medio, con fines académicos y de investigación.

Esta cesión se otorga de manera no exclusiva y por un periodo indeterminado. Sin embargo, conservo los derechos morales sobre mi obra.

En fe de lo cual, firmo la presente.

Atentamente,



FRANCISCO XAVIER CARVAJAL CABASCANGO

C.I. 2101127492

**FORMULARIO PARA ENTREGA DE PROYECTOS EN
BIBLIOTECA INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO
RUMIÑAHUI CON CONDICIÓN DE UNIVERSITARIO**

CT-ANX-2024-ISTER-1

CARRERA:

TECNOLOGÍA SUPERIOR EN PETROLEOS

AUTOR /ES:

AVEIGA MARQUINEZ JOSÉ DANIEL
CARVAJAL CABASCANGO FRANCISCO XAVIER

TUTOR:

ÁLVAREZ LAZO LUIS ALFREDO

CONTACTO ESTUDIANTE:

0967169045
0961213705

CORREO ELECTRÓNICO:

jose.aveiga@ister.edu.ec
francisco.carvajal@ister.edu.ec

TEMA:

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SEPARADOR DE AGUA LIBRE
O SEPARADOR ELECTROESTÁTICO EN LA CENTRAL DE
PROCESAMIENTO DE FLUIDOS TIPUTINI PARA LA
REDUCCIÓN DE LA FRACCIÓN DE AGUA EN EL
PETRÓLEO PRODUCIDO EN EL BLOQUE 43 DEL AÑO 2024.**

OPCIÓN DE TITULACIÓN:

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO/A SUPERIOR EN PETROEOS.

RESUMEN EN ESPAÑOL:

Este proyecto evaluó la implementación de un separador FWKO y un separador electrostático en la Central de Procesamientos de Fluidos Tiputini, Bloque 43, con el objetivo de reducir la fracción de agua en el petróleo producido. El separador electrostático demostró ser mas eficiente, logrando un 99% de eficiencia y solo 1% de BSW, en comparación con el 95% de eficiencia y 5% de BSW del separador FWKO. Esta mayor eficiencia no solo mejora la calidad del crudo, si no que también puede generar hasta 72,000 USD adicionales diarios con una producción de 30,000 barriles, debido al aumento en el valor del crudo mas limpio. Además, el proyecto incluye el diseño, construcción implementación y puesta en marcha de ambos separadores, abordando tanto aspectos Políticos, Económicos, Sociales, Técnicos, Legales y Ambiental (PESTLA); finalmente queda en evidencia teórica que la propuesta del proyecto responde a la problemática y cumple con el objetivo planeado ya que demuestra como la elección adecuada de tecnología puede optimizar tanto la eficiencia operativa como el rendimiento económico en la producción petrolera.

Palabras Clave: Separador- BSW-Crudo -Trifásico – Tiputini – Eficiencia

SOLICITUD DE PUBLICACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CT-ANX-2024-ISTER-2

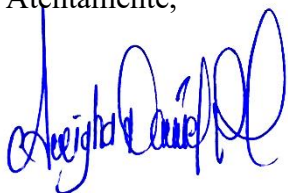
Sres.-

INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO RUMIÑAHUI CON CONDICIÓN DE UNIVERSITARIO

Presente

A través del presente me permito aceptar la publicación del trabajo de titulación de la Unidad de Integración Curricular en el repositorio digital “DsPace” de los estudiantes: JOSE DANIEL AVEIGA MARQUINEZ con C.I. 2100453477, FRANCISCO XAVIER CARVAJAL CABASCANGO con C.I. 2101127492 alumnos de la Carrera TECNOLOGIA SUPERIOR EN PETROLEOS

Atentamente,



JOSE AVEIGA
C.I. 2100453477



FRANCISCO CARVAJAL
C.I. 2101127492

Han sido revisadas las similitudes del trabajo en el software “TURNITING” y cuenta con un porcentaje de 13 %; motivo por el cual, el Proyecto Técnico de Titulación es publicable. (EL PORCENTAJE DE SIMILITUD DEBE SER MÁXIMO DE 15%)

MSc. Elizabeth Ordoñez
DIRECTORA DE DOCENCIA

MSc. Mónica Loachamín
COORDINADORA DE TITULACIÓN

Fecha del Informe 04 / 11 / 2024

ÍNDICE

CAPITULO I.....	9
1. INTRODUCCIÓN	9
1.1. Planteamiento del Problema.....	9
1.2 Justificación.....	11
1.3 Alcance.....	12
1.4. Antecedentes	13
2. OBJETIVOS	17
2.1. Objetivo General	17
2.2. Objetivos Específicos.....	17
CAPITULO II	19
3. MARCO TEÓRICO.....	19
3.1. Fundamentos Teóricos de la Separación de Agua y Crudo	19
3.1.1. Naturaleza y Composición del Crudo	19
3.1.2. Propiedades Físicas del Crudo	19
3.1.3. Tipos de Emulsiones Agua-Crudo	20
3.2. Principios de Separación de Fluidos en la Industria Petrolera.....	20
3.2.1. Separación Gravitacional	20
3.2.2. Separación Mecánica	21
3.2.3. Separación Electroestática	21
3.3. Importancia de la Remoción de Agua en el Procesamiento de Crudo.....	21
3.3.1. Presencia de Agua en el Crudo Principales Efectos.....	22
3.3.2. Normativas y Estándares Internacionales para la Remoción de Agua	22
3.4. Separador FWKO (Free Water Knockout)	23
3.4.1. Separador FWKO, Concepto y Principios de Funcionamiento.....	23
3.5. Tipos de Separadores FWKO	23

3.5.1.	Separadores Horizontales.....	24
3.5.2.	Separadores Verticales	24
3.6.	Diseño y Configuración del Separador FWKO	25
3.6.1.	Componentes Principales	25
3.7.	Separador Electrostático.....	26
3.7.1.	<i>Concepto y Principios de Funcionamiento del Separador Electrostático</i>	26
3.7.2.	Principios de Funcionamiento:.....	27
3.8.	Tipos de Separadores Electrostáticos.....	27
3.8.1.	Separadores de Campo Eléctrico Directo	27
3.8.2.	Separadores de Campo Eléctrico Pulsado.....	27
3.9.	Diseño y Configuración del Separador Electrostático	28
3.9.1.	Componentes Principales	28
3.9.2.	Campo Eléctrico.....	28
3.9.3.	Condiciones Operativas	28
3.9.4.	Aplicaciones	29
3.10.	Criterios en la Selección de Separadores Bajo las Condiciones del Campo 29	
3.10.1.	Tipo de Emulsión:.....	29
3.10.2.	Volumen de Agua:	29
3.10.3.	Espacio y Diseño:.....	29
3.10.4.	Condiciones Operativas:	30
3.11.	Impacto en la Calidad del Crudo y Eficiencia de Procesamiento	30
3.11.1.	Separador FWKO:.....	30
3.11.2.	Separador Electrostático:	30
3.12.	Conclusión del Marco Teórico.....	30
3.12.1.	<i>Resumen de Conceptos Clave:</i>	30

3.12.2.	<i>Implicaciones para el Diseño e Implementación:</i>	31
3.12.3.	<i>Líneas de Investigación Futura:</i>	31
CAPITULO III		32
4.	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN	32
4.1.	Diseño conceptual para un separador de producción de agua libre (FWKO)	35
4.1.1.	Entrada de Fluido	35
4.1.2.	Cámara de Entrada	35
4.1.3.	Cámara de Separación	35
4.1.4.	Cámara de Gas	35
4.1.5.	Cámara de Agua	35
4.1.6.	Salida de Petróleo	36
4.2.	Consideraciones Adicionales	37
4.2.1.	Instrumentación y Control:	37
4.2.2.	Diseño Estructural:	37
4.2.3.	Mantenimiento y Accesibilidad:	37
4.2.4.	Entrada de Fluido (Crudo + Agua):	38
4.2.5.	Separación Gravitacional:	38
4.2.6.	Zona de Sedimentación:	39
4.2.7.	Salida de Agua:	39
4.3.	Cálculos para el Separador de Producción de Agua Libre	39
4.3.1.	<i>Cálculo del Tamaño del Separador</i>	39
4.3.2.	<i>Selección de Materiales</i>	43
4.4.	Diseño conceptual del separador electrostático	43
4.4.1.	Entrada de Fluido	43
4.4.2.	Cámara de Pretratamiento (Opcional)	43
	Placa de Distribución: Asegura una distribución uniforme del fluido.	43

4.4.3.	Cámara de Separación.....	43
4.4.4.	Cámara de Separación de Fases	44
4.4.5.	Salidas de Fluido	44
4.4.6.	Sistema de Control y Monitoreo	44
4.4.7.	<i>Consideraciones Adicionales</i>	45
4.5.	Cálculos para el Separador Electroestático	47
4.5.1.	<i>Cálculo de la Velocidad de Asentamiento</i>	47
	Primero, calculamos la velocidad de asentamiento sin el campo eléctrico:	47
4.5.4.	<i>Cálculo de la Fuerza de Coalescencia</i>	48
4.5.6.	<i>Dimensionamiento de los Electroodos</i>	49
4.5.7.	<i>Diagrama P&ID del Separador</i>	50
4.6.	Selección de Materiales para el Separador Electroestático.....	50
4.7.1.	<i>Fases de Construcción:</i>	51
4.8.	Construcción, implementación y puesta en marcha del separador FWKO	51
4.8.1.	<i>Armado del separador FWKO</i>	53
4.9.	Construcción, implementación y puesta en marcha del separador Electroestático.....	58
4.9.1.	<i>Armado del separador Electroestático</i>	59
4.10.	Lasos de control de presión de gas y agua de los separadores.....	64
4.11.	Área de Construcción de los separadores.....	71
4.12.	Cálculo y Diseño del Cubeto del Separador	73
	CAPITULO IV.....	75
5.	PRUEBAS, RESULTADOS Y DISCUSIÓN	75
5.1.	Resultados	75
5.1.1.	<i>Entorno de operación del bloque 43</i>	79
5.1.2.	<i>Consideraciones económicas</i>	79
5.1.3.	<i>Operación y mantenimiento</i>	80

5.1.4.	<i>Integración en infraestructuras existentes</i>	80
5.1.5.	<i>Requisitos ambientales</i>	80
5.1.6.	<i>Consideraciones finales</i>	81
5.2.	Comparación entre Separador FWKO y Separador Electrostático	81
5.2.1.	Separador FWKO (Free Water Knockout):	81
5.3.2	<i>Separador Electrostático:</i>	82
CAPITULO V		83
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	83
6.1.	Conclusiones	83
6.2.	Recomendaciones.....	84
BLOGRAFIA		87

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Materiales y componentes del separador FWKO</i>	52
<i>Tabla 2. Materiales y componentes del separador Electrostático</i>	58
<i>Tabla 3. Características del crudo presente en el campo</i>	76
<i>Tabla 4. Comparación de los parámetros de dimensionamiento de los separadores</i>	76
<i>Tabla 5. Comparación de la eficiencia de los separadores</i>	77
<i>Tabla 6. Análisis y comparación de las propuestas de los separadores</i>	78

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Partes y componentes del sistema del separador FWKO</i>	26
<i>Figura 2. Partes y componentes del sistema del separador Electrostático</i>	28
<i>Figura 3. Overview de la Central de Procesos Tiputini</i>	34
<i>Figura 4. Esquema del separador de producción de agua libre (FWKO)</i>	36
<i>Figura 5. Diagrama de flujo del separador de producción de agua libre (FWKO)</i> .	38
<i>Figura 6. Esquema del separador electrostático</i>	44
<i>Figura 7. Diagrama de flujo del separador electrostático</i>	46
<i>Figura 8. Diagrama P&ID del separador</i>	50

<i>Figura 9. Diagrama de proceso de la implementación y construcción del separador FWKO</i>	<i>56</i>
<i>Figura 10. Línea de flujo de entrada al separador.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 11. Línea de agua.....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 12. Línea de crudo</i>	<i>68</i>
<i>Figura 13. Línea de gas</i>	<i>70</i>
<i>Figura 14. Instrumentos de monitoreo</i>	<i>70</i>
<i>Figura 15. Instrumentos de monitoreo crudo y agua</i>	<i>71</i>
<i>Figura 16. Instrumentos de monitoreo de gas</i>	<i>71</i>

RESUMEN

Este proyecto evaluó la implementación de un separador FWKO y un separador electrostático en la Central de Procesamiento de Fluidos Tiputini, Bloque 43, con el objetivo de reducir la fracción de agua en el petróleo producido. El separador electrostático demostró ser más eficiente, logrando un 99% de eficiencia y solo un 1% de BSW, en comparación con el 95% de eficiencia y 5% de BSW del separador FWKO. Esta mayor eficiencia no solo mejora la calidad del crudo, sino que también puede generar hasta 72,000 USD adicionales diarios con una producción de 30,000 barriles, debido al aumento en el valor del crudo más limpio. Además, el proyecto incluye el diseño, construcción, implementación y puesta en marcha de ambos separadores, abordando tanto aspectos Políticos, Económicos, Sociales, Técnicos, Legal y Ambiental (PESTLA); finalmente queda en evidencia teórica que la propuesta del proyecto responde a la problemática y cumple con el objetivo planteado ya que demuestra cómo la elección adecuada de tecnología puede optimizar tanto la eficiencia operativa como el rendimiento económico en la producción petrolera.

Palabras clave: Separador – BSW – Crudo – Trifásico – Tiputini – Eficiencia

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de petróleo y la necesidad de cumplir con estándares más estrictos de calidad y sostenibilidad han llevado a la industria petrolera a adoptar tecnologías avanzadas en el procesamiento de fluidos. En la Central de Procesamiento de Fluidos Tiputini, ubicada en el Bloque 43 de Ecuador, se ha identificado la necesidad de mejorar la eficiencia en la separación de crudo y agua, lo que ha motivado la implementación de separadores de agua libre (FWKO) y separadores electrostáticos.

Estos separadores son fundamentales para reducir la fracción de agua en el petróleo, mejorando así la calidad del crudo y optimizando el proceso de producción. El separador FWKO es responsable de remover grandes cantidades de agua libre antes de que el crudo pase a etapas posteriores, mientras que el separador electrostático se encarga de eliminar emulsiones más finas, asegurando un crudo con menor contenido de agua.

La implementación de estos equipos no solo responde a la necesidad técnica de mejorar la eficiencia operativa, sino que también aborda preocupaciones ambientales y sociales, al reducir el riesgo de contaminación y contribuir a un desarrollo más sostenible. Además, estos avances permiten a Ecuador mantenerse competitivo en el mercado internacional del petróleo, cumpliendo con las normativas ambientales y garantizando la estabilidad económica del sector.

1.1. Planteamiento del Problema

Para Portilla (2023) la temperatura actual en el separador de producción FWKO V-01 puede no ser la óptima para una separación eficaz del crudo y el agua de formación. Una temperatura inadecuada afecta la eficiencia de la separación, impidiendo que el agua y el crudo se separen completamente. Eso implica que el tiempo de residencia de los fluidos en el separador FWKO V-01 puede ser insuficiente para permitir una adecuada separación. Un

tiempo de residencia más corto de lo necesario impide que las fases se separen completamente, resultando en una mezcla de crudo y agua.

El diseño actual del separador FWKO V-01 o su estado de mantenimiento puede no ser adecuado para manejar las características específicas del crudo y el agua de formación. Esto podría incluir problemas como dimensionamiento inapropiado, desgaste del equipo o falta de actualizaciones tecnológicas. Las alteraciones en la estructura del crudo que ingresan al separador pueden obstaculizar la eficacia de la separación. Diferentes tipos de crudo requieren ajustes en el proceso de separación, que tal vez no se estén considerando adecuadamente (Jiménez 2022).

La falta de sistemas de control y monitoreo avanzados puede impedir una regulación efectiva de las variables del proceso, como la temperatura y el tiempo de residencia, llevando a una ineficiente separación del crudo, lo que significa que se pueden generar complicaciones más graves y significativas después de un tiempo determinado.

Una alta presencia de BSW al final del separador muestra que la separación se da de forma incompleta o ineficiente, con mayor presencia de agua en el crudo que lo especificado o normal, por lo que la ineficiencia en la separación obliga a que el crudo pase más tiempo en los tanques de almacenamiento, intentando lograr una separación adicional, lo que incrementa los costos operativos y reduce la eficiencia general (Escandón, 2020).

La necesidad de un tratamiento adicional del crudo para eliminar el exceso de agua implica un uso ineficiente de recursos y equipos, aumentando los costos y disminuyendo la calidad del producto final. Es un proceso de separación ineficiente puede resultar en emisiones y derrames, presentando riesgos para la seguridad y el medio ambiente.

Al implementar sistemas de control automatizados y sensores de alta precisión para regular la temperatura y el tiempo de residencia de manera óptima se podrían realizar análisis

periódicos de la composición del crudo para ajustar los parámetros del proceso de acuerdo con sus características específicas.

También se deben realizar actualizaciones tecnológicas y mantenimiento regular del separador FWKO V-01 para asegurar su funcionamiento óptimo y revisar o modificar el diseño del separador para mejorar la eficiencia en la separación de fases, considerando factores como el tamaño, la forma y los materiales internos del separador (Vargas, 2023).

La ejecución de estas herramientas y habilidades puede llevar a una mejora significativa en la eficiencia de la separación, disminuyendo los problemas asociados y optimizando la calidad del crudo obtenido.

1.2 Justificación

La justificación técnica de este proyecto en tecnología superior en petróleos se centra en la hipótesis de que optimizando los procesos de separación y tratamiento en la Central de Procesamiento Tiputini AG (CPT), se puede alcanzar una mayor eficiencia operativa y seguridad, así como una reducción significativa en los costos y reprocesos. Este enfoque se basa en un análisis detallado que identifica deficiencias en la temperatura de proceso, el tiempo de residencia y la eficacia del equipo actual en la separación de crudo y agua.

La solución propuesta implica la implementación de tecnologías avanzadas de control y monitoreo, junto con la optimización del diseño y mantenimiento del equipo de separación. Estas medidas tienen como objetivo ajustar de manera precisa la temperatura y el tiempo de residencia en el separador FWKO V-01 para mejorar la eficiencia de separación. Además, la actualización del equipo contribuirá a un manejo más efectivo del crudo y una reducción del Basic Sediment and Water (BSW) (Portilla A, 2023).

Esta justificación técnica respalda la necesidad de llevar a cabo un proyecto de seminario de carrera, ya que aborda directamente una problemática concreta en la industria

petrolera y propone soluciones innovadoras y viables. La implementación de este proyecto no solo tiene el potencial de mejorar la operación de la CPT, sino que también puede servir como un caso de estudio valioso para futuras aplicaciones en el sector.

La justificación legal del proyecto está basada en la alineación y contribución al desempeño de diversas reglas y pautas internacionales como ISO, ASME, INEN, OSHAS y API. Estas normativas establecen criterios clave en términos de seguridad, eficiencia, calidad y sostenibilidad ambiental. Al adherirse a estos estándares, el proyecto no solo asegura el cumplimiento legal y reduce los riesgos de incumplimiento normativo, sino que también demuestra un compromiso con las mejores prácticas en la industria.

1.3 Alcance

El proyecto se centrará en resolver el problema de la ineficiente separación de crudo y agua, que actualmente resulta en un alto Basic Sediment and Water (BSW). Para esto, se delimitará la intervención al equipo de separación FWKO V-01 y a los sistemas asociados a este, asegurando que las mejoras sean específicas y directamente aplicables a este componente crítico.

Se establecerán límites temporales claros para cada fase del proyecto, incluyendo la evaluación inicial, la implementación de mejoras y el periodo de prueba y ajuste. Se espera que, dentro de un periodo de seis meses a un año, se puedan observar resultados concretos en términos de mejoras operativas y reducción de BSW.

La hipótesis central, que actúa como solución al problema planteado, es que mediante la optimización de la temperatura y el tiempo de residencia en el separador FWKO V-01, junto con el uso de tecnologías para el control y monitoreo desarrollado, se puede conseguir una óptima separación de crudo y agua. Este enfoque se complementará con la

revisión y posible rediseño de los componentes internos del equipo para maximizar su eficacia (Niño et al., 2021).

Además, se espera que estas mejoras contribuyan a una mayor seguridad operativa, evitando riesgos asociados con el manejo de crudo y agua ineficientemente separados. A largo plazo, se anticipa que estas optimizaciones puedan incluso conducir a un incremento en la capacidad de producción de la planta, generando mayores ingresos por la producción adicional.

1.4. Antecedentes

El bloque petrolero, ubicado en el Distrito Amazónico, representa una zona geográfica de gran importancia para la exploración y explotación de hidrocarburos. Este bloque se destaca por su ubicación estratégica, la cual ofrece ventajas en términos de accesibilidad y proximidad a infraestructuras esenciales, además de poseer un potencial geológico significativo. La geología de la región, caracterizada por estructuras como anticlinales, fallas y estratos rocosos específicos, crea condiciones propicias para la acumulación de petróleo y gas natural (Portilla C. , 2023).

Dentro de este contexto geológico, como expresan Rivas et al., (2019) se identifican diversos campos petroleros, cada uno con sus propias características geológicas y operativas. Estos campos presentan variaciones en aspectos como la profundidad de los pozos, el tipo de hidrocarburos presentes y las metodologías de extracción empleadas. Es fundamental considerar la composición y características de estos campos para desarrollar estrategias efectivas de desarrollo y producción.

El BSW representa un desafío operativo y ambiental significativo, dado que afecta la calidad del petróleo, la eficiencia de la producción y tiene implicaciones en el manejo ambiental. El grado API del petróleo influye en la separación de fases, siendo crucial para determinar las técnicas más apropiadas para el tratamiento y manejo de los fluidos (Álvarez 2022).

En este escenario, como manifiestan Morales y Vega (2020) la implementación de un separador FWKO emerge como una solución técnica para mejorar la eficiencia en la separación del agua libre del petróleo y gas. Este sistema permite una separación más efectiva del agua, reduciendo el BSW y optimizando la calidad del petróleo para su posterior procesamiento y venta. Además, minimiza los costos asociados al tratamiento de agua y reduce el impacto ambiental al disminuir la cantidad de residuos generados.

La producción del bloque, medida en barriles de petróleo por día (BPD) y miles de pies cúbicos estándar por día (MMSCFD) para el gas, se ve directamente influenciada por la eficiencia en el manejo de estos fluidos. Por lo tanto, la adopción de tecnologías como el separador FWKO no solo es relevante desde un punto de vista operativo, sino también económico y ambiental (Ruíz, 2022).

En el ámbito de la tecnología superior en petróleos, se aborda el caso específico de la Central de Procesamiento Tiputini AG (CPT), ubicada en el bloque B43, que juega un rol crucial en el procesamiento de fluidos producidos por los campos del proyecto ITT. La CPT ha sido diseñada para manejar un volumen significativo de fluidos, con una capacidad de procesamiento de 120 mil de barriles de fluido por día (bfpd) y un adicional de 120 millones de pies cúbicos estándar (MMSCF) para el tratamiento de gas.

La historia reciente de la CPT revela un desafío significativo. En el último año, se implementó una campaña de perforación intensiva, consistente en 15 pozos, con el objetivo de incrementar la producción. Según Gutiérrez (2021) este aumento de producción ha llevado a la CPT a enfrentar la necesidad de un redimensionamiento y potenciación para adaptarse a las nuevas demandas. Originalmente, la planta no estaba dimensionada para manejar el volumen incrementado de fluidos resultante de esta expansión de la producción. Para Álvarez et al., (2022) el método predominante de levantamiento en los campos ITT es el Bombeo Electrosumergible (BES). Este sistema, aunque eficiente, implica un consumo energético considerable, medido en Megavatios (MW). La optimización energética del BES es, por tanto, un factor crucial en el rediseño y mejora de la CPT, especialmente en el contexto del aumento de la producción.

Al revisar el proyecto en su totalidad, se observa que el incremento en la capacidad de producción debido a la campaña de perforación plantea retos significativos en varios aspectos del funcionamiento de la CPT. Estos incluyen no solo la capacidad de procesamiento de fluidos y gas, sino también la eficiencia energética y la sostenibilidad del sistema de levantamiento BES. Es imperativo que cualquier propuesta de solución o análisis aborde estos aspectos de manera integral, sin duplicar información, pero asegurando que se consideren todos los componentes relevantes del sistema.

La propuesta de solución y el análisis subsiguiente deben centrarse en el redimensionamiento y la mejora de la CPT para manejar eficientemente el aumento de producción, al tiempo que se optimiza el sistema BES desde una perspectiva energética. Esto implicará un estudio detallado de las capacidades actuales de la planta, el consumo

energético del sistema de levantamiento y las posibles vías para mejorar la eficiencia y sostenibilidad del proceso completo de producción y procesamiento.

El aumento de producción en los campos ITT y su impacto en la Central de Procesamiento Tiputini AG (CPT) presenta un desafío multifacético que requiere un enfoque holístico y detallado. La solución no solo debe abordar el aumento en la capacidad de procesamiento de fluidos y gas, sino también considerar la eficiencia y sostenibilidad del sistema de Bombeo Electrosumergible (BES) en términos de consumo energético. Un análisis integral y una propuesta de solución bien fundamentada serán clave para el éxito y la viabilidad a largo plazo del proyecto.

El campo Tiputini, como expresa Malavé (2021) situado estratégicamente en el Distrito Amazónico de Ecuador, es parte de un bloque petrolero caracterizado por su rica biodiversidad y su compleja geología. Esta locación es reconocida por el alto potencial de producción, con valores iniciales que apuntan una producción de cerca de 20,000 barriles de petróleo por día (BPD). La geología del área incluye formaciones rocosas que son indicativas de la presencia de hidrocarburos, con estructuras como anticlinales y fallas que facilitan la acumulación de petróleo y gas.

En el campo Tiputini, los retos operativos incluyen la gestión del agua producida, conocida como BSW. El manejo eficiente del BSW es crucial debido a las estrictas regulaciones ambientales de la región y la necesidad de mantener la calidad del petróleo para su procesamiento y venta. Informes específicos del campo han indicado que el BSW puede variar significativamente, lo que afecta las operaciones de producción y tratamiento (Larrea, 2022).

La implementación de un separador FWKO en Tiputini busca abordar estos desafíos de manera directa. Según Bautista (2022) al separar el agua libre del petróleo y gas, el separador FWKO puede reducir el BSW a niveles que mejoren la eficiencia operativa y cumplan con los estándares ambientales. Esta tecnología ha demostrado ser efectiva en otros campos, y su adaptación a las condiciones específicas de Tiputini es un paso crucial para optimizar la producción.

La producción del campo Tiputini, medida en BPD y MMSCFD para el gas, refleja la eficiencia de las operaciones de extracción y tratamiento. La implementación del separador FWKO tiene el potencial de mejorar estas cifras al reducir el tiempo y los recursos necesarios para tratar el BSW, permitiendo un enfoque más eficiente en la extracción de hidrocarburos (Schorsch, 2020).

Es importante señalar que cualquier implementación tecnológica en el campo Tiputini debe considerar el delicado equilibrio ambiental de la región amazónica y trabajar en armonía con los esfuerzos de conservación. La adopción de un separador FWKO se presenta como una solución que beneficia tanto la eficiencia operativa como el compromiso con prácticas de producción responsables.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

- Implementar un separador de producción de agua libre o separador electrostático en la central de procesamientos de fluidos Tiputini para la reducción de la fracción de agua en el petróleo producido en el bloque 43 del año 2024

2.2. Objetivos Específicos

- Determinar las dimensiones óptimas para el separador FWKO y el separador electrostático, en función del volumen de crudo procesado en la Central de Procesamiento de Fluidos Tiputini.
- Comparar la eficiencia de los separadores FWKO y electrostático en la reducción de la fracción de agua, mediante un análisis del rendimiento antes y después de su instalación.
- Desarrollar un procedimiento detallado para el montaje y construcción de los separadores FWKO y electrostático en la planta, garantizando la seguridad y eficiencia del proceso.

CAPITULO II

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Fundamentos Teóricos de la Separación de Agua y Crudo

3.1.1. *Naturaleza y Composición del Crudo*

Conocido también como petróleo bruto, es una composición compleja de varios hidrocarburos y productos químicos. Su composición puede variar significativamente dependiendo de su origen geológico, lo que influye en su comportamiento durante el procesamiento y las técnicas de separación necesarias para eliminar impurezas como el agua y los sedimentos (Zambrano, 2021).

3.1.2. *Propiedades Físicas del Crudo*

Según Cruz2016) “el crudo es una mezcla compleja de hidrocarburos, que también contiene otros compuestos como el azufre, el nitrógeno, el oxígeno, los metales pesados, el agua y los sedimentos”. Las propiedades físicas del crudo son:

Densidad de API y Gravedad: La densidad de crudo es cambiante, y su gravedad de API es una medida que indica si este es ligero, medio, pesado o extrapesado. Las materias primas que presentan una mayor gravedad API son más ligeras y por ende fáciles de refinar.

Viscosidad: Varía en función de la constitución de la materia prima; las materias primas más pesadas son más viscosas, lo que obstaculiza el transporte y el proceso.

Punto de ebullición: Tiene un amplio rango de hervor, lo que afecta a la forma en que este es refinado.

El punto de rocío: Es aquella temperatura en la cual los vapores pueden llegar a condensarse, mientras que el punto de riego aquellas temperaturas mínimas a las que el crudo fluye.

3.1.3. Tipos de Emulsiones Agua-Crudo

Las emulsiones de agua crudo son mezclas en las que el agua y crudo se combinan para formar pequeñas gotas dispersas dentro de una fase continua. Se clasifican en dos principales:

Emulsiones de agua crudo(W/O): La materia actúa como la fase continua, y el agua se dispersa en forma de gotas dentro del crudo. Son más comunes en la industria del petróleo y suelen ser estables debido a la viscosidad del crudo y la presencia de agentes emulsificadores naturales (Morales J. , 2014).

Emulsiones crudo en agua (O/W): Según Velásquez & Pereira (2014) “en estas emulsiones, el agua es la fase continua, y el crudo se dispersa en forma de gotas. Son menos comunes y generalmente más fáciles de separar debido a la menor viscosidad de la fase continua (agua)” (págs. 45-54).

3.2.Principios de Separación de Fluidos en la Industria Petrolera

En la industria del petróleo, los principios de separación de líquidos son fundamentales para separar de manera eficiente el crudo de impurezas como el agua, el gas y los sedimentos. Los separadores FWKO (Free Water Knockout) y los separadores electrostáticos son equipos clave que aprovechan las diferencias en densidad, tensión superficial y propiedades eléctricas para realizar esta tarea. Los separadores FWKO utilizan la gravedad para separar el agua libre del crudo, mientras que los separadores electrostáticos emplean campos eléctricos para coalescer y eliminar gotas de agua emulsionada. Estos procesos son esenciales para mejorar la calidad del crudo y proteger el equipo de procesamiento posterior (Espín & Constante, 2011).

3.2.1. Separación Gravitacional

La separación gravitacional es un proceso utilizado en la industria petrolera para separar el crudo de impurezas como el agua y los sedimentos, basándose en la diferencia de

densidades. En este proceso, el crudo y sus impurezas se insertan en un separador, donde el agua densa se asienta en el fondo y el crudo menos denso flota en la parte superior (Dávalos, 2014).

3.2.2. Separación Mecánica

La separación mecánica es un proceso utilizado en la industria petrolera para separar el crudo de impurezas como agua, gas y sedimentos mediante métodos físicos. Se basa en principios como la diferencia de densidades, fuerza centrífuga y campos eléctricos. Equipos como separadores FWKO y electrostáticos se utilizan para realizar esta separación, mejorando la calidad del crudo y protegiendo los equipos de procesamiento (Monteros , 2012).

3.2.3. Separación Electrostática

La separación mecánica es un proceso utilizado en la industria petrolera para separar el crudo de impurezas como agua, gas y sedimentos mediante métodos físicos. Se basa en principios como la diferencia de densidades, fuerza centrífuga y campos eléctricos. Equipos como separadores FWKO y electrostáticos se utilizan para realizar esta separación, mejorando la calidad del crudo y protegiendo los equipos de procesamiento (Durán, 2007).

3.3.Importancia de la Remoción de Agua en el Procesamiento de Crudo

El agua en el crudo puede causar corrosión en los equipos de procesamiento y en las tuberías, lo que lleva a un deterioro acelerado y costosos problemas de mantenimiento. El crudo debe estar libre de agua para cumplir con las especificaciones del mercado y garantizar su valor (Proaño, 2019).

Eliminar el agua del crudo es esencial para proteger los equipos, mantener la calidad del producto, optimizar los procesos de refinación y cumplir con las normativas industriales.

3.3.1. Presencia de Agua en el Crudo Principales Efectos

Corrosión del equipo: Según Ramírez (2005) “el agua puede causar corrosión en equipos de procesamiento y tuberías, acelerando el deterioro del material y requiriendo costosos mantenimientos y reparaciones”.

Reducción de la calidad de las materias primas: La materia prima con agua tiene mayor viscosidad y menor densidad, lo que dificulta el transporte y el refinamiento, y puede reducir su valor comercial.

Dificultades en el refinamiento: Galván (2007) afirma que “la existencia de líquido puede obstruir con los procesos de refinamiento, ocasionando dificultades en la separación de fases y en la calidad del producto final”.

Aumento de los costes: La separación del agua demanda procesos y tratamientos extras, lo que aumenta los precios de operación y procesamiento.

3.3.2. Normativas y Estándares Internacionales para la Remoción de Agua

En Ecuador, los reglamentos y las normas para la eliminación de agua en el crudo se alinean con las prácticas internacionales para garantizar la calidad del crudo y la eficiencia en el procesamiento (Daza & Garófalo, 2013). Entre las consideraciones clave se incluyen:

Reglamentación nacional: Según el MINISTERIO DE HIDROCARBUROS (2018) “Ecuador sigue las reglamentaciones establecidas por la Agencia de Regulación y Control de Hidrocarburos (ARCH) y Petroamazonas, que restringen los límites máximos autorizados de agua en el crudo para cumplir la normativa de calidad”.

Cumplimiento de las especificaciones: La reglamentación garantiza que el crudo exportado y procesado cumpla con las características internacionales y los requisitos contractuales, evitando sanciones y asegurando su valor en los mercados mundiales.

Normas internacionales: Ecuador se adhiere a las normas internacionales de organizaciones como el Instituto Americano de Petróleo (API) y la Organización

Internacional de Normalización (ISO), que establecen directrices para la calidad del crudo y la eficiencia de los procesos de separación (MINISTERIO DE HIDROCARBUROS, 2018).

Control y supervisión: las autoridades nacionales supervisan y controlan los niveles de agua en el crudo mediante inspecciones y certificaciones, asegurándose de que los operadores cumplan con las normas establecidas.

3.4. Separador FWKO (Free Water Knockout)

3.4.1. Separador FWKO, Concepto y Principios de Funcionamiento

El Separador FWKO (Free Water Knockout) es un dispositivo utilizado en la industria petrolera para separar el agua libre del crudo. Su función principal es eliminar la mayor cantidad de agua libre antes de que el crudo entre en etapas posteriores de procesamiento (Tabarrozzi, 2016).

Separación Gravitacional: El separador FWKO utiliza la fuerza de gravedad para separar las fases. El agua y el crudo, al poseer distintas densidades, se separan de forma natural dentro del tanque.

Diseño del Tanque: El crudo ingresa al separador y se dirige hacia la zona donde se lleva a cabo el proceso de separación. El agua, estando más densa, se almacena en el fondo del tanque, mientras que el crudo se ubica en la parte superior.

Retención y Desagüe: El separador tiene un sistema de retención para permitir que el crudo y el agua se separen completamente. El agua acumulada en el fondo se drena a través de un sistema de desagüe, mientras que el crudo es extraído desde la parte superior.

Configuraciones: Los separadores FWKO pueden ser horizontales o verticales, dependiendo de la capacidad requerida y las características del flujo de entrada.

3.5. Tipos de Separadores FWKO

3.5.1. Separadores Horizontales

Los separadores horizontales son equipos utilizados en la industria petrolera para separar crudo y agua. Su diseño y funcionamiento se basan en los siguientes aspectos:

Diseño Horizontal: Según Arcentales (2016) “estos separadores tienen un diseño en posición horizontal, donde el crudo y el agua fluyen a lo largo del tanque. La configuración horizontal facilita una mayor área de separación”.

Principio de Separación: La separación se basa en la diferencia de densidad entre el crudo y el agua. El crudo, al ser menos denso, se acumula en la parte superior del tanque, mientras que el agua libre se desplaza hacia el fondo.

Eficiencia de Separación: La longitud del tanque horizontal permite un tiempo de residencia más largo para el crudo y el agua, lo que mejora la eficiencia de separación.

Componentes Clave: Incluyen una entrada de flujo, un sistema de baffle para la separación inicial, un compartimento de acumulación de agua y un sistema de salida para el crudo tratado.

Aplicaciones: Los separadores horizontales son adecuados para aplicaciones con flujos grandes y altos volúmenes de agua libre, y son comunes en campos petroleros donde se requiere una separación efectiva de grandes cantidades de agua.

3.5.2. Separadores Verticales

Los separadores verticales son equipos utilizados en la industria petrolera para separar crudo y agua. Su diseño y funcionamiento se caracterizan por:

Diseño Vertical: Estos separadores tienen una configuración vertical en la que el crudo y el agua se separan en un tanque cilíndrico vertical.

Principio de Separación: La separación se basa en la diferencia de densidad entre el crudo y el agua. El crudo, siendo menos denso, se acumula en la parte superior del tanque, mientras que el agua libre se acumula en el fondo (González, 2011).

Eficiencia de Separación: El diseño vertical permite una separación efectiva en un espacio compacto, facilitando la eliminación de agua y sólidos sin necesidad de grandes volúmenes de tanque.

Componentes Clave: Incluyen un sistema de entrada para el crudo, un espacio de separación, un compartimento para la acumulación de agua, y un sistema de salida para el crudo.

Aplicaciones: Los separadores verticales son adecuados para situaciones con flujos moderados y donde el espacio es limitado, proporcionando una solución eficiente y compacta para la separación de agua del crudo (Dávalos, 2014).

3.6. Diseño y Configuración del Separador FWKO

El diseño y configuración del separador FWKO se centran en permitir una separación eficiente del agua libre del crudo mediante un tanque diseñado para optimizar el tiempo de residencia y la separación gravitacional.

3.6.1. Componentes Principales

El Separador FWKO (Free Water Knockout) consta de varios componentes clave que aseguran una separación eficiente del agua libre del crudo:

Tanque de Separación: El principal componente, donde se lleva a cabo la separación del crudo y el agua. Puede ser de diseño horizontal o vertical, dependiendo de la aplicación y el espacio disponible.

Sistema de Entrada: Permite la entrada del crudo al separador, generalmente con un diseño que facilita la distribución uniforme del flujo para mejorar la eficiencia de separación.

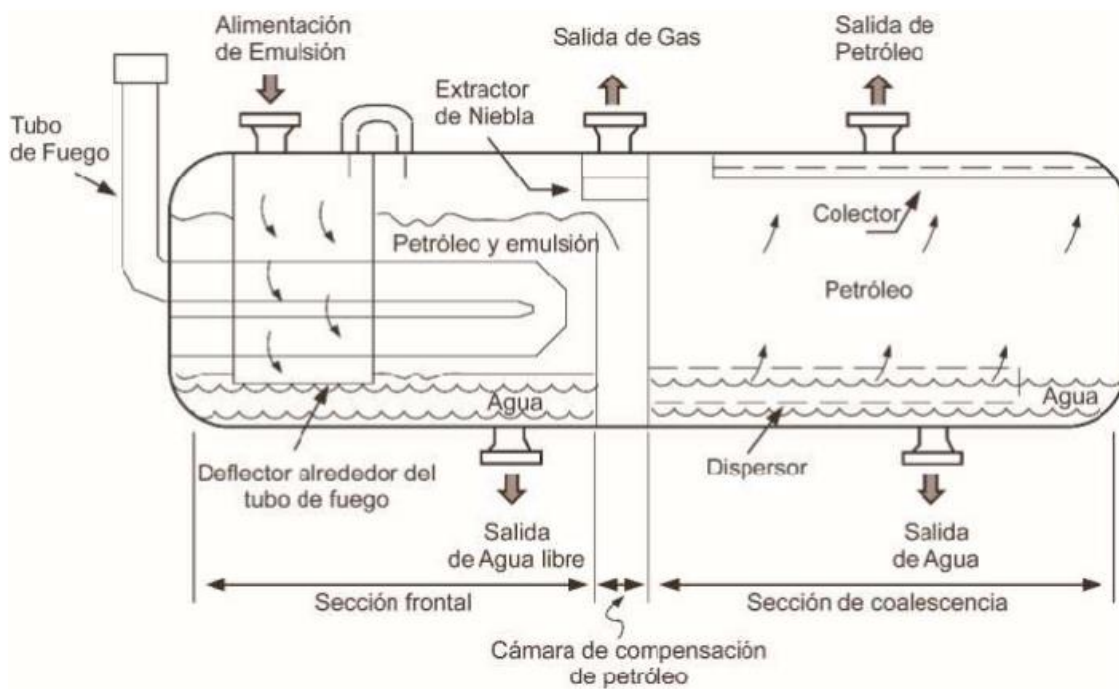
Baffles: Dispositivos internos que ralentizan el flujo del crudo y promueven la separación gravitacional. Mantienen el crudo y el agua en contacto el tiempo necesario para una separación más efectiva.

Compartimento de Depósito de Agua: Es aquella área que se ubica en el fondo del tanque donde se acumula el agua libre. Este compartimento está diseñado para permitir la acumulación y posterior extracción del agua.

Sistema de Drenaje de Agua: Mecanismo para eliminar el agua acumulada en el compartimento inferior. Este sistema asegura que el agua se drene eficientemente sin interrumpir el flujo de crudo.

Sistema de Salida: Canaliza el crudo separado a la siguiente etapa del procesamiento o al almacenamiento, asegurando una salida limpia y libre de agua.

Figura 1. Partes y componentes del sistema del separador FWKO



Fuente: (Dávalos, 2014)

3.7. Separador Electroestático

3.7.1. Concepto y Principios de Funcionamiento del Separador Electroestático

El separador electrostático es un equipo utilizado en la industria petrolera para separar mezclas de crudo y agua basándose en la diferencia de cargas eléctricas entre las fases.

3.7.2. Principios de Funcionamiento:

Campo Eléctrico: El separador utiliza un campo eléctrico aplicado entre electrodos para inducir una carga en las gotas de agua y crudo.

Polarización y Coalescencia: Las gotas de agua, al estar cargadas, se agrupan o coalescen debido a la fuerza del campo eléctrico, formando gotas más grandes que se separan más fácilmente del crudo.

Separación Gravitacional: Una vez que las gotas de agua se agrupan, el separador utiliza la gravedad para asegurar que el agua se acumule en el fondo del tanque, mientras en la parte superior se ubicara el crudo limpio y libre de impurezas.

Aplicación: Es especialmente útil para tratar emulsiones estables donde otros métodos de separación no son efectivos.

3.8. Tipos de Separadores Electrostáticos

3.8.1. Separadores de Campo Eléctrico Directo

Se basan en el uso de un campo eléctrico constante para provocar cargas sobre las gotas de agua y crudo. Este método es efectivo en situaciones donde las emulsiones son estables y difíciles de separar por métodos convencionales. Las gotas de agua se cargan y se agrupan, permitiendo su separación del crudo mediante gravedad (Espín & Constante, 2011).

3.8.2. Separadores de Campo Eléctrico Pulsado

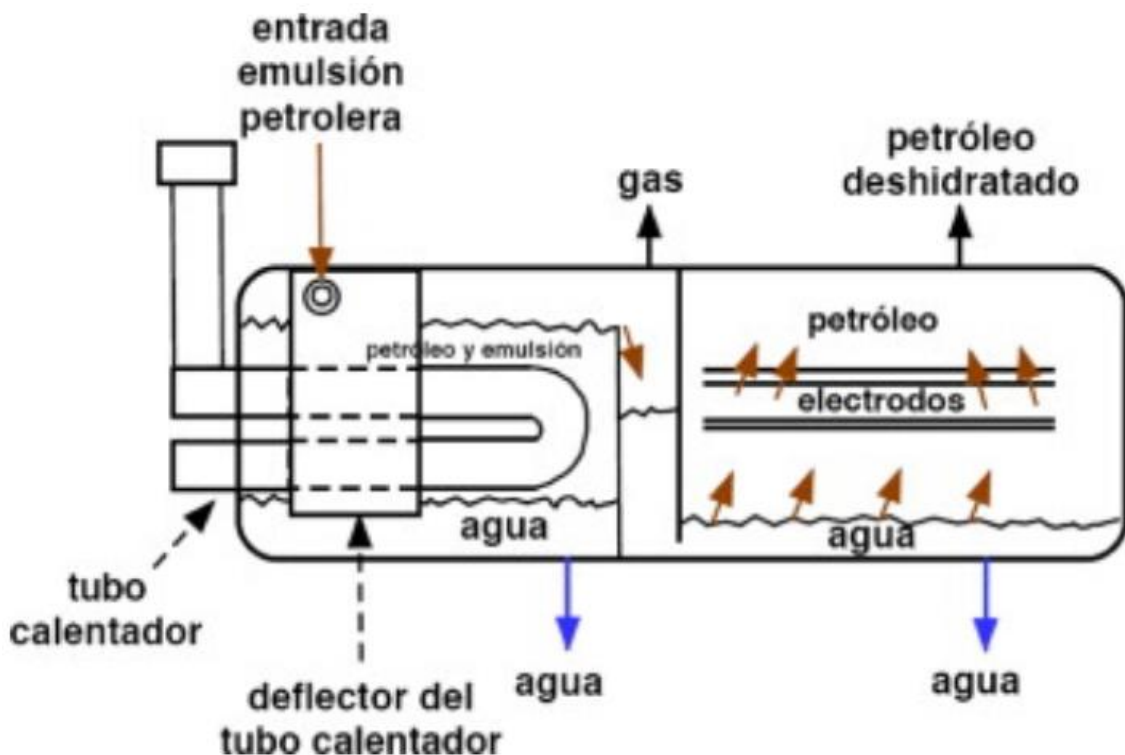
Emplean pulsos eléctricos en lugar de un campo constante. Estos pulsos intermitentes mejoran la eficiencia al provocar una coalescencia más rápida y efectiva de las gotas de agua, facilitando su separación del crudo. Este método es especialmente útil en emulsiones más complejas o con alta estabilidad (Durán, 2007).

3.9. Diseño y Configuración del Separador Electrostático

3.9.1. Componentes Principales

Incluye un tanque con electrodos que generan un campo eléctrico, un sistema de entrada para la mezcla de crudo y agua, y un sistema de salida para el crudo tratado y el agua separada.

Figura 2. Partes y componentes del sistema del separador Electrostático



Fuente: (Espín & Constante, 2011)

3.9.2. Campo Eléctrico

Los electrodos aplican un campo eléctrico que induce cargas en las gotas de agua. Estas cargas provocan la coalescencia de las gotas de agua, facilitando su separación del crudo.

3.9.3. Condiciones Operativas

Para Proaño (2019) “el principio para diseñar el separador debe basarse en perfeccionar el campo eléctrico además del flujo del crudo para que así se pueda ampliar la

eficacia en el proceso de la separación. Esto incluye la disposición de los electrodos y la configuración del tanque”.

3.9.4. Aplicaciones

Es utilizado en procesos donde la separación de agua del crudo es difícil con métodos convencionales, mejorando la eficiencia en la eliminación de agua de emulsiones estables.

3.10. Criterios en la Selección de Separadores Bajo las Condiciones del Campo

3.10.1. Tipo de Emulsión:

FWKO: Adecuado para crudo pesado con agua libre significativa, aunque puede ser menos eficiente para emulsiones estables.

Electrostático: Preferible para crudo pesado con emulsiones estables, donde el campo eléctrico ayuda a separar agua de forma más eficaz.

3.10.2. Volumen de Agua:

FWKO: Eficiente para grandes volúmenes de agua libre en crudo pesado, pero puede necesitar un tamaño mayor debido al alto volumen de agua.

Electrostático: Útil en situaciones con menor volumen de agua, pero con emulsiones complejas, permitiendo una separación más precisa.

Costos y Mantenimiento:

FWKO: Menor costo inicial y mantenimiento más sencillo, adecuado para condiciones menos complejas.

Electrostático: Mayor costo inicial y mantenimiento más complejo, pero ofrece mejores resultados en emulsiones difíciles típicas del crudo pesado.

3.10.3. Espacio y Diseño:

FWKO: Ocupa más espacio y su diseño es más grande, óptimo para manejar enormes volúmenes de agua en crudo pesado y extrapesado.

Electrostático: Más compacto y eficiente en espacio, con un diseño especializado para emulsiones estables.

3.10.4. Condiciones Operativas:

FWKO: Funciona bien en condiciones operativas estables con crudo pesado que contiene agua libre significativa.

Electrostático: Ideal para crudo pesado con emulsiones estables y difíciles de separar, necesitando control preciso del campo eléctrico.

3.11. Impacto en la Calidad del Crudo y Eficiencia de Procesamiento

3.11.1. Separador FWKO:

Calidad del Crudo: Disminuye el porcentaje de agua libre en el crudo, perfeccionando su calidad y producción para el transporte o procesamiento. Sin embargo, puede no ser tan efectivo para emulsiones estables.

Eficiencia de Procesamiento: Eficiente en la separación de grandes volúmenes de agua libre, lo que puede facilitar el procesamiento posterior y reducir problemas operativos.

3.11.2. Separador Electrostático:

Impacto en la Calidad del Crudo: Mejora significativamente la calidad del crudo al separar agua de emulsiones estables, produciendo un crudo más limpio y adecuado para refinación.

Eficiencia de Procesamiento: Aumenta la eficiencia del procesamiento al manejar emulsiones complejas y mejorar la separación de agua, aunque a un costo mayor y con mayor complejidad operativa.

3.12. Conclusión del Marco Teórico

3.12.1. Resumen de Conceptos Clave:

Separador FWKO:

Se basa en la separación gravitacional para eliminar agua libre del crudo. Es efectivo en grandes volúmenes, pero limitado en emulsiones estables.

Separador Electrostático:

Su principio de funcionamiento se basa en el uso de un campo eléctrico con el fin de inducir cargas en las gotas de agua, facilitando así su separación del crudo. Además, presenta mayor eficacia en emulsiones complejas y estables.

3.12.2. Implicaciones para el Diseño e Implementación:

Diseño:

La elección entre FWKO y separador electrostático tiene que basarse en la naturaleza del fluido y el volumen de agua. El FWKO es adecuado para grandes volúmenes de agua libre, mientras que el separador electrostático se adapta mejor a emulsiones estables.

Implementación:

Consideraciones sobre costo, espacio, y mantenimiento deben influir en la elección del separador. La teoría ayuda a optimizar el diseño para mejorar la eficiencia del proceso.

3.12.3. Líneas de Investigación Futura:

Avances Tecnológicos:

Investigar mejoras en la tecnología de separación, como nuevos materiales para electrodomésticos o métodos híbridos que combinan FWKO y separación electrostática.

Optimización del Rendimiento:

Explorar técnicas y procesos con la finalidad de mejorar la eficiencia y menorar los costos operativos en los dos tipos de separadores.

CAPITULO III

4. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

El campo Tiputini, ubicado en el Bloque 43 del Amazonas ecuatoriano, es una de las principales fuentes de petróleo del país, contribuyendo significativamente a la producción nacional. Tiputini enfrenta desafíos relacionados con la alta fracción de agua en el petróleo crudo extraído. Esta mezcla de agua y petróleo no solo reduce la eficiencia del procesamiento, sino que también aumenta los costos operativos y afecta la calidad del producto final.

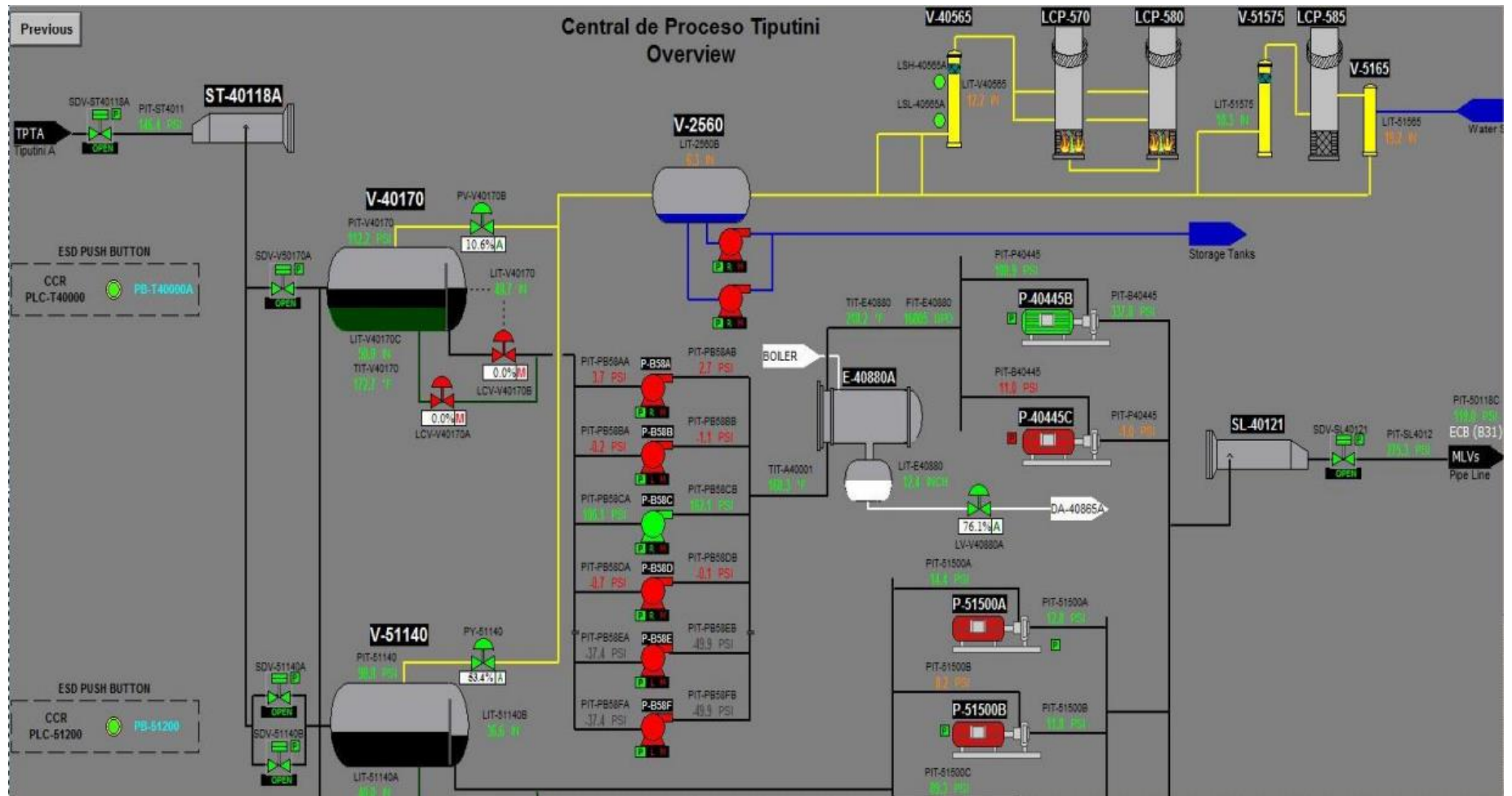
Para abordar estos desafíos y optimizar el procesamiento del petróleo en la central de procesamiento de fluidos Tiputini (CPT), se propone la implementación de un sistema de separación compuesto por un separador de producción de agua libre FWKO (Free Water Knock Out) o un separador electrostático.

Este capítulo tiene como objetivo proporcionar un análisis detallado del proceso de diseño e implementación de estos separadores. Se abordarán los principios técnicos, los cálculos necesarios para el dimensionamiento, la selección de materiales adecuados, y los pasos críticos para la construcción y validación del sistema.

A través de una metodología rigurosa, que incluye análisis de requerimientos, simulaciones de procesos, y pruebas de rendimiento, se espera demostrar que la implementación de estos separadores puede lograr una reducción significativa de la fracción de agua, mejorando así la eficiencia operativa y la calidad del producto final.

El separador de producción de agua libre utiliza la diferencia de densidad entre el agua y el petróleo para separar el agua libre del crudo mediante la gravedad. Este método es efectivo para eliminar grandes volúmenes de agua, preparando el crudo para un procesamiento más refinado. Por otro lado, el separador electrostático utiliza un campo eléctrico para coalescer las gotas de agua emulsionadas en el petróleo, permitiendo su separación más eficiente.

Figura 3. Overview de la Central de Procesos Tiputini



Fuente: (Espín & Constante, 2011)

4.1. Diseño conceptual para un separador de producción de agua libre (FWKO)

4.1.1. Entrada de Fluido

Componentes:

Tubería de Entrada: Transporta la mezcla de gas, petróleo y agua hacia el separador.

Válvula de Control: Ajusta el flujo de entrada.

Medidor de Flujo: Mide la cantidad de fluido que entra en el separador.

4.1.2. Cámara de Entrada

Componentes:

Deflector de Fluido: Redirige el flujo para reducir la velocidad y facilitar la separación.

Medidor de Nivel (Opcional): Monitorea el nivel del fluido en la cámara de entrada.

4.1.3. Cámara de Separación

Componentes:

Placa de Descarga: Permite que el agua libre se asiente en la parte inferior.

Coalescedor: Facilita la coalescencia de pequeñas gotas de agua.

Medidor de Nivel de Agua: Monitorea el nivel de agua acumulada en la cámara.

4.1.4. Cámara de Gas

Componentes:

Válvula de Salida de Gas: Regula la salida de gas.

Tubería de Salida de Gas: Conduce el gas hacia el proceso siguiente o almacenamiento.

Medidor de Presión de Gas: Mide la presión del gas en la cámara.

4.1.5. Cámara de Agua

Componentes:

Válvula de Drenaje de Agua: Permite el drenaje del agua acumulada.

Tubería de Drenaje: Conduce el agua fuera del separador.

Medidor de Nivel de Agua (Opcional): Monitorea el nivel de agua para activar el drenaje automático.

4.1.6. Salida de Petróleo

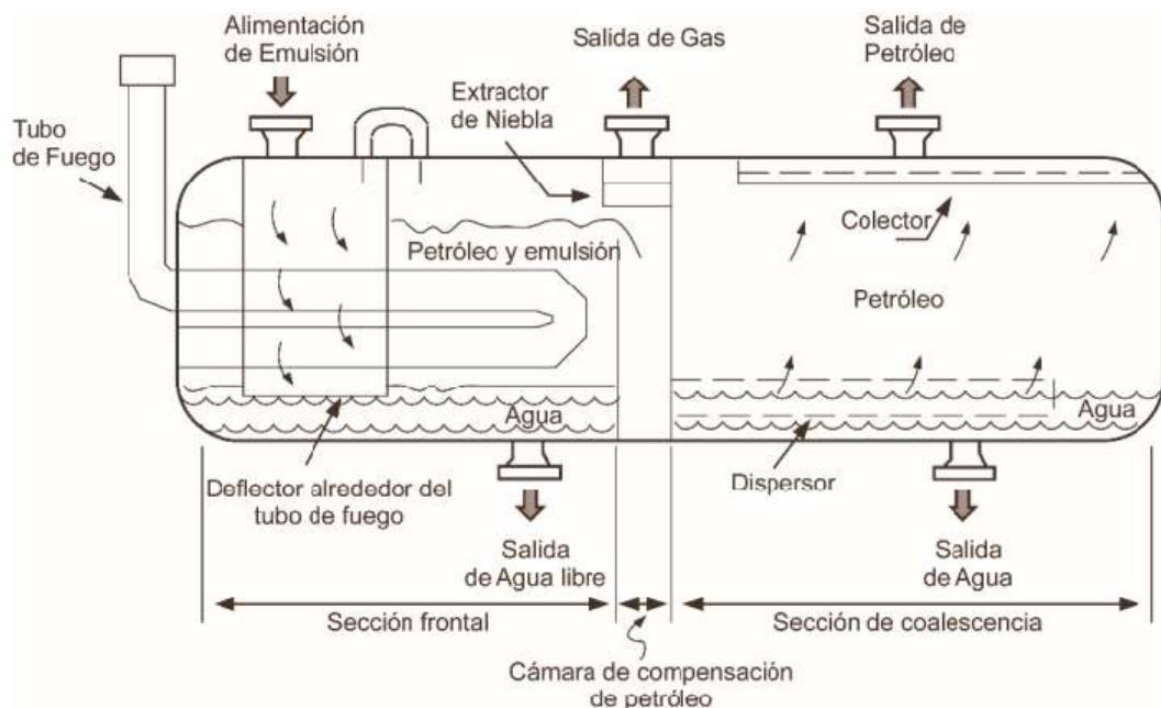
Componentes:

Válvula de Salida de Petróleo: Regula el flujo de petróleo.

Tubería de Salida de Petróleo: Transporta el petróleo al siguiente proceso o almacenamiento.

Medidor de Nivel de Petróleo: Monitorea el nivel de petróleo en la parte superior del separador.

Figura 4. Esquema del separador de producción de agua libre (FWKO)



Fuente: (Monteros , 2012)

Nota: El grafico representa el esquema del diseño y funcionamiento del separador de producción de agua libre (FWKO) para fijación óptima de consignas en un separador trifásico de un tren de tratamiento de crudo. Tomado de *Esquema de control jerárquico para fijación óptima de consignas en un separador trifásico de un tren de tratamiento de crudo* págs. 59-67, por Sánchez, 2019.

4.2.Consideraciones Adicionales

4.2.1. Instrumentación y Control:

Instalar sensores de nivel, presión y flujo en puntos clave para monitorear y ajustar la operación.

Considerar sistemas de control automático para manejar el drenaje de agua y regular el flujo.

4.2.2. Diseño Estructural:

Asegurarse de que el separador esté construido con materiales resistentes a la corrosión y adecuado para las presiones y temperaturas de operación.

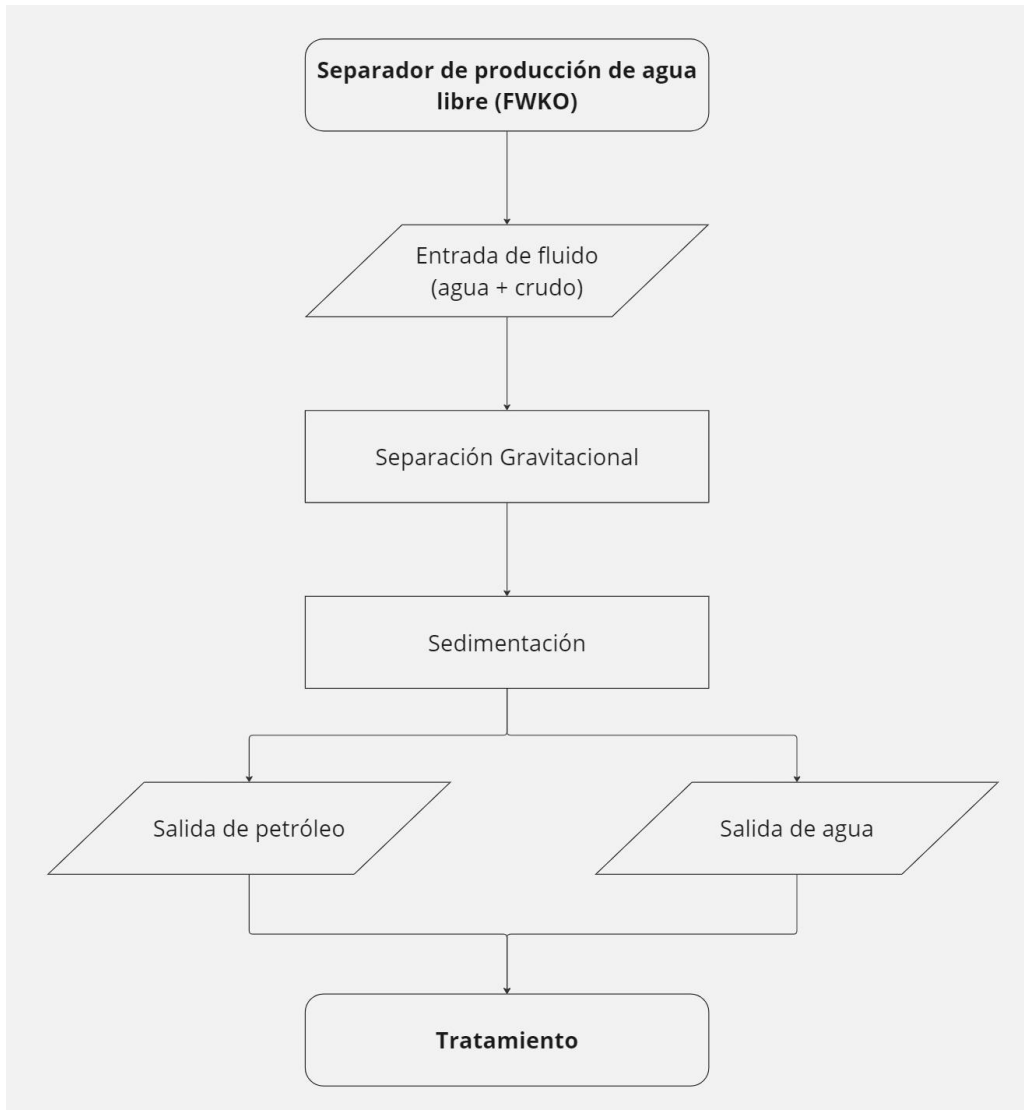
Incluir mecanismos de seguridad como válvulas de sobrepresión y sistemas de emergencia.

4.2.3. Mantenimiento y Accesibilidad:

Diseñar el separador para facilitar el acceso a las áreas de mantenimiento y los componentes clave.

Incluir un plan de mantenimiento regular para asegurar un funcionamiento óptimo y prolongado. Este diseño es un punto de partida y debe ajustarse a las especificaciones técnicas y operativas de cada aplicación particular.

Figura 5. Diagrama de flujo del separador de producción de agua libre (FWKO)



Elaborado por: Autores

4.2.4. Entrada de Fluido (Crudo + Agua):

El petróleo crudo con una alta fracción de agua entra en el separador FWKO horizontal.

4.2.5. Separación Gravitacional:

Dentro del separador, el crudo y el agua se separan debido a la diferencia de densidad, con el agua, siendo más densa, descendiendo hacia el fondo.

4.2.6. Zona de Sedimentación:

El agua libre se asienta en el fondo del separador.

Salida de Petróleo Parcialmente Deshidratado:

El petróleo parcialmente deshidratado se extrae para su procesamiento adicional.

4.2.7. Salida de Agua:

El agua separada se recolecta en un tanque inferior para su tratamiento o eliminación.

4.3. Cálculos para el Separador de Producción de Agua Libre.

4.3.1. Cálculo del Tamaño del Separador

Determinar el volumen necesario del separador de agua libre para asegurar un tiempo de retención adecuado que permita la separación eficiente de agua y petróleo.

Datos Iniciales:

- Flujo total: 30000 barriles por día (BPD)
- Flujo del agua: 9000 barriles por día (BPD)
- Flujo del petróleo: 16500 barriles por día (BPD)
- Flujo de gas: 5400
- Densidad del petróleo (ρ_p): 55 lb/ft³
- Densidad del agua (ρ_a): 62.4 lb/ft³
- Densidad del gas (ρ_g): 0.06 lb/ft³
- Tiempo de retención para líquidos (t_r): 5 min
- Tiempo de retención para gas (t_r): 2 min
- Viscosidad del petróleo: 130 cP
- Viscosidad del agua: 1 cP
- Diámetro de las gotas de agua a separar del petróleo: 0.000656 ft

Paso 1: Cálculo de la Velocidad de Separación

a. Velocidad de Arrastre del Gas

Para evitar que el gas arrastre gotas de líquido, calculamos la velocidad de arrastre del gas usando la fórmula:

$$V_{\text{gas}} = \sqrt{\frac{2 \times g \times (\rho_p - \rho_g)}{\rho_g}}$$

Donde g en el sistema inglés es 32.2ft/s^2 .

$$V_{\text{gas}} = \sqrt{\frac{2 \times 32.2 \times (55 - 0.06)}{0.06}} \approx 242.8 \text{ ft/s}$$

Esta es la velocidad máxima permitida del gas para minimizar el arrastre de líquidos.

b. Cálculo de la Velocidad de Sedimentación del Agua en el Petróleo (Ley de Stokes):

La velocidad de sedimentación de una gota de agua en el petróleo puede calcularse con la Ley de Stokes:

$$V_{\text{agua}} = \frac{2}{9} \times \frac{(\rho_a - \rho_p) \times g \times d^2}{\mu_p}$$

Donde:

- $\rho_a = 62.41 \text{ lb/ft}^3$
- $\rho_p = 60.6 \text{ lb/ft}^3$
- $d = 0.000656 \text{ft}$ (200 micrones convertido a pies)
- $\mu_p = 130 \text{cP} = 0.13 \text{ lb/ft s}$

$$V_{\text{agua}} = \frac{2}{9} \times \frac{(62.41 - 55) \times 32.2 \times (0.000656)^2}{0.13} = 0.00017 \text{ ft/s}$$

Convertir los Flujos a Unidades Consistentes

1 Convertir flujo de líquidos (petróleo y agua) a ft^3/s :

- 1 barril (bbl) = 5.61458ft^3

$$Q_{\text{petróleo}} = \frac{16500 \times 5.61458}{24 \times 3600} = 1.07 \text{ ft}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{agua}} = \frac{9000 \times 5.61458}{24 \times 3600} = 0.58 \text{ ft}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{líquidos}} = Q_{\text{petróleo}} + Q_{\text{agua}} = 1.07 + 0.58 = 1.65 \text{ ft}^3/\text{s}$$

2 Convertir flujo de gas a ft^3/s :

$$Q_{\text{gas}} = \frac{4500 \times 5.61458}{24 \times 3600} = 0.29 \text{ ft}^3/\text{s}$$

a. Calcular el Volumen del Separador para Líquidos

Utilizando el tiempo de retención deseado para líquidos:

$$t_{\text{retención, líquidos}} = 5 \text{ min} = 300 \text{ s}$$

$$V_{\text{separador, líquidos}} = Q_{\text{líquidos}} \times t_{\text{retención, líquidos}} = 1.65 \times 300 = 495 \text{ft}^3$$

Utilizando el tiempo de retención deseado para gas:

$$t_{\text{retención, gas}} = 2 \text{ min} = 120 \text{ s}$$

$$V_{\text{separador, gas}} = Q_{\text{gas}} \times t_{\text{retención, gas}} = 0.29 \times 120 = 34.8 \text{ft}^3$$

b. Volumen Total del Separador

El volumen total del separador será la suma de los volúmenes necesarios para líquidos y gas, más un 20 – 30% extra para acomodar espacio para las tres fases:

$$\begin{aligned} V_{\text{separador, total}} &= (V_{\text{separador, líquidos}} + V_{\text{separador, gas}}) \times 1.3 \\ &= (495 + 34.8) \times 1.3 = 688.74 \text{ft}^3 \end{aligned}$$

Paso 2: Dimensiones del Separador

a. Calcular las Dimensiones (Longitud y Diámetro)

Para un separador horizontal, la relación longitud a diámetro (L/D) comúnmente utilizada es de 3: 1 a 5: 1. Utilizaremos un L/D de 4: 1 para este diseño.

1 Calcular el Diámetro D :

$$V_{\text{separador total}} = \frac{\pi \times D^2}{4} \times L$$

Donde $L = 4 \times D$

Reemplazamos L en la ecuación:

$$\begin{aligned} 688.74 &= \frac{\pi \times D^2}{4} \times 4 \times D = \pi \times D^3 \\ D^3 &= \frac{1006.2}{\pi} = 320.28 \\ D &= \sqrt[3]{320.28} \approx 6.84 \text{ ft} \end{aligned}$$

2 Calcular la Longitud L :

$$L = 4 \times D = 4 \times 6.84 \approx 27.36 \text{ ft}$$

Por lo tanto, el separador tiene un diámetro aproximado de 6.84 ft y una longitud de 27.36 ft.

Paso 3: Diseño de la Entrada

a. Diseño del Distribuidor de Entrada

El distribuidor de entrada debe reducir la velocidad y distribuir el flujo uniformemente. Se puede utilizar un deflector en forma de caja o un codo suave.

1 Área de la Tubería de Entrada

Supongamos que la tubería de entrada tiene un diámetro de 12 pulgadas (1 ft):

$$A_{\text{entrada}} = \frac{\pi \times (1)^2}{4} = 0.785 \text{ft}^2$$

2 Velocidad Inicial de Entrada

$$V_{\text{entrada}} = \frac{Q_{\text{total}}}{A_{\text{entrada}}} = \frac{1.94}{0.785} \approx 2.47 \text{ ft/s}$$

3 Dimensiones del Distribuidor

Asumamos un distribuidor cilíndrico de 2 ft de diámetro dentro del separador:

- Área transversal del distribuidor:

$$A_{\text{distribuidor}} = \frac{\pi \times (2)^2}{4} = 3.14 \text{ ft}^2$$

- Velocidad de salida del distribuidor:

$$V_{\text{salida}} = \frac{Q_{\text{total}}}{A_{\text{distribuidor}}} = \frac{1.94}{3.14} \approx 0.61 \text{ ft/s}$$

b. Deflector de Impacto

- Ángulo de inclinación: 45° a 60° para maximizar la dispersión.
- Longitud del deflector: Aproximadamente 1/4 del diámetro del separador.

$$L_{\text{deflector}} = \frac{1}{4} \times 6.84 \approx 1.71 \text{ft}$$

Paso 4: Cálculo de la Eficiencia del Separador

La eficiencia del separador se puede estimar como la relación entre el volumen de agua efectivamente separado y el volumen de agua entrante. Suponiendo que el separador tiene una eficiencia de separación del 95%:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Volumen de agua separada}}{\text{Volumen de agua entrante}} \times 100\% = 95\%$$

Si ingresan 0.58 ft³/s de agua, la cantidad de agua efectivamente separada sería:

$$\text{Agua separada} = 0.95 \times 0.58 \text{ ft}^3/\text{s} \approx 0.551 \text{ ft}^3/\text{s}$$

Por lo tanto, el volumen de agua en el petróleo después de la separación sería:

$$\text{Agua en petróleo} = 0.58 - 0.551 = 0.029 \text{ ft}^3/\text{s}$$

4.3.2. Selección de Materiales

Consideraciones:

- Resistencia a la corrosión debido a la presencia de agua y compuestos ácidos en el crudo.
- Durabilidad y facilidad de mantenimiento.

Materiales Seleccionados:

- **Cuerpo del Separador:** Acero inoxidable 316L por su excelente resistencia a la corrosión y durabilidad en ambientes agresivos.
- **Revestimiento Interno:** Epoxy especial resistente a hidrocarburos para proteger contra la corrosión interna.
- **Tuberías y Conexiones:** PVC reforzado o acero inoxidable dependiendo de la sección y presión de operación.

4.4. Diseño conceptual del separador electrostático

4.4.1. Entrada de Fluido

Componentes:

Tubería de Entrada: Transporta la mezcla de líquido y/o vapor hacia el separador.

Válvula de Control: Ajusta el flujo de entrada.

Medidor de Flujo: Mide la cantidad de fluido que entra en el separador.

4.4.2. Cámara de Pretratamiento (Opcional)

Componentes:

Deflector de Fluido: Redirige el flujo para facilitar la entrada en la cámara de separación.

Placa de Distribución: Asegura una distribución uniforme del fluido.

4.4.3. Cámara de Separación

Componentes:

Electrodos: Campos eléctricos que facilitan la coalescencia de gotas de agua o de otras fases.

Estos pueden ser:

Electrodo Positivo: Colocado en un lado de la cámara.

Electrodo Negativo: Colocado en el lado opuesto de la cámara.

Cámara de Coalescencia: Espacio donde las gotas coalescen debido al campo eléctrico.

Medidor de Nivel de Líquido: Monitorea el nivel de líquido en la cámara de separación.

4.4.4. Cámara de Separación de Fases

Componentes:

Separador de Fases: Zona donde se acumulan las fases separadas (agua y petróleo).

Medidor de Nivel de Agua: Monitorea el nivel de agua en la cámara inferior.

Medidor de Nivel de Petróleo: Monitorea el nivel de petróleo en la cámara superior.

4.4.5. Salidas de Fluido

Componentes:

Válvula de Salida de Agua: Permite la salida del agua separada.

Válvula de Salida de Petróleo: Permite la salida del petróleo separado.

Tuberías de Salida: Conducen los fluidos separados al almacenamiento o a procesos posteriores.

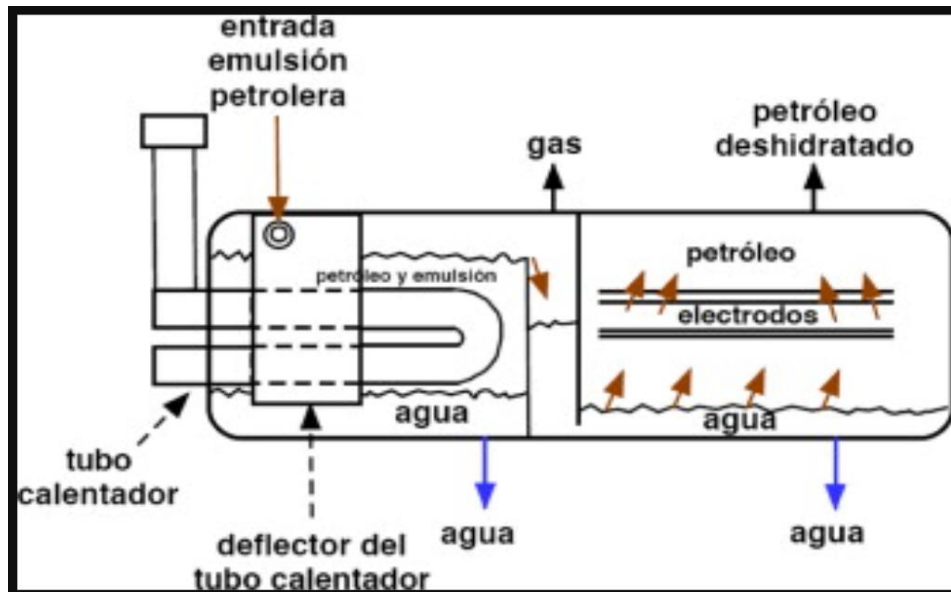
4.4.6. Sistema de Control y Monitoreo

Componentes:

Controlador de Campo Eléctrico: Ajusta la intensidad del campo eléctrico para optimizar la separación.

Panel de Instrumentación: Muestra lecturas de presión, nivel y flujo.

Figura 6. *Esquema del separador electrostático*



Fuente: (González, 2011)

Nota: El gráfico representa el esquema del diseño y funcionamiento del separador de electrostático para la aplicación de la ley de Stokes como herramienta conceptual en el análisis de procesos de deshidratación del petróleo. Tomado de *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* págs. 57-62, por Delgado, Gutierrez, & Salazar, 2013.

4.4.7. Consideraciones Adicionales

Campo Eléctrico:

El diseño de los electrodos debe ser tal que permita una distribución uniforme del campo eléctrico en la cámara de separación. La tensión aplicada y la configuración de los electrodos son críticas para la eficiencia del proceso.

Materiales y Construcción:

Los electrodos y la cámara deben estar contruidos con materiales que resistan la corrosión y el desgaste debido a la presencia de líquidos y campos eléctricos.

Mantenimiento:

El diseño debe permitir el acceso fácil para la limpieza y el mantenimiento de los electrodos y otros componentes.

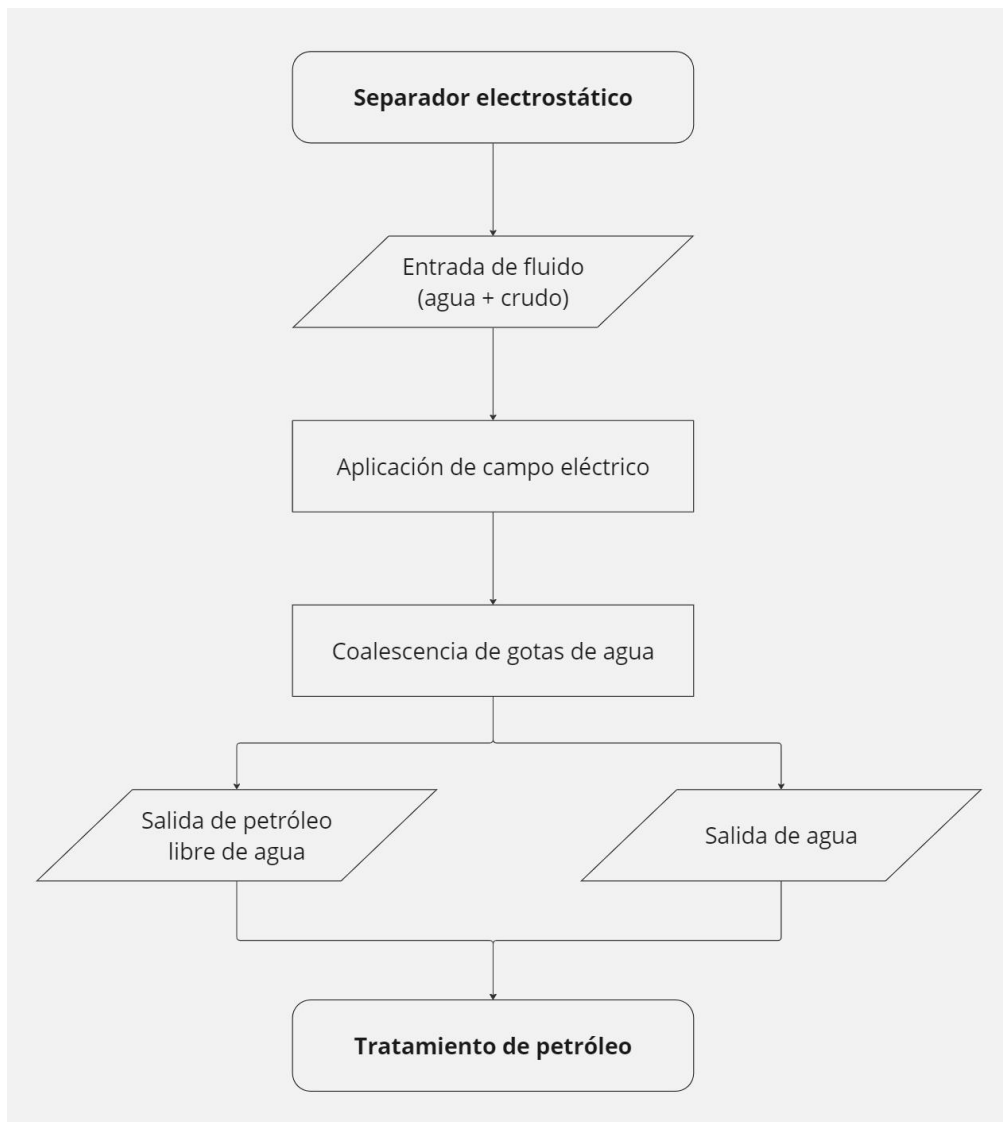
Seguridad:

Implementar medidas de seguridad para manejar las tensiones eléctricas y prevenir riesgos asociados con el uso de campos eléctricos.

Instrumentación:

Incluir sensores de nivel, presión y flujo para monitorear y controlar el proceso de separación.

Figura 7. Diagrama de flujo del separador electrostático



Elaborado por: Autores

4.5. Cálculos para el Separador Electroestático

Datos Iniciales:

- Flujo total: 30000 barriles por día (BPD)
- Flujo del petróleo: 16500 barriles por día (BPD)
- Flujo del agua: 9000 barriles por día (BPD)
- Flujo de gas: 4500
- Densidad del petróleo (ρ_p): 55 lb/ft^3
- Densidad del agua (ρ_a): 62.4 lb/ft^3
- Densidad del gas (ρ_g): 0.06 lb/ft^3
- Tiempo de retención para líquidos (t_r): 5 min
- Tiempo de retención para gas (t_r): 2 min
- Viscosidad del petróleo: 130 cP
- Viscosidad del agua: 1 cP
- Diámetro de las gotas de agua a separar del petróleo: 0.000656 ft
- Campo electrostático aplicado (E): $15\,000 \text{ V/in}$

4.5.1. Cálculo de la Velocidad de Asentamiento

Primero, calculamos la velocidad de asentamiento sin el campo eléctrico:

$$v_s = \frac{(d^2)(\rho_s - \rho_f)g}{18\mu}$$

Sustituyendo los valores:

$$v_s = \frac{(0.000656)^2 \times (62.4 - 55) \times 32.2}{18 \times 0.13}$$

$$v_s \approx 0.0004 \text{ ft/s}$$

Ahora, estimamos un factor de mejora. Suponiendo que el campo eléctrico mejora la velocidad de asentamiento en un 50%:

$$v_{se} = 0.0004 \text{ ft/s} \times 1.5 \approx 0.0004 \text{ ft/s}$$

4.5.2. Cálculo del Volumen del Separador

2 Convertir flujo de líquidos (petróleo y agua) a ft³/s :

- 1 barril (*bbl*) = 5.61458ft³

$$Q_{\text{petróleo}} = \frac{16500 \times 5.61458}{24 \times 3600} = 1.07 \text{ ft}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{agua}} = \frac{9000 \times 5.61458}{24 \times 3600} = 0.58 \text{ ft}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{líquidos}} = Q_{\text{petróleo}} + Q_{\text{agua}} = 1.07 + 0.58 = 1.65 \text{ ft}^3/\text{s}$$

a. Calcular el Volumen del Separador para Líquidos

Utilizando el tiempo de retención deseado para líquidos:

$$t_{\text{retención, líquidos}} = 5 \text{ min} = 300 \text{ s}$$

$$V_{\text{separador, líquidos}} = Q_{\text{líquidos}} \times t_{\text{retención, líquidos}} = 1.65 \times 300 = 495 \text{ ft}^3$$

b. Volumen Total del Separador

El volumen total del separador será la suma de los volúmenes necesarios para líquidos y gas, más un 20 – 30% extra para acomodar espacio para las tres fases:

$$\begin{aligned} V_{\text{separador, total}} &= (V_{\text{separador, líquidos}} + V_{\text{separador, gas}}) \times 1.3 \\ &= 495 \times 1.3 = 643.5 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

Paso 2: Dimensiones del Separador

Cálculo de Diámetro y Longitud

Como en el caso anterior, usamos una relación longitud-diámetro $L = 3D$:

$$V_l = \frac{\pi D^2}{4} \times 3D = \frac{3\pi D^3}{4}$$

Despejamos D :

$$D^3 = \frac{4V_l}{3\pi} = \frac{4 \times 643.5}{3\pi} \approx 273.109$$

$$D = \sqrt[3]{273.109} \approx 6.48 \text{ ft}$$

Longitud del separador:

$$L = 3D = 3 \times 6.48 \text{ ft} \approx 19.44 \text{ ft}$$

4.5.3. Cálculo de la Fuerza de Coalescencia

Fuerza de Atracción Eléctrica:

La fuerza entre dos gotas de agua cargadas en un campo eléctrico puede calcularse con:

$$F = q \cdot E$$

Donde:

- q es la carga de la gota (C)

Para una gota con una carga estimada de $1 \times 10^{-12} C$, así:

$$F = 1 \times 10^{-12} \cdot 15000 = 15 \times 10^{-7} N$$

Esta fuerza es suficiente para provocar la coalescencia de las gotas.

4.5.4. Cálculo de la Eficiencia

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Volumen de agua separada}}{\text{Volumen de agua entrante}} \times 100\% = 99\%$$

Si ingresan $0.64 \text{ ft}^3/\text{s}$ de agua, la cantidad de agua efectivamente separada sería:

$$\text{Agua separada} = 0.99 \times 0.58 \text{ ft}^3/\text{s} \approx 0.57 \text{ ft}^3/\text{s}$$

Por lo tanto, el volumen de agua en el petróleo después de la separación sería:

$$\text{Agua en petróleo} = 0.58 - 0.57 = 0.01 \text{ ft}^3/\text{s}$$

4.5.5. Dimensionamiento de los Electrodo

Área de los Electrodo:

Para calcular el área necesaria de los electrodo, se debe considerar el caudal y la eficiencia del campo. Los cálculos de volumen y dimensionamiento de este separador es similar al anterior, por ende tomaremos los mismo datos.

Datos Iniciales:

- **Eficiencia de separación: 99%**
- **Caudal (Q) = $25.72 \text{ ft}^3/\text{s}$**

$$A = \frac{Q}{V_{\text{eficiencia}}} \approx \frac{1.65}{0.99} \approx 2,89 \text{ m}^2$$

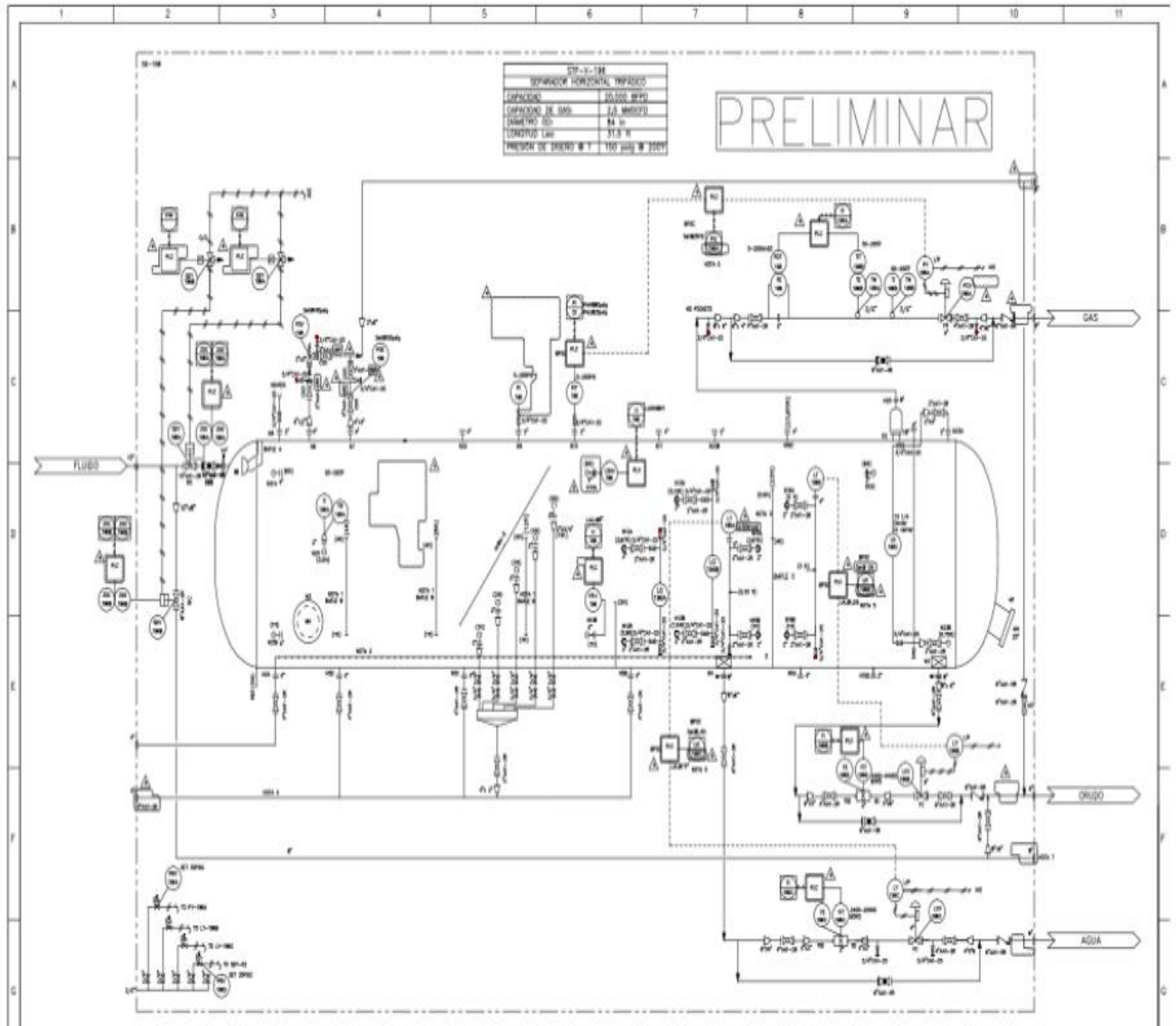
Esto proporciona una base para dimensionar adecuadamente los electrodo.

Materiales para Electrodo:

- **Material:** Aleaciones de aluminio o acero inoxidable recubierto con materiales conductores.
- **Revestimiento:** Materiales anticorrosivos para prolongar la vida útil de los electrodos.

4.5.6. Diagrama P&ID del Separador

Figura 8. Diagrama P&ID del separador



Fuente: (Sánchez, 2019)

4.6. Selección de Materiales para el Separador Electroestático

Consideraciones:

- Compatibilidad Electromagnética: Evitar interferencias con otros equipos.

- **Resistencia a la Corrosión:** Materiales conductores que resistan el ambiente ácido del crudo.

Materiales Seleccionados:

- **Electrodos:** Aleaciones de aluminio recubierto, por su ligereza y buena conductividad.
- **Cuerpo del Separador:** Acero inoxidable 316L con revestimiento interior resistente a la corrosión.
- **Aislamiento:** Materiales dieléctricos que soporten altas tensiones y temperaturas.

4.7. Construcción y Ensamblaje del Separador Electroestático

4.7.1. Fases de Construcción:

i. Fabricación de Componentes:

- Corte y moldeo de placas de electrodos.
- Preparación de revestimientos y soportes.

ii. Montaje de Electrodos:

- Instalación precisa de electrodos para garantizar la uniformidad del campo eléctrico.
- Asegurar el alineamiento y la separación adecuada.

iii. Integración con el Sistema de Control:

- Instalación de sistemas de monitoreo de voltaje y flujo.
- Pruebas de seguridad y eficiencia antes de la puesta en marcha.

4.8. Construcción, implementación y puesta en marcha del separador FWKO

La selección de los materiales para la construcción de un separador FWKO debe garantizar la resistencia mecánica y la durabilidad bajo las condiciones operativas del campo. El uso de acero al carbono para las partes principales y acero inoxidable para componentes en contacto directo con fluidos corrosivos asegura un equilibrio entre costo y durabilidad,

mientras que los revestimientos y recubrimientos adicionales prolongan la vida útil del equipo.

Tabla 1. *Materiales y componentes del separador FWKO*

Equipo	Materiales	Justificación
Cuerpo del Separador (Shell)	Acero al carbono (ASTM A516 Grado 70)	Este tipo de acero al carbono es comúnmente utilizado en la construcción de recipientes a presión debido a su alta resistencia mecánica, soldabilidad y capacidad para soportar la presión y temperatura operativa del separador
Cabezas del Separador (Heads)	Acero al carbono (ASTM A516 Grado 70)	Se utiliza el mismo material que para el cuerpo, asegurando uniformidad en la resistencia y comportamiento bajo presión.
Tuberías Internas y Distribuidores	Acero inoxidable (ASTM A240 Tipo 304/316)	Debido a la exposición directa a los fluidos corrosivos (crudo, agua salada, etc.), el acero inoxidable es adecuado por su resistencia a la corrosión y durabilidad en entornos severos.
Bridas y Conexiones	Acero al carbono (ASTM A105 para bridas forjadas)	Las bridas de acero al carbono son suficientemente resistentes para la mayoría de aplicaciones de presión moderada. Sin embargo, si se espera corrosión significativa, se pueden usar bridas de acero inoxidable (ASTM A182 F304/F316)
Válvulas	Acero inoxidable o acero al carbono con revestimiento interno	Las válvulas deben resistir la corrosión y el desgaste. El acero inoxidable es preferido para aplicaciones corrosivas, mientras que el acero al carbono con revestimiento puede ser utilizado en condiciones menos exigentes.
Soportes y Estructura de Montaje	Acero estructural (ASTM A36)	El acero estructural es resistente y adecuado para soportar el peso del separador y otros equipos asociados, proporcionando estabilidad y seguridad.
Revestimientos y Recubrimientos	Materiales Internos: Revestimientos epóxicos,	Los revestimientos internos protegen el acero al carbono del cuerpo y las cabezas contra la corrosión causada por los fluidos procesados.

	<p>revestimientos de poliuretano, recubrimientos de polímeros resistentes a la corrosión.</p> <p>Materiales Externos: Pinturas epóxicas o de poliuretano.</p>	<p>Los revestimientos internos protegen el acero al carbono del cuerpo y las cabezas contra la corrosión causada por los fluidos procesados.</p>
Juntas y Empaques	<p>Grafito, PTFE (politetrafluoroetileno), o materiales compuestos resistentes a la temperatura y presión.</p>	<p>Las juntas y empaques deben ser capaces de mantener la hermeticidad bajo las condiciones de presión y temperatura operativas, resistiendo además la acción de los químicos presentes.</p>

Elaborado por: Autores

4.8.1. Armado del separador FWKO

La presente propuesta detalla los pasos necesarios para el armado, construcción e implementación de un separador FWKO (Free Water Knockout) en la Central de Procesamiento de Fluidos Tiputini, Ecuador. El objetivo es mejorar la eficiencia en la separación de agua libre del crudo, optimizando así la calidad del producto y asegurando la protección de los equipos de procesamiento posteriores.

Alcance del Proyecto

Ubicación y Condiciones Operativas

Ubicación: Central de Procesamiento de Fluidos Tiputini, Bloque 43, Ecuador.

Condiciones Operativas: Caudal de entrada de 30,000 BPD, con un contenido de agua en el crudo del 30%. La presión operativa estimada es de 100 psi, con una temperatura de 150 °F.

Objetivos Específicos

- Fabricar y ensamblar un separador FWKO horizontal capaz de manejar las condiciones de flujo y operación descritas.
- Implementar el separador en la planta existente, asegurando la integración con los sistemas de control y monitoreo de la instalación.

Diseño y Planificación

Diseño del Separador FWKO

Dimensiones: Se propone un separador horizontal con un diámetro de 10 pies y una longitud de 40 pies.

Materiales: Se utilizará acero al carbono ASTM A516 Grado 70 para el cuerpo principal, debido a su resistencia a la presión y la corrosión. Los componentes internos, como los deflectores y coalescedores, serán de acero inoxidable 316L.

Capacidad: El separador estará diseñado para manejar un caudal máximo de 40,000 BPD, proporcionando un margen de seguridad adicional.

Planificación del Sitio

Preparación del Sitio: Se realizará la nivelación y compactación del área designada, seguida por la construcción de una base de concreto reforzado. La ubicación se elegirá estratégicamente para facilitar la conexión con las tuberías existentes y minimizar la interferencia con otras operaciones.

Proceso de Fabricación y Ensamblaje

Fabricación

Corte y Formación: Las láminas de acero se cortarán y rolarán en un taller especializado. Se garantizará que las dimensiones sean precisas para asegurar un ensamblaje adecuado.

Soldadura: Las secciones del separador se soldarán utilizando procesos automatizados de soldadura por arco sumergido (SAW) para asegurar uniones sólidas y estancas. Todas las soldaduras serán inspeccionadas y probadas mediante métodos no destructivos.

Instalación de Particiones Internas: Se ensamblarán y soldarán los deflectores y coalescedores dentro del cuerpo del separador, siguiendo el diseño aprobado.

Ensamblaje en el Sitio

Transporte: El separador fabricado será transportado al sitio con equipos especializados. Se utilizarán grúas de alta capacidad para la colocación precisa sobre la base de concreto.

Montaje en la Base: El separador será anclado y nivelado en su base, asegurando su estabilidad durante la operación.

Conexión de Tuberías: Se conectará el separador al sistema de tuberías de entrada y salida de la planta. Las conexiones se realizarán con bridas de alta presión, asegurando la integridad de las uniones.

Implementación y Puesta en Marcha

Instalación de Instrumentación y Control

Instrumentación: Se instalarán sensores de presión, transmisores de nivel, y termómetros en los puntos estratégicos del separador. Estos instrumentos estarán conectados al sistema de control centralizado de la planta.

Control Automático: Se implementará un lazo de control automático para mantener la presión y el nivel de líquido dentro del separador, optimizando la eficiencia de separación.

Pruebas y Ajustes

Pruebas de Integridad: Se realizarán pruebas de presión hidrostática y pruebas en seco para asegurar que el separador y sus conexiones sean herméticos y operen correctamente.

Carga de Prueba: Se introducirá un fluido de prueba (agua) para simular las condiciones de operación y realizar ajustes en los controles de presión y nivel.

Operación Inicial y Optimización

Puesta en Marcha: El separador comenzará a operar con crudo real, y se monitorearán todos los parámetros críticos. Se realizarán ajustes según sea necesario para optimizar el rendimiento.

Evaluación: Después de un periodo de operación continua, se evaluará el desempeño del separador para asegurar que cumpla con los objetivos de eficiencia y calidad del crudo.

Cronograma de Implementación

Fase 1: Diseño y Planificación (4 semanas)

Revisión de especificaciones.

Selección de materiales.

Preparación del sitio.

Fase 2: Fabricación y Ensamblaje (8 semanas)

Corte, formación, y soldadura.

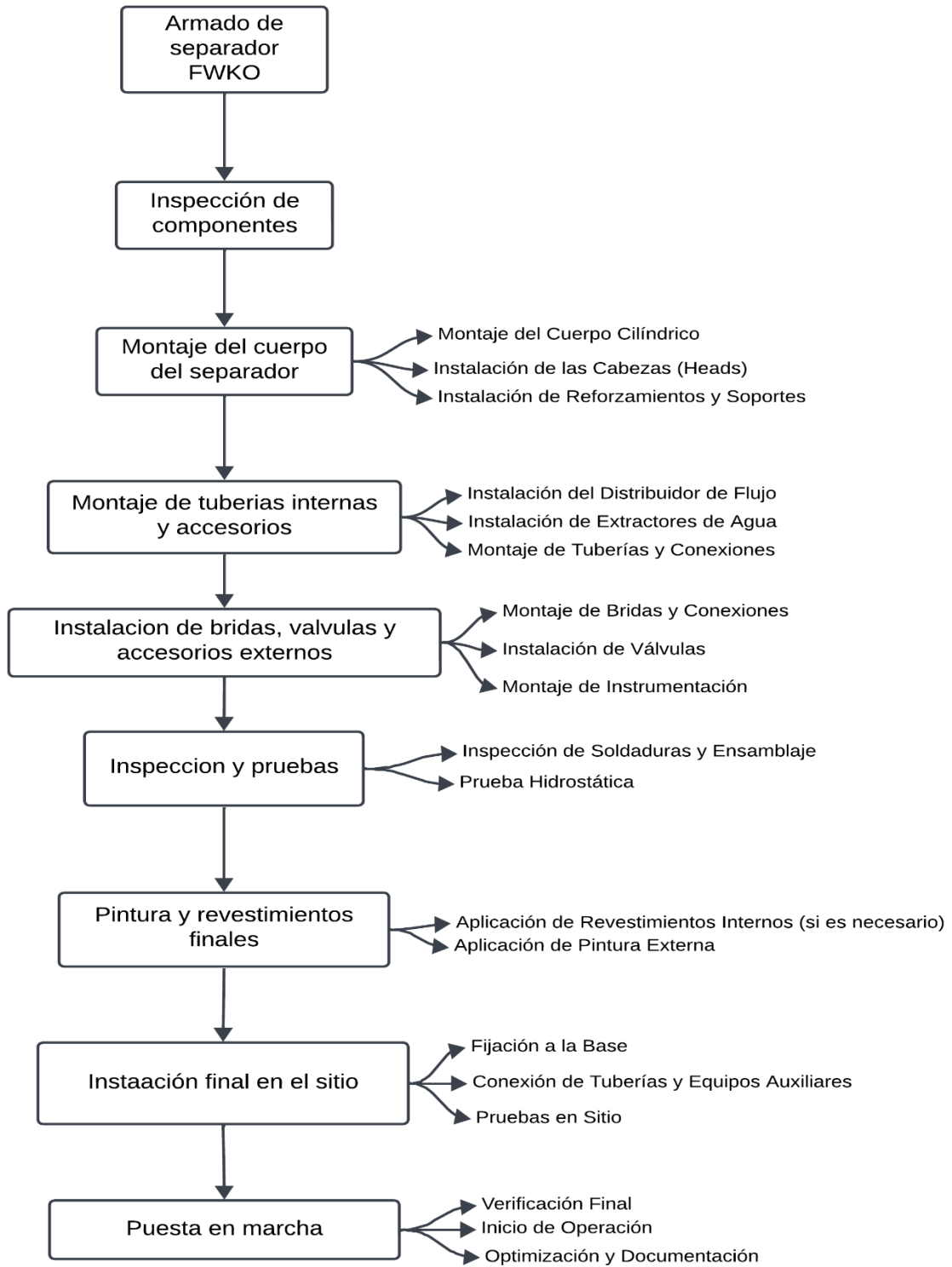
Transporte y montaje en el sitio.

Fase 3: Implementación y Puesta en Marcha (4 semanas)

Instalación de instrumentación y control.

Pruebas, ajustes y operación inicial.

Figura 9. Diagrama de proceso de la implementación y construcción del separador FWKO



Elaborado por: Autores

4.9. Construcción, implementación y puesta en marcha del separador Electrostático

Tabla 2. *Materiales y componentes del separador Electrostático*

Equipo	Materiales	Propósito
Cuerpo del Separador	Acero al carbono (ASTM A516 Grado 70) o acero inoxidable (316L o 304L).	El cuerpo del separador debe ser resistente a la corrosión causada por el crudo y agua, así como soportar las presiones operativas típicas (por ejemplo, entre 100 y 500 psi).
Electrodos	Aleaciones de acero inoxidable (316L o 304L) o aluminio recubierto.	Se utiliza el mismo material que para el cuerpo, asegurando uniformidad en la resistencia y comportamiento bajo presión.
Aisladores	Cerámica de alta pureza, vidrio borosilicato o polímeros de alto rendimiento (por ejemplo, polietileno de alta densidad - HDPE).	Los aisladores evitan que la corriente eléctrica pase directamente al cuerpo del separador, aislando los electrodos del material conductor externo.
Recubrimientos Internos	Revestimiento de epoxi o resinas fenólicas	Los revestimientos internos protegen contra la corrosión interna causada por la mezcla de crudo y agua, y pueden mejorar la eficiencia de separación al reducir la conductividad de la superficie interna.
Conexiones y Accesorios	Acero inoxidable (316L o 304L) para las boquillas de entrada/salida, válvulas, bridas y otros accesorios.	Estos componentes deben ser altamente resistentes a la corrosión, especialmente en las zonas donde se produce la separación de agua y crudo.
Válvulas de Control y Sensores	Cuerpo de acero inoxidable con internos de aleaciones resistentes a la	Las válvulas regulan el flujo de entrada y salida, mientras que los sensores monitorean parámetros críticos como presión, nivel, y temperatura.

	corrosión y alta temperatura.	
Revestimiento Externo	Pintura anticorrosiva (como pintura de zinc o epoxi).	Protege el separador de la corrosión externa causada por la exposición al ambiente, especialmente en climas agresivos.
Sistema de Tuberías	Tuberías de acero al carbono o acero inoxidable.	Las tuberías conectan el separador con el resto del sistema de procesamiento. Deben ser resistentes a la presión y corrosión

Elaborado por: Autores

4.9.1. Armado del separador Electrostático

Esta propuesta describe los pasos para el armado, construcción e implementación de un separador electrostático en la Central de Procesamiento de Fluidos Tiputini, Ecuador. El objetivo principal es optimizar la separación de emulsiones de agua y crudo, utilizando la tecnología de deshidratación electrostática para reducir la fracción de agua en el crudo producido.

Alcance del Proyecto

Ubicación y Condiciones Operativas

Ubicación: Central de Procesamiento de Fluidos Tiputini, Bloque 43, Ecuador.

Condiciones Operativas: El separador debe manejar un caudal de entrada de 30,000 BPD, con una emulsión de agua en crudo que contiene hasta un 30% de agua. La operación debe realizarse bajo una presión de 100 psi y una temperatura de 150 °F.

Objetivos Específicos

- Fabricar e instalar un separador electrostático que emplee un campo eléctrico para desestabilizar y separar las emulsiones de agua y crudo.

- Integrar el separador con los sistemas de control y monitoreo existentes en la planta, asegurando una operación eficiente y segura.

Diseño y Planificación

Diseño del Separador Electroestático

Dimensiones: Se propone un separador electrostático horizontal con un diámetro de 10 pies y una longitud de 40 pies, con capacidad para manejar hasta 40,000 BPD.

Materiales: El cuerpo del separador será de acero al carbono ASTM A516 Grado 70, mientras que los electrodos internos estarán fabricados en acero inoxidable 316L. Los aisladores y componentes eléctricos serán de materiales resistentes a la corrosión y a altas temperaturas.

Sistema de Electroodos: El separador contará con un sistema de electrodos de alto voltaje para generar un campo eléctrico uniforme que permita la coalescencia de las gotas de agua dispersas en el crudo.

Planificación del Sitio

Preparación del Sitio: Se preparará una base de concreto reforzado que soportará el peso del separador y sus componentes. Se considerará la proximidad a otras unidades de procesamiento para minimizar las longitudes de tuberías y facilitar la integración.

Proceso de Fabricación y Ensamblaje

Fabricación

Corte y Formación del Cuerpo: Las láminas de acero serán cortadas y formadas en cilindros, siguiendo estrictas tolerancias dimensionales. Se emplearán técnicas de rolado y soldadura automatizada para asegurar una construcción robusta.

Soldadura y Montaje de Electroodos: Los electrodos y soportes internos se montarán dentro del cuerpo del separador. Estos se alinearán con precisión para garantizar una distribución uniforme del campo eléctrico.

Instalación de Aisladores y Conexiones Eléctricas: Los aisladores y conexiones eléctricas de alta tensión serán instalados y asegurados en su lugar. Se realizarán pruebas de aislamiento eléctrico para garantizar la seguridad operativa.

Ensamblaje en el Sitio

Transporte y Montaje: El separador será transportado al sitio de Tiputini utilizando transporte especializado. Se emplearán grúas de gran capacidad para posicionarlo sobre la base previamente construida.

Conexión de Tuberías: Se conectarán las tuberías de entrada y salida del separador a la red existente en la planta. Las uniones serán realizadas con bridas de alta presión, garantizando la integridad bajo condiciones operativas.

Implementación y Puesta en Marcha

Instalación de Instrumentación y Control

Instrumentación: Se instalarán sensores de nivel, presión, y temperatura en puntos clave del separador. Los sensores de corriente y voltaje también se integrarán para monitorear el sistema de electrodos.

Control Automático: Un sistema de control automatizado regulará la tensión aplicada a los electrodos, ajustando el campo eléctrico según la calidad del crudo y la eficiencia de separación deseada.

Pruebas y Ajustes

Pruebas de Integridad y Aislamiento: Se realizarán pruebas de presión hidrostática para asegurar la integridad del cuerpo del separador. Adicionalmente, se verificarán las propiedades de aislamiento eléctrico bajo condiciones de operación simuladas.

Carga de Prueba: Se introducirán fluidos de prueba para verificar la eficiencia de separación y hacer ajustes finos en los electrodos y el sistema de control.

Operación Inicial y Optimización

Puesta en Marcha: El separador comenzará a operar con emulsión real de agua y crudo, bajo condiciones de campo. Se monitorearán todos los parámetros críticos y se ajustarán los controles según sea necesario para alcanzar la máxima eficiencia.

Evaluación de Desempeño: Tras un periodo de operación continua, se evaluará el desempeño del separador para asegurar que cumple con los objetivos de reducción de la fracción de agua en el crudo.

Cronograma de Implementación

Fase 1: Diseño y Planificación (4 semanas)

Revisión de especificaciones.

Selección de materiales.

Preparación del sitio.

Fase 2: Fabricación y Ensamblaje (8 semanas)

Corte, formación, y soldadura.

Transporte y montaje en el sitio.

Fase 3: Implementación y Puesta en Marcha (4 semanas)

Instalación de instrumentación y control.

Pruebas, ajustes y operación inicial.

Construcción del Cuerpo

Proceso:

El cuerpo cilíndrico se forma a partir de láminas de acero, las cuales se enrollan y se sueldan para formar el recipiente principal.

Se instalan las boquillas de entrada y salida, además de las bridas para conexiones.

Instalación de Electrodo

Proceso:

Los electrodos se colocan dentro del separador. Estos electrodos son fundamentales para generar el campo eléctrico que facilita la separación de agua y crudo.

Los electrodos están conectados a una fuente de alta tensión y se alinean correctamente para maximizar la eficiencia del proceso de separación.

Colocación de Aisladores

Proceso:

Los aisladores, fabricados en cerámica o polímeros de alta resistencia, se instalan para separar eléctricamente los electrodos del cuerpo metálico del separador.

Estos aisladores aseguran que la corriente eléctrica no se escape hacia el cuerpo del separador.

Aplicación del Recubrimiento Interno

Proceso:

Se aplica un recubrimiento anticorrosivo (como epoxi o resina fenólica) en el interior del separador para protegerlo de la corrosión debido al crudo y agua.

El recubrimiento también puede mejorar la eficiencia de separación al reducir la acumulación de sedimentos.

Instalación de Tuberías y Conexiones

Proceso:

Se conectan las tuberías de entrada y salida del crudo, así como las válvulas necesarias para controlar el flujo.

También se instalan sensores de presión y nivel para monitorear y controlar el proceso.

Aplicación del Recubrimiento Externo

Proceso:

El exterior del separador se recubre con una pintura anticorrosiva para protegerlo del ambiente externo.

Este recubrimiento es esencial para garantizar la longevidad del equipo, especialmente en entornos agresivos.

Ensamblaje Final

Proceso:

Se realiza el ensamblaje completo del separador, incluyendo la conexión final de todas las tuberías, válvulas, y sistemas eléctricos.

Se verifica la alineación de todos los componentes y se realiza una inspección visual antes de la puesta en marcha.

Puesta en Marcha y Pruebas

Proceso:

Se realizan pruebas de presión para asegurar que no haya fugas en el separador.

Se prueba la integridad eléctrica del sistema, verificando que los electrodos funcionan correctamente bajo voltaje.

Finalmente, se realizan ajustes y calibraciones en los controles de presión, nivel, y voltaje para optimizar la operación.

4.10. Lasos de control de presión de gas y agua de los separadores

Datos Iniciales del Proceso

a) Presión de Entrada

- Presión de entrada del gas: 120 psi.
- Presión de entrada del agua: 80 psi.
- b) Presión de Salida Deseada
- Presión de salida del gas: 100 psi.
- Presión de salida del agua: 60 psi.
- c) Caudal de Flujo
- Caudal de entrada de gas: 2 MMSCFD (millones de pies cúbicos estándar por día).
- Caudal de entrada de agua: 10000 BPD (barriles por día).

Selección de Instrumentación

a) Sensor de Presión

- Rango del sensor: 0-200 psi (para cubrir posibles variaciones de presión).
- Precisión: $\pm 0.5\%$ del rango completo.
- b) Válvula de Control
- Coeficiente de Flujo (C_v): La C_v es la cantidad de flujo que pasa a través de una válvula con una caída de presión de 1 psi. Necesitamos calcular el C_v para la válvula.

Cálculo del Coeficiente de Flujo (C_v)

Para calcular el C_v de la válvula, utilizamos la siguiente fórmula para el gas:

$$C_v = \frac{Q_g}{N_1 \cdot \sqrt{\frac{P_1^2 - P_2^2}{G \cdot T}}}$$

Donde:

- Q_g es el caudal del gas en SCFH (pies cúbicos estándar por hora).
- P_1 es la presión de entrada del gas en psi.
- P_2 es la presión de salida del gas en psi.
- G es la gravedad específica del gas (asumimos $G = 0.65$).
- T es la temperatura absoluta del gas en grados Rankine (asumimos $540^\circ R$, equivalente a $80^\circ F$).

- $N1$ es una constante que depende de las unidades utilizadas (para SCFH, $N1 = 1360$).

Conversión del caudal:

- $Q_g = 2\text{MMSCFD} = 2,000,000\text{SCFD} = 83,333.33\text{CFH}$

Sustituyendo los valores:

$$Cv = \frac{83,333.33}{1360 \cdot \sqrt{\frac{120^2 - 100^2}{0.65 \cdot 540}}}$$

$$Cv = \frac{83,333.33}{1360 \cdot \sqrt{\frac{14400 - 10000}{351}}}$$

$$Cv \approx \frac{625,000}{4583} \approx 136.4$$

El Cv requerido para la válvula de gas es aproximadamente 17,31.

Sintonización del Controlador PID

Usaremos un enfoque basado en la experimentación para sintonizar el PID.

a) Parámetros Iniciales

- Proporcionalidad (P): $K_p = 0.5$
- Integral (I): $\tau_i = 1.0 \text{ min}^{-1}$
- Derivativo (D): $\tau_d = 0.1 \text{ min}$

b) Cálculo de la Respuesta del Sistema

Se realiza una prueba para observar la respuesta del sistema ante un cambio en la presión de entrada:

- Cambio en presión de entrada (step input): 5 psi.
- Observación de la salida del controlador: Ajustes en el valor de K_p para reducir oscilaciones.

Después de ajustes, supongamos que los valores óptimos son:

- Proporcionalidad (P): $K_p = 0.3$

- Integral (I): $\tau_i = 0.8 \text{ min}^{-1}$
- Derivativo (D): $\tau_d = 0.05 \text{ min}$

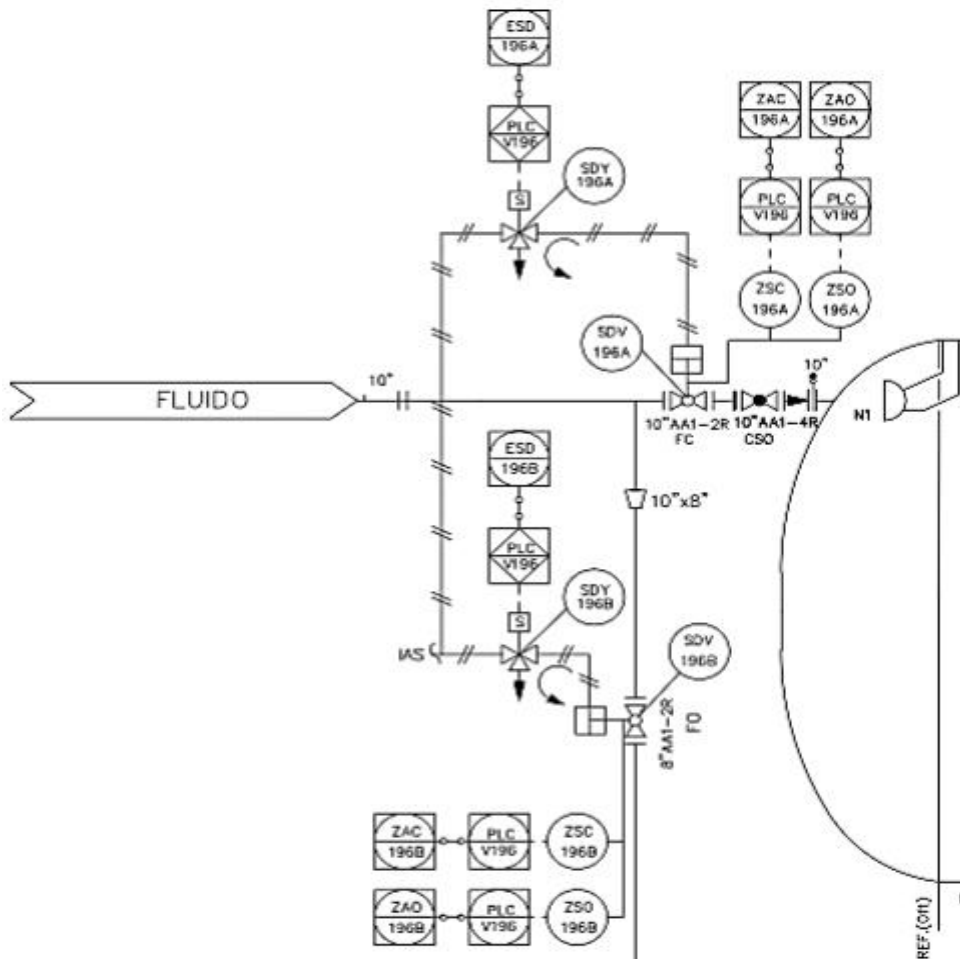
5 Implementación del Controlador

Los valores ajustados del PID se implementan en el controlador para manejar la válvula de control y mantener la presión en el setpoint deseado (100 psi para gas, 60 psi para agua).

Verificación y Ajustes Futuros

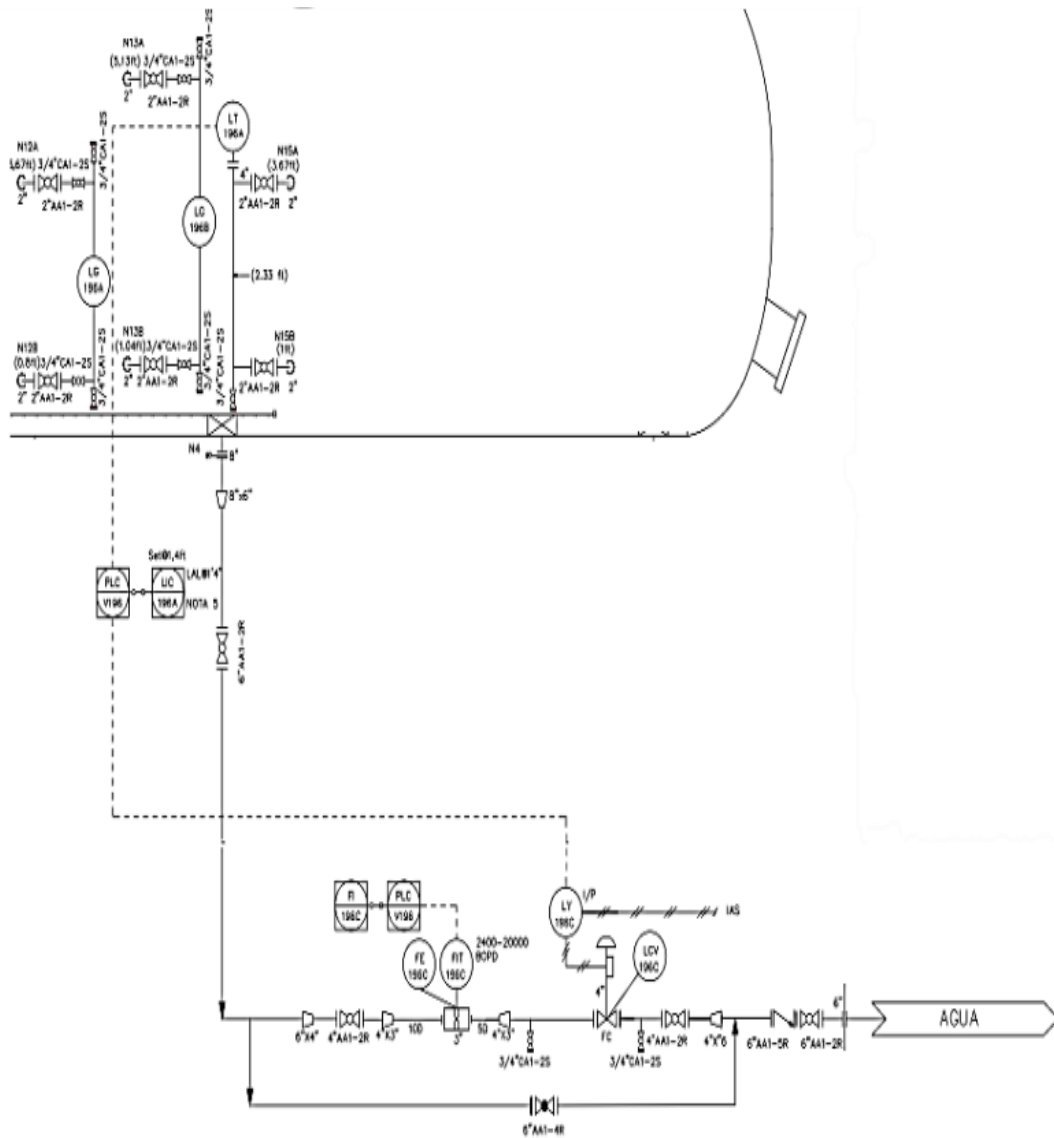
Se monitorea el rendimiento del lazo de control durante la operación normal. Si se observan desviaciones o inestabilidad, se realizan ajustes adicionales en los parámetros del PID.

Figura 10. Línea de flujo de entrada al separador



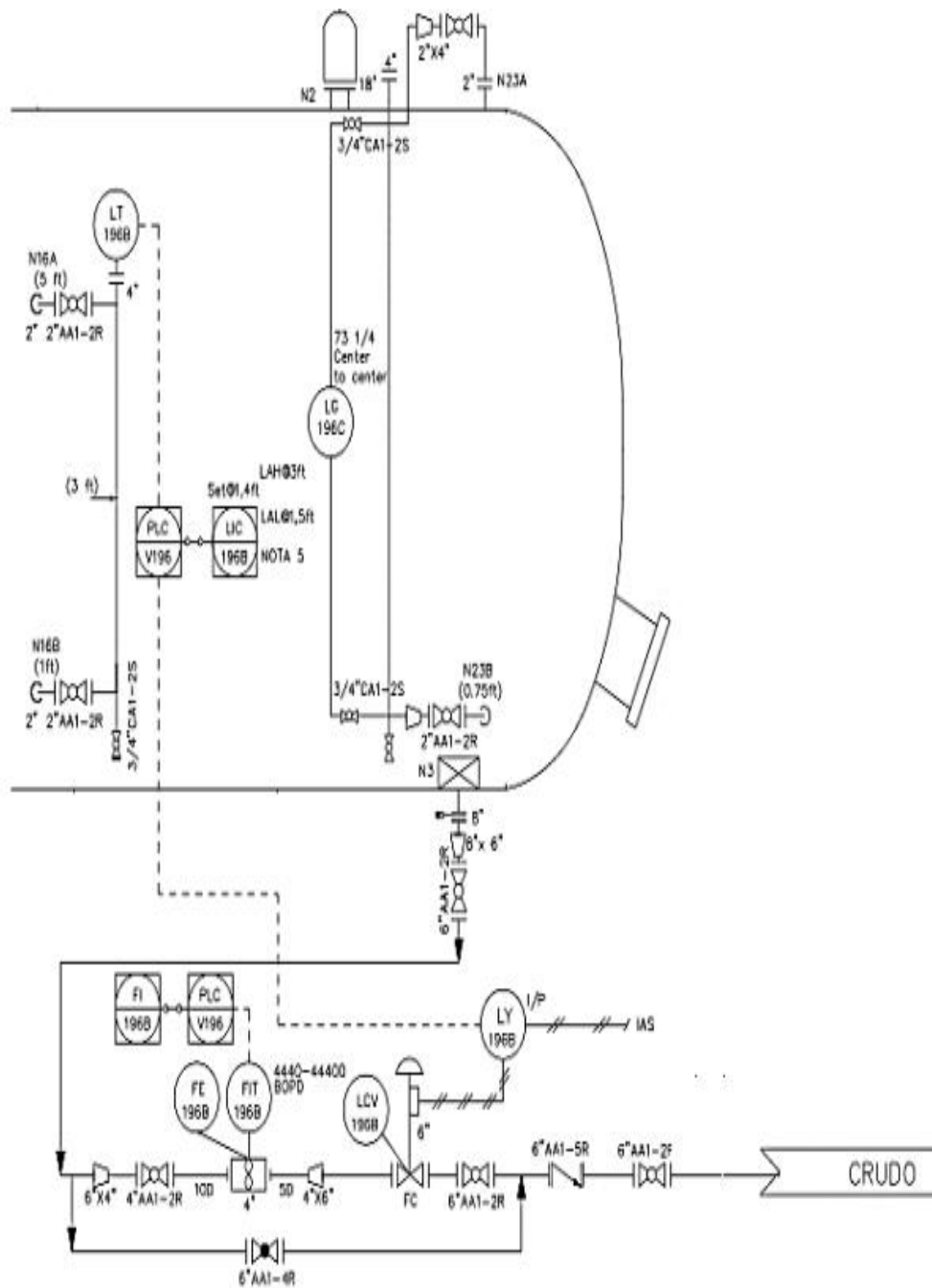
Fuente: (Sánchez, 2019)

Figura 11. Línea de agua



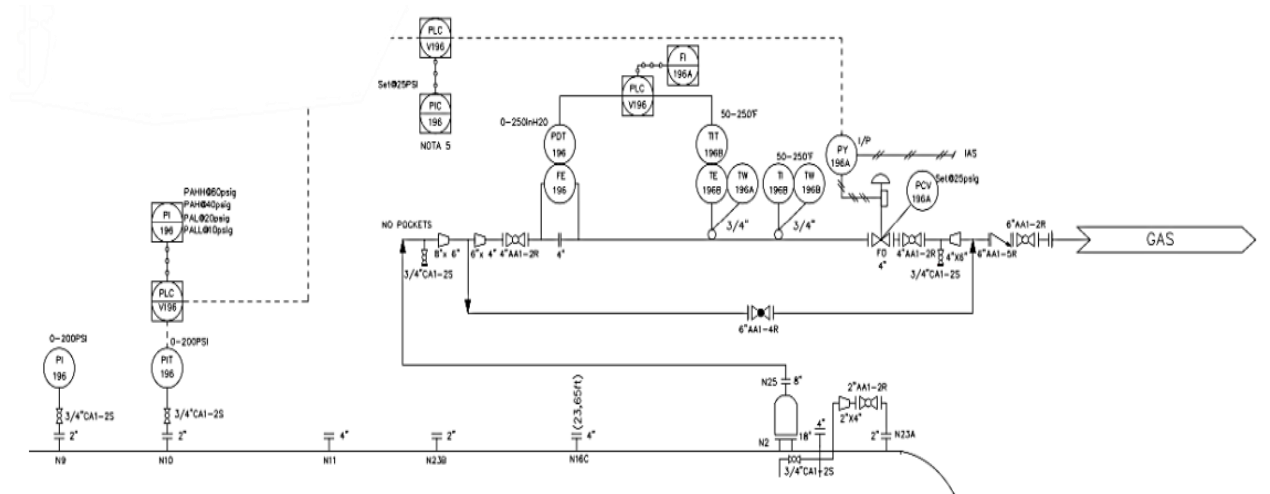
Fuente: (Sánchez, 2019)

Figura 12. Línea de crudo



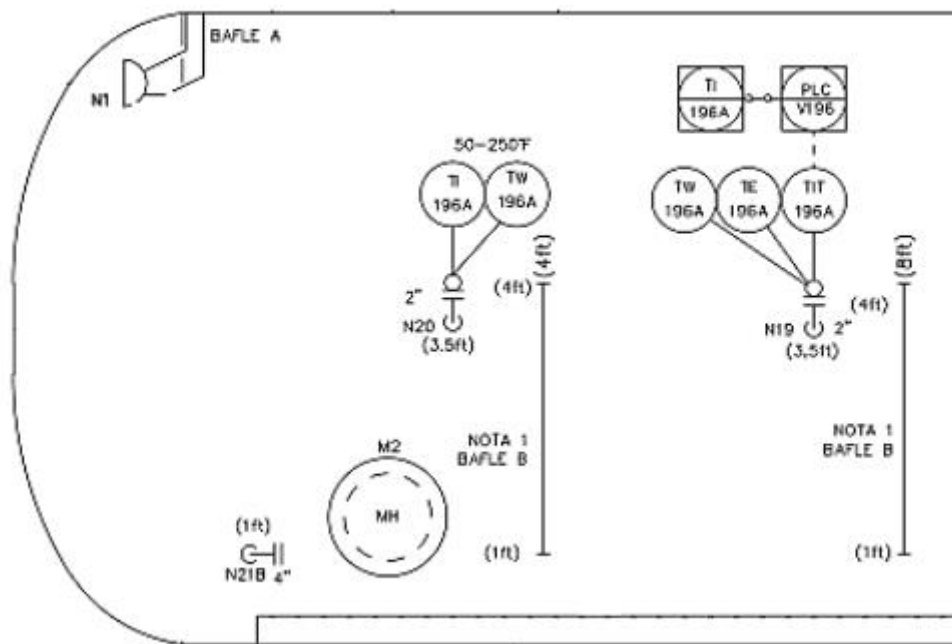
Fuente: (Sánchez, 2019)

Figura 13. Línea de gas



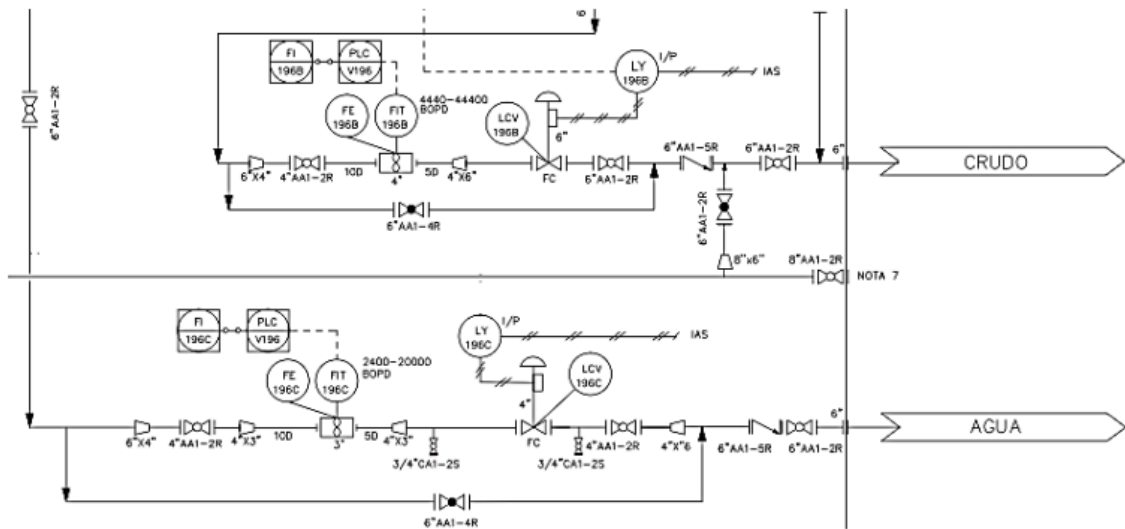
Fuente: (Sánchez, 2019)

Figura 14. Instrumentos de monitoreo



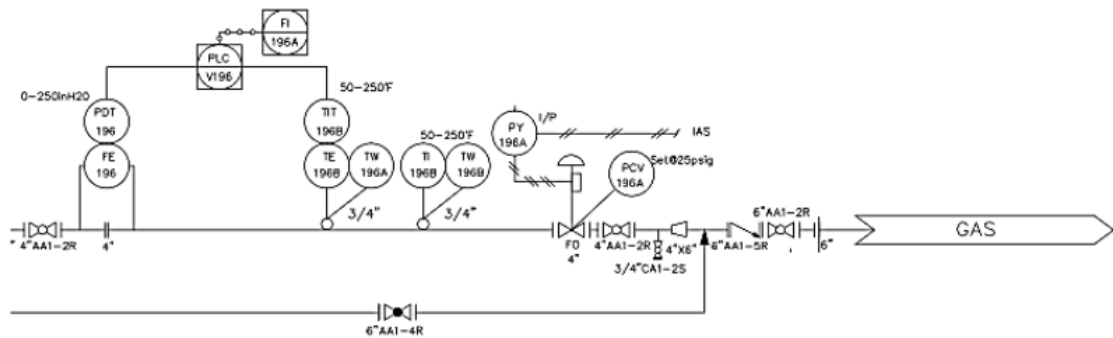
Fuente: (Sánchez, 2019)

Figura 15. Instrumentos de monitoreo crudo y agua



Fuente: (Sánchez, 2019)

Figura 16. Instrumentos de monitoreo de gas



Fuente: (Sánchez, 2019)

4.11. Área de Construcción de los separadores

Diseño de la Base de Concreto para un Separador

Para un separador con un diámetro de 6,02 pies y una longitud de 24.08 pies, los cálculos para la base de concreto serían los siguientes:

Dimensiones del Separador

Longitud: 24.08pies

Diámetro: 6.02 pies

Espacio Adicional para la Base

Para garantizar un margen adecuado para instalación y mantenimiento, se recomienda un espacio adicional de al menos 2 pies alrededor del separador:

Longitud total de la base: 24.08 pies (longitud del separador) + 2 pies (margen en un extremo) + 2 pies (margen en el otro extremo) = 28.08 pies

Ancho total de la base: 6.02 pies (diámetro del separador) + 2 pies (margen a un lado) + 2 pies (margen al otro lado) = 10.02 pies

Grosor de la Base

Para soportar el peso del separador y su contenido, el grosor de la base debe ser suficiente:

Grosor recomendado: Al menos 1.5 a 2 pies de concreto reforzado, para asegurar una adecuada distribución de la carga.

Capacidad de Carga

Peso del Separador: Se debe calcular según el diseño específico y los materiales, pero para efectos de diseño, se asume que el separador junto con su contenido podría pesar aproximadamente 300,000 libras.

Carga distribuida: La base de concreto debe estar diseñada para distribuir este peso de manera uniforme.

Diseño Final de la Base

Dimensiones:

Longitud: 28.08 pies

Ancho: 10.03 pies

Grosor: 1,5 a 2 pies

Materiales: Concreto reforzado con malla o barras de acero para soportar las cargas distribuidas.

La base de concreto para el separador debe tener dimensiones de 28,08 pies de largo por 10.02 pies de ancho y un grosor de 1.5 a 2 pies. Estas dimensiones aseguran una base adecuada y segura para el equipo, permitiendo su operación y mantenimiento en las condiciones específicas

4.12. Cálculo y Diseño del Cubeto del Separador

Diámetro: 6.84 pies

Longitud: 27.36 pies

Capacidad del separador: Vamos a calcular el volumen del separador en barriles.

Volumen del Separador

El volumen de un cilindro se calcula con la siguiente fórmula:

$$V = \pi * \left(\frac{D}{2}\right)^2 * L$$

Donde:

V es el volumen.

D es el diámetro del separador.

L es la longitud del separador.

Primero, calculamos el volumen en pies cúbicos y luego convertimos a barriles.

$$V = \pi * \left(\frac{6,84}{2}\right)^2 * 27.36$$

$$V = 1005.35 \text{ pies cubicos}$$

Ahora, convertimos el volumen de pies cúbicos a barriles (1 barril = 5.615 pies cúbicos)

$$V = 179.05 \text{ barriles}$$

Capacidad del Cubeto

El cubeto debe tener una capacidad del 110% del volumen del separador:

$$\textit{Capacidad del cubeto} = 1.10 * 179,05 \textit{barriles}$$

$$\textit{Capacidad del cubeto} = 196.95 \textit{ barriles}$$

Cálculo del Tamaño del Cubeto

Para determinar las dimensiones del cubeto, decidimos la profundidad (por ejemplo, 4 pies) y luego calculamos el área requerida:

Convertimos la capacidad del cubeto a pies cúbicos:

$$\textit{Capacidad del cubeto} = 1105.87 \textit{ pies cu' bicos}$$

Ahora, calculamos el área de la base del cubeto:

$$\textit{Área} = \frac{1105.87 \textit{ pies cu' bicos}}{4 \textit{ pies}}$$

$$\textit{Área} = 276.48 \textit{ pies cuadrados}$$

Dimensiones del Cubeto

Las dimensiones del cubeto dependerán de la forma que se elija, pero si optamos por una forma cuadrada:

$$\textit{Lado del cubeto} = 6.84 \textit{ pies}$$

El cubeto necesario para contener el 110% de la capacidad del separador FWKO debería tener una capacidad de 196.95 barriles, lo que se traduce en un volumen de 1105.87 pies cúbicos. Si se elige una profundidad de 4 pies, el área de la base sería de 276.48 pies cuadrados, lo que implica que cada lado del cubeto cuadrado debería medir aproximadamente 6.48 pies.

CAPITULO IV

5. PRUEBAS, RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La eficiencia en la separación de fases en sistemas de producción de petróleo es crucial para garantizar una operación efectiva y rentable. En este contexto, la implementación de tecnologías avanzadas para la separación de petróleo, gas y agua es fundamental para optimizar la calidad del producto y minimizar los costos operativos.

5.1. Resultados

Este capítulo presenta los resultados de la implementación de un separador horizontal trifásico y un separador electrostático en un sistema diseñado para procesar 30,000 barriles de petróleo por día. Estos equipos han sido seleccionados y diseñados para cumplir con requisitos específicos de tiempo de retención y viscosidad, con el objetivo de mejorar la separación y manejo de las fases producidas en el campo.

El separador horizontal trifásico es un componente esencial en el tratamiento de mezclas de petróleo, gas y agua, diseñado para separar eficientemente estas fases mediante el uso de la gravedad y la diferencia en densidades. Por otro lado, el separador electrostático se emplea para mejorar la separación de las fases líquidas utilizando un campo eléctrico que favorece la coalescencia de las gotas de agua y aceite.

En este capítulo, se detallan los cálculos de diseño realizados para ambos tipos de separadores, se presentan los resultados obtenidos en su implementación, y se analizan las eficiencias de separación alcanzadas. La información aquí proporcionada permitirá evaluar la efectividad de estos sistemas en las condiciones operativas especificadas y ofrecer recomendaciones para optimizar su rendimiento en futuros proyectos.

Tabla 3. Características del crudo presente en el campo

Datos
Flujo total: 30000 barriles por día (BPD)
Flujo de petróleo: 165000 barriles por día (BPD)
Flujo del agua: 9000 barriles por día (BPD)
Flujo de gas: 4500
Densidad del petróleo (ρ_p): 55 lb/ft ³
Densidad del agua (ρ_a): 62.4lb/ft ³
Densidad del gas (ρ_g): 0.06lb/ft ³
Tiempo de retención para líquidos (t_r): 5 min
Tiempo de retención para gas (t_r): 2 min
Viscosidad del petróleo: 130 cP
Viscosidad del agua: 1 cP
Diámetro de las gotas de agua: 0.000256 ft
Campo electrostático (E): 15 000 V/in

Elaborado por: Autores

A continuación, se presenta los resultados con respecto al dimensionamiento de los separadores respectivamente.

Tabla 4. Comparación de los parámetros de dimensionamiento de los separadores

Parámetro	FWKO	Electrostático
Diámetro (ft)	6.87	6.48
Longitud (ft)	27.36	19.44

Elaborado por: Autores

Nota: Evidentemente, el separador horizontal trifásico requiere un mayor volumen y área de asentamiento debido a su dependencia de la gravedad para separar las fases, resultando en un diseño más grande y tiempos de retención más largos, pero con operación más sencilla y menor costo operativo. En contraste, el separador electrostático es más compacto y eficiente, con una velocidad de asentamiento acelerada por el campo eléctrico que permite un diseño más pequeño y tiempos de retención más cortos, ideal para espacios limitados y cuando la eficiencia de separación de líquidos es crucial, aunque con mayores costos operativos y de mantenimiento

Tabla 5. Comparación de la eficiencia de los separadores

Parámetro	Ingreso	Salida del FWKO	Salida del Electrostático
Flujo total (BPD)	30000	30000	30000
Fracción del gas	15% (4500 BPD)	0%	0%
Fracción de petróleo	55% (16500 BPD)	95% (15675BPD)	99% (16335 BPD)
Fracción del agua	30% (9000 BPD)	5% (825BPD)	1% (165 BPD)
Eficiencia	---	95%	99%

Elaborado por: Autores

Nota: El separador electrostático generalmente presenta una mayor eficiencia en la separación de líquidos, alcanzando hasta un 99 % de pureza en la fase oleosa, gracias a la coalescencia de gotas inducida por el campo eléctrico, lo que lo hace ideal para procesos donde la pureza del petróleo es crucial. Por otro

lado, el separador horizontal trifásico, aunque menos eficiente en la separación de líquidos con una pureza aproximada del 95%, suele ser más efectivo en la separación de gas, logrando una mayor captura de gas libre con una eficiencia del 90%, frente al 99% del electrostático.

Análisis de las propuestas

Tabla 6. Análisis y comparación de las propuestas de los separadores

Criterio	FWKO	Separador electrostático
Diseño	<p>Principio de operación: Separación basada en gravedad y densidad.</p> <p>Tamaño: Más grande debido a la necesidad de espacio para sedimentación.</p> <p>Simplicidad: Diseño sencillo, menos componentes electrónicos.</p>	<p>Principio de Operación: Usa un campo eléctrico para separar emulsiones.</p> <p>Tamaño: Más compacto debido a la eficiencia del proceso.</p> <p>Complejidad: Diseño más complejo con componentes electrónicos avanzados.</p>
Implementación	<p>Facilidad de Instalación: Instalación sencilla, menos requerimientos técnicos.</p> <p>Tiempo de Implementación: Más corto.</p> <p>Adaptabilidad: Fácil integración en sistemas existentes.</p>	<p>Complejidad de Instalación: Requiere técnicos especializados. Tiempo de Implementación: Más largo.</p> <p>Adaptabilidad: Mejor para integraciones en sistemas de control avanzados.</p>
Costos	<p>Inversión Inicial: Menor inversión debido a su diseño simple.</p> <p>Operativos: Menores costos operativos, menor consumo de energía.</p> <p>Vida Útil: Más económico en términos de mantenimiento regular.</p>	<p>Inversión Inicial: Mayor inversión inicial por la tecnología avanzada.</p> <p>Operativos: Costos operativos más altos por consumo eléctrico.</p> <p>Vida Útil: Componentes electrónicos pueden necesitar reemplazos más frecuentes.</p>

Viabilidad	Condiciones de Operación: Ideal para altas concentraciones de agua. Flexibilidad: Menos adaptable a cambios rápidos en la composición del crudo. Rendimiento: Consistente en condiciones estándar.	Condiciones de Operación: Excelente para emulsiones complejas. Flexibilidad: Alta adaptabilidad a diferentes tipos de crudo y condiciones. Rendimiento: Superior en la separación de emulsiones difíciles.
Mantenimiento	Requerimientos: Mantenimiento básico, fácil acceso a componentes. Disponibilidad: Repuestos fácilmente disponibles. Costo de Mantenimiento: Bajo.	Requerimientos: Mayor mantenimiento de componentes electrónicos. Disponibilidad: Repuestos más caros y especializados. Costo de Mantenimiento: Alto.

Elaborado por: Autores

Nota: Esta tabla muestra el análisis comparativo del diseño, implementación, costos, viabilidad y mantenimiento del separador de producción de agua libre y el separador electrostático

A partir del previo análisis comparativo, el separador de producción libre agua es el adecuado para las necesidades de la Central de Procesos Tiputini (CPT) ya que cumple con las siguientes consideraciones:

5.1.1. Entorno de operación del bloque 43

En el Bloque 43, las características del crudo pueden favorecer la utilización de separadores por gravedad debido a la presencia de altos volúmenes de agua libre, lo cual hace que este tipo de separador sea más eficiente para el trabajo.

5.1.2. Consideraciones económicas

Presupuesto limitado: Para proyectos con restricciones presupuestarias, la opción de producción de agua libre es más económica tanto en términos de costos de capital como de operación.

Costos de energía: En un contexto de fluctuaciones de los costos de energía, un separador que minimiza el uso eléctrico puede proporcionar ventajas financieras significativas.

5.1.3. Operación y mantenimiento

Menos intervención técnica: La operación y el mantenimiento menos complejos son beneficiosos en áreas donde no siempre se dispone de un equipo técnico avanzado.

Disponibilidad de repuestos: Los componentes y repuestos de este tipo de separador son más accesibles, lo que facilita el mantenimiento continuo sin interrumpir las operaciones.

5.1.4. Integración en infraestructuras existentes

Compatibilidad: Los separadores de producción de agua libre pueden ser fácilmente integrados en infraestructuras de plantas existentes sin requerir modificaciones significativas, lo que ahorra tiempo y recursos.

5.1.5. Requisitos ambientales

Menor impacto energético: Al consumir menos energía, estos separadores también tienen un impacto ambiental reducido en comparación con los electrostáticos.

El Separador de Producción de Agua Libre es la mejor opción para la central de procesamiento de fluidos Tiputini si se busca una solución rentable, sencilla de operar y mantener, especialmente adecuada para condiciones de crudo con alta presencia de agua libre.

Ventajas financieras: Su menor costo inicial y operativo hace que esta opción sea más accesible para empresas que buscan maximizar el valor de su inversión.

Mantenimiento y operación simples: Su facilidad de mantenimiento y operación lo convierte en la opción ideal para entornos con acceso limitado a recursos técnicos avanzados.

Adaptabilidad a entornos remotos: Su robustez y simplicidad lo hacen más viable para operaciones en ubicaciones remotas donde la disponibilidad de técnicos especializados y piezas de repuesto avanzadas podría ser limitada.

5.1.6. Consideraciones finales

Al decidir implementar un Separador de Producción de Agua Libre, se debe considerar el balance entre costo, eficiencia operativa y requisitos técnicos. Esta opción puede ser más ventajosa si las características del crudo y las condiciones del entorno de operación coinciden con las capacidades de este tipo de separador. Además, realizar un análisis detallado de costos y beneficios, así como evaluar la logística y la infraestructura existentes, será crucial para asegurar que esta elección maximice la eficiencia y el rendimiento a largo plazo del proyecto en la central de procesamiento de fluidos Tiputini.

5.2. Comparación entre Separador FWKO y Separador Electrostático

5.2.1. Separador FWKO (Free Water Knockout):

Ventajas:

- Simplicidad: Diseño y operación relativamente simples.
- Costo: Generalmente más económico y requiere menos mantenimiento.
- Capacidad: Eficaz para separar grandes volúmenes de agua libre en condiciones estándar.

Desventajas:

- Limitación en Emulsiones Estables: Menos efectivo para separar emulsiones estables con alta viscosidad.
- Espacio: Puede requerir un tamaño considerable para manejar grandes volúmenes de agua.

5.3.2 Separador Electrostático:

Ventajas:

- Eficiencia: Alta eficacia en la separación de emulsiones estables y complejas mediante la aplicación de un campo eléctrico.
- Flexibilidad: Capaz de tratar mezclas con alta estabilidad y viscosidad.

Desventajas:

- Complejidad: Diseño más complejo y costoso en comparación con el FWKO.
- Mantenimiento: Requiere un mantenimiento más frecuente y ajustes precisos para el campo eléctrico.

Los separadores FWKO son ideales para aplicaciones con grandes volúmenes de agua libre y son más económicos, mientras que los separadores electrostáticos son más adecuados para emulsiones difíciles y complejas, aunque con un costo y complejidad mayores (Cruz, 2016).

CAPITULO V

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- La propuesta 1 logró un 95% de eficiencia con un 5% de BSW, mientras que la propuesta 2 alcanzó un 99% de eficiencia con un 1% de BSW. Esta mayor eficiencia del separador electrostático, que reduce el contenido de agua en un 4% adicional, puede aumentar el precio del crudo en 1.6 a 2.4 USD por barril (de 80.27 USD), generando hasta 72,000 USD adicionales diarios con una producción de 30,000 barriles.
- En el Bloque 43, el separador electrostático, con 1% de BSW, reduce mejor el contenido de agua y sedimentos. Esto resulta en menores costos de tratamiento y facilita el cumplimiento de las normativas ecuatorianas (Ley de Gestión Ambiental, Reglamento Ambiental para Actividades Petroleras, y Reglamento para el Manejo de Residuos de Actividades Petroleras), mientras que el FWKO puede incrementar los costos y el riesgo de incumplimiento debido a su mayor carga de efluentes.
- La implementación de los separadores permite una reducción significativa en la fracción de agua en el petróleo producido, lo que disminuye la necesidad de desechos líquidos y minimiza el riesgo de derrames o contaminaciones en cuerpos de agua cercanos. Esto es crucial para proteger los ecosistemas frágiles del área.
- Para cumplir con los requisitos de contratación en el Bloque 43, es esencial que el 80% del personal contratado sea de la zona de influencia directa, incluyendo tanto mano de obra calificada como no calificada, y el 20% restante pueda

provenir de áreas de influencia indirecta (Reforma Ley Amazónica). Esto asegura que se priorice el empleo local y se fomente el desarrollo económico en la comunidad cercana al proyecto.

- Pese a la reciente consulta popular donde se establece que se debe mantener el crudo del ITT, conocido como bloque 43 de manera indefinida en el subsuelo; y mediante este proyecto se ha observado que el bloque 43 es uno de los más productivos de nuestro país, además; queda claro que bajo nuestras propuestas de implementación de los equipos de separadores se puede sacar aún más provecho de la producción con el uso de nuevas tecnologías que pueden aumentar la eficiencia de la producción y reducir la fracción de agua en el crudo ya que como se conoce el crudo del ITT es un crudo pesado, lo que mejora la calidad del petróleo exportado. Esto puede fortalecer las relaciones comerciales de Ecuador y su capacidad de negociación en los mercados internacionales de petróleo.
- Por ultimo y no menos importante cabe recalcar que las propuestas de implementación de los separadores van ligadas a la importancia de la producción petrolera en áreas sensibles, como la región de Tiputini, la cual requiere un compromiso firme con el respeto a las comunidades locales, el entorno natural, y las costumbres y tradiciones de los pueblos originarios. Es fundamental que las operaciones se realicen con un enfoque de sostenibilidad, asegurando que las prácticas industriales no solo cumplan con las normativas ambientales y de seguridad, sino que también consideren el impacto cultural y social.

6.2. Recomendaciones

- Priorizar la instalación de separadores electrostáticos, dado su impacto positivo en el precio del crudo puede generar ingresos adicionales de hasta 72,000 USD

diarios con una producción de 30,000 barriles, lo que maximiza el retorno de inversión y la rentabilidad del proyecto.

- Implementar el uso del separador electrostático en lugar del FWKO en el Bloque 43 para reducir el contenido de agua y sedimentos a 1% de BSW. Esto no solo mejorará la eficiencia del proceso, sino que también asegurará el cumplimiento con las normativas ecuatorianas de calidad del crudo, reduciendo costos de tratamiento y evitando sanciones por incumplimiento.
- Se recomienda continuar y expandir la implementación de separadores avanzados en las operaciones de extracción y procesamiento de petróleo para asegurar una reducción continua en la fracción de agua del crudo. Es crucial que se realicen monitoreos periódicos para verificar la eficacia de estos equipos en la disminución de desechos líquidos y la prevención de derrames o contaminaciones. Además, se debe mantener un enfoque proactivo en la protección de los ecosistemas frágiles circundantes, asegurando que las prácticas operativas cumplan con los estándares ambientales más estrictos y se adapten a las condiciones ecológicas específicas del área.
- Implementar políticas claras para la contratación de personal que prioricen a los habitantes de la zona de influencia directa del Bloque 43. Además, se deben establecer programas de formación y desarrollo para capacitar tanto a la mano de obra calificada como no calificada, asegurando que puedan cumplir con los estándares técnicos requeridos por el proyecto, promoviendo así el desarrollo económico de las comunidades locales.
- Se recomienda desarrollar un plan detallado para implementar las tecnologías de separación propuestas. Este plan debe incluir una evaluación continua de la eficiencia de producción y la reducción de la fracción de agua en el crudo.

Además, se sugiere que se exploren estrategias para maximizar los beneficios de la mejora en la calidad del petróleo exportado, utilizando estos avances tecnológicos para fortalecer las relaciones comerciales de Ecuador y mejorar su capacidad de negociación en los mercados internacionales de petróleo.

BLIOGRAFIA

- Albert, A. &. (2014). *Evaluación de una Emulsión de Aceite en Agua (O/W) con.*
Universidad de Carabobo Facultad:
https://www.academia.edu/11341894/TESIS_DEFINITIVA
- Álvarez, J., Morejón, Y., & Del Pozo, P. (2022). Sostenibilidad energética en el manejo agroecológico de sistemas lecheros en Cuba. *Anuario Ciencia En La UNAH*, 1(2).
<https://ojs.edicionescervantes.com/index.php/ACUNAH/article/view/1529>
- Andrade, J. (2012). *Andrade Rodríguez, F. J. (2012). Desarrollo de herramienta de simulación para equipos separadores de agua libre.* Universidad Nacional de Colombia : <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/9505>
- Api Specification. (1989). *Especificación para aceite y separador de Gas* . American Petroil Institute . <https://pdfcoffee.com/api-spec-12j-oil-gas-separators-7th-ed-1989-3-pdf-free.html>
- Bautista, L. (2022). La influencia en la variación de producción de petróleo en la economía ecuatoriana: Caso EP Petroecuador Bloque 43 ITT. *Repositorio UTEG*, 1(1).
<://biblioteca.uteg.edu.ec/xmlui/handle/123456789/1981>
- Cruz, O. (2016). *Estudio de las propiedades físicas de los crudos de importación.* INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIERREZ.
<://books.google.co.ve/books?id=jLR12Zz2SfoC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>
- Dávalos, R. (12 de Octubre de 2014). *DISEÑO DE UNA PLANTA PARA EL TRATAMIENTO DE 20 000 BARRILES DIARIOS DE AGUA DE FORMACIÓN EN UN CAMPO MADURO DEL ORIENTE ECUATORIANO.* FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA:
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/8681/3/CD-5828.pdf>
- Daza, A., & Garófalo, M. (2013). *NORMATIVAS PARA EL CONTROL DE OPERACIONES DE PERFORACIÓN DE POZOS DE PETRÓLEO EN LA CUENCA ORIENTE DEL ECUADOR.*
Universidad Nacional Autónoma de México:
http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/8724/Informe_Completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Echeverri, S. (26 de 05 de 2023). *Método para el cálculo del porcentaje de agua en emulsiones agua-crudo usando aprendizaje de máquinas*. Universidad nacional de Medellín: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/84026>
- Escandón, P. (2020). Automatización de procesos de cálculos que intervienen en el sistema de Gas Lift en pozos de petróleo de la cuenca oriente del Ecuador. *Repositorio Universidad Estatal Península de Santa Elena*, 1(1).
- Espín, J., & Constante, L. (21 de Enero de 2011). “ESTUDIO DE LA EFICIENCIA DE LOS SEPARADORES DE PETRÓLEO DE LAS ESTACIONES DE PRODUCCIÓN SECOYA Y PICHINCHA DEL CAMPO LIBERTADOR”. FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y PETRÓLEOS: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2691/1/CD-3376.pdf>
- Figueroa, C. &. (23 de 01 de 2024). *Optimización de la recuperación de hidrocarburos residuales de las piscinas API en la planta de tratamiento de la refinería de La Libertad*. La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/10793>
- Fonseca, J. &. (2020). *Optimización de producción de crudo pesado en un campo de la cuenca de los Llanos Orientales*. UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA: https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/handle/001/3171/TGT_Gestion_y_control_corros?sequence=1
- González, A. (30 de Julio de 2011). *ESTUDIO Y SELECCIÓN DE UN SISTEMA DE SEPARACIÓN DE PETRÓLEO TRANSPORTABLE Y AUTÓNOMO Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA PLATAFORMA MÓVIL*. FACULTAD DE MECANICA: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/7774/1/CD-3968.pdf>
- Gutiérrez, M. (2021). Control del agua de producción utilizando geles de polímeros en campos maduros. *Repositorio Universidad Estatal Península de Santa Elena*, 1(1). <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/5864>
- Hernandez, A. (2020). *Modelo de simulación en régimen transitorio de un tanque de tratamiento de petróleo en la planta de procesamiento de crudo de la EPEP-Centro*. Repositorio Institucional de la Universidad de Matanzas: <https://rein.umcc.cu/bitstream/handle/123456789/1044/TD20%20Arletti.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Jiménez, M., Hernández, J., & Jiménez, J. P. (2022). Software académico de control de pozos petroleros MAROGA. *Acta universitaria*, 32(2).
://doi.org/10.15174/au.2022.3407
- Jung, K. &. (2020). Effect of Weir Configurations on the Performance of Oil-Water Separator. *Separator. International Journal of Fluid Machinery and Systems*, 13(4), 759-766. <https://www.dbpia.co.kr/Journal/articleDetail?nodeId=NODE10511635>
://web.instipp.edu.ec/Libreria/libro/Ingenieria_de_Control_Moderna_Ogata_5ed.pdf
- Larrea, C. (2022). El próximo agotamiento del petróleo en el Ecuador. *Revista Procesos*, 5(117), 298. //n9.cl/mqbm2
- Majeed, M. &. (2020). Analysis of Effect of Pressure on Separator Pressure Vessel Design using PV Elite Software. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 07, 481-483. 9001:2008
- Malavé, C. (2021). Aplicación del método de recuperación mejorada SAGD, para la extracción de crudos pesados con la implementación de generadores de vapor de fondo en el campo Tiputini. *Repositorio Universidad Estatal Península de Santa Elena*, 1(1). //repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/6164
- Mendoza, D. &. (20 de 03 de 2022). *COMPARACIÓN DEL DESEMPEÑO OPERACIONAL EN FUNCIÓN DEL BSW DE EQUIPO MODERNO COMPACTO DE SEPARACIÓN Y UNO CONVENCIONAL EN PRUEBAS DE POZO*. Repositorio Institucional RI-UTS:
<http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/8876>
- MINISTERIO DE HIDROCARBUROS. (2 de Febrero de 2018). *REGLAMENTO DE OPERACIONES HIDROCARBURIFERA*. Acuerdo Ministerial 1:
<https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-10/Reglamento-de-operaciones-hidrocarburiferas.pdf>
- Monteros, J. (21 de Agosto de 2012). *SELECCIÓN DE LA UNIDAD DE SEPARACIÓN MECÁNICA SÓLIDO – LÍQUIDO PARA UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LODOS PROCEDENTES DEL DESARENADO DE LOS SEPARADORES DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO*. FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA:
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4833/1/CD-4426.pdf>
- Morales, A., & Vega, A. (2020). Implementación de una matriz de selección técnica de equipos y herramientas en operaciones de subsuelo para las fases de completamiento, workover y abandono en los pozos de un campo de la cuenca del Valle Medio del Magdalena. *Repositorio institucional Universidad de América*, 1(1).

- Morales, J. (12 de Abril de 2014). *ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DE EMULSIONES DE CRUDOS*. UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR - FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA:
<https://www.dspace.uce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/b28ee15f-8da8-490f-8005-3cdacee57a2a/content>
- Niño, R., Dávila, M., & Torres, C. (2021). Modelo de resiliencia organizacional con base en los factores clave de adaptabilidad de la empresa Braserv Petróleo sucursal colombiana. *Repositorio EAN*, 1(1). [://hdl.handle.net/10882/11048](https://hdl.handle.net/10882/11048)
- Ortega, A. O. (2021). Diseño de un modelo numérico para la selección de pozos aptos a control de. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 23(1), 1-10.
<https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2022.23.1.006>
- Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE:
<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/8354/1/AC-EAC-ESPE-047860.pdf>
- Portilla, A. (2023). Evaluación de las diferentes tecnologías de perforación de pozos petroleros aplicables al campo Gustavo Galindo Velasco. *Repositorio Universidad Estatal Península de Santa Elena*, 1(1).
- Portilla, C. (2023). Análisis del comportamiento del fluido de perforación de los pozos del campo Tambococha. *Repositorio Universidad Estatal Península de Santa Elena*, 1(1). <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/9976>
- LA UNIVERSIDAD DE ALCALA:
https://ebuah.uah.es/dspace/bitstream/handle/10017/41883/TFM_Proano_Lopez_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rivas, H., Rodríguez, A., Mendoza, P., & Rendón, M. (2019). Modernas tecnologías para la exploración petrolera: estudio histórico. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, 21(1), 237-253.
[://www.proquest.com/openview/427d52827849027325701a442858a727/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1006393](https://www.proquest.com/openview/427d52827849027325701a442858a727/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1006393)
- Ruíz, E. &. (2022). Propuesta de mejora para el proceso de reinyección de cortes de perforación (CRI) en un pozo de la Cuenca Oriente Ecuatoriana Orellana-Ecuador 2021. *Repositorio Escuela de Posgrado Newman*, 1(1).
<https://hdl.handle.net/20.500.12892/375>
- Sánchez, S. (2019). Esquema de control jerárquico para fijación óptima de consignas en un separador trifásico de un tren de tratamiento de crudo. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 13(26), 59-67.

https://www.researchgate.net/publication/339699340_Esquema_de_control_jerarquico_para_fijacion_optima_de_consignas_en_un_separador_trifasico_de_un_tren_de_tratamiento_de_crudo

Schorsch, C. (2020). Análisis del cambio de uso en el Bloque Ishpingo, Tiputini (ITT) de la Amazonía Ecuatoriana. *Repositorio digital Universidad Estatal Amazónica*, 1(1).
<https://repositorio.uea.edu.ec/handle/123456789/850>

Tabarrozzi, E. (24 de Noviembre de 2016). *SISTEMA DE TRATAMIENTO FREE WATER KNOCKOUT - FWKO. INGEPET* ‘:
<http://www.biblioteca.iapg.org.ar/iapg/ArchivosAdjuntos/Ingepet/EXPL-6-ET-01.PDF>

Vargas, X. (2023). Estudio de técnica de perforación con tubería de revestimiento como una alternativa para la perforación de pozos petroleros en el bloque 54 en Ecuador. *Repositorio Universidad Estatal Península de Santa Elena* , 1(1).
<https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/9977>

Vega, E. E. (2020). *Análisis técnico y económico para la implementación del tratamiento de pozo con modificador de permeabilidad relativa para el retardo de la intrusión de agua y aumentar la producción de petróleo en el campo ESPOL. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL:*
<https://dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/54822/1/T-70659%20ERAZO%20-%20VEGA.pdf>

Velásquez, I., & Pereira, J. (3 de Diciembre de 2014). *Revista Ingeniería UC*, 45-54.
<http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/v21n3/art06.pdf>

Yagual, E. (11 de 04 de 2022). *Simulación del barrido de petróleo mediante inyección de agua en el campo Santa Elena*. La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/7077>

Zambrano, R. (9 de Julio de 2021). Separación de agua y petróleo, un proceso continuo. *Revista PQ*, 29-32.