

**INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO UNIVERSITARIO RUMIÑAHUI**

**ESCUELA DE POSGRADOS**

**MAESTRÍA TECNOLÓGICA EXTRACCION, LEVANTAMIENTO Y  
TRATAMIENTO DE CRUDOS PESADO**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del Título en Magister Tecnológico en  
EXTRACCIÓN, LEVANTAMIENTO Y TRATAMIENTO DE CRUDOS PESADO**

**Tema: Análisis de sensibilidad de solventes al contacto de elastómeros instalados en  
equipo electro sumergible en pozos de producción con crudo viscoso y bajo API.**

**Autor/s: Joffre Morillo-Stalin Fuentes.**

**Director: CHRISTOPHER JONATHAN MAYORGA  
ZAMBRANO**

**Fecha: 23 de septiembre de 2024**

*Coca - Ecuador*

**Autor:**



**Morillo Enríquez Joffre Anibal**

**Título a obtener: Maestría tecnológica en Extracción**

**Matriz:** Sangolquí -Ecuador

**Correo electrónico:** Joffre.morillo@ister.edu.ec

**Autor:**



**Stalin Rubén Fuentes Vallejo**

**Título a obtener: Maestría tecnológica en Extracción**

**Matriz:** Sangolquí -Ecuador

**Correo electrónico:** stalin.fuentes@ister.edu.ec

**Dirigido por:**



**Christopher Jonathan Mayorga zambrano**

**Título: Magíster en petróleos con mención en recobro en  
inyección de agua y gas.**

**Matriz:** Sangolquí -Ecuador

**Correo electrónico:** Christopher.mayorga@ister.edu.ec

## **Todos los derechos reservados**

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

@2024 Tecnológico Universitario Rumiñahui

Sangolquí – Ecuador

MSc.Elizabeth Aldas Moreno



---

## **APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO TITULACIÓN**

Coca, 16 de septiembre del 2024

**MSc. Elizabeth Aldás**  
**Directora de Posgrados**  
**Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui Presente**

De mi consideración:

Me permito comunicar que, en calidad de director del presente Trabajo de Titulación denominado: Análisis de sensibilidad de solventes al contacto de elastómeros instalados en equipo electro sumergible en pozos de producción con crudo viscoso y bajo API, realizado por Joffre Anibal Morillo Enriquez-Stalin Rubén fuentes Vallejo sido orientado y revisado durante su ejecución, así mismo ha sido verificado a través de la herramienta de similitud académica institucional, y cuenta con un porcentaje de coincidencia aceptable. En virtud de ello, y por considerar que el mismo cumple con todos los parámetros establecidos por la institución, doy mi aprobación a fin de continuar con el proceso académico correspondiente.

Particular que comunico para los fines pertinentes.

Atentamente,

**CHRISTOPHER JONATHAN MAYORGA ZAMBRANO.**

Director del Trabajo de Titulación

C.I.: 1311871717

Correo electrónico: [chistopher.mayorga@ister.edu.ec](mailto:chistopher.mayorga@ister.edu.ec)



---

## **FORMULARIO PARA ENTREGA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN EN BIBLIOTECA DEL INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO UNIVERSITARIO RUMIÑAHUI**

**MAESTRÍA TECNOLÓGICA:** Extracción, Levantamiento y Tratamiento de crudos pesados.

**AUTOR /ES:**

Joffre Anibal Morillo Enriquez- Stalin  
Rubén fuentes Vallejo

**TUTOR:**

CHRISTOPHER JONATHAN MAYORGA ZAMBRANO

**CONTACTO ESTUDIANTE:**

0991011282 0  
98 926 7157

**CORREO ELECTRÓNICO:** joffre.morillo@ister.edu.ec  
stalin.fuentes@ister.edu.ec

**TEMA:**

Análisis de sensibilidad de solventes al contacto de elastómeros instalados en equipo electro sumergible en pozos de producción con crudo viscoso y bajo API.

**RESUMEN EN ESPAÑOL:**

La producción de crudo pesado, y el tratamiento que se realiza sobre la viscosidad del fluido en fondo y cuando este ya está en superficie es uno de los principales problemas que se tiene, en vista que para reducir la viscosidad de este crudo viscoso y de bajo API es necesario inyectar solventes lo que afecta a todos los componentes del equipo electro sumergible. Las fallas eléctricas están presentes cuando el elastómero del pot head del motor se ve invadido por este tipo de solvente que de igual manera ocasiona un gran impacto negativo a los accesorios como el motor, protectores bolsas internas y elastómeros internos entre otros, lo

que con lleva a fallas prematuras en las partes internas y eléctricos incrementando en si las estadísticas por fallas prematuras en los equipos BES, lo que eleva el gasto e inversión. Los elastómeros están presentes en secciones del equipo y cumpliendo un rol importante sin embargo estos al no estar totalmente protegidos y estas expuestos a estos factores adversos del pozo suelen deteriorarse al tener contacto con un fluido mezclado los cuales pueden ser dos o más sustancia que no forma una fase homogénea si no que son inmiscibles, lo que deteriora los elastómeros aumentando la fragilidad, la perdida dieléctrica, alteración en su estructura del material original, cambiando su composición química y mecánica. Como los elastómeros su función es sellar las juntas de los equipos y los podemos encontrar en las descargas cabeza del motor, protectores y bombas o llamadas zonas frágiles, en ciertas ocasiones estas no se encuentran en óptimas condiciones para el sellado por su mala manipulación o contacto con el medio ambiente, humedad y solventes, poniendo en riesgo al equipo por algunos fluidos corrosivos que pueden producir el colapso. Los elastómeros están presentes en algunas partes del equipo BES lo cual es importante comprender sus características y cualidades para predecir posibles fallas, la falla tempranera acorta la vida útil del equipo. Los componentes químicos usados en los solventes en ocasiones son incompatibles con las propiedades químicas y mecánicas de los elastómeros reduciendo en si al 90% su capacidad de adherencia y sellado he ahí el propósito de este análisis de conocer y describir las cualidades y capacidades de distintos tipos de elastómeros a distintos tipos de solventes utilizados en la producción de crudo viscoso y de bajo API

**PALABRAS CLAVE:**

1. Corrosivos
2. Zonas Frágiles
3. Colapso
4. Elastómero
5. Prematuras

**ABSTRACT:**

Los hallazgos encontrados en los diferentes tear down y las estadísticas que presentas los equipos antes de colapsar nos ayudar hacer más fácil esta labor debido a que se pudo constatar lo invasivos que son estos tratamientos que se da al crudo para su movilidad y al equipo como tal cuando este a causa de apagados no planificados se atasca, haciendo que en el interior los sólidos se asienten el crudo se enfrié ocasionando la pega de las etapas.

Cuando esto sucede el equipo entra a un sin número de tratamientos y operaciones con tal de poder arrancar de nuevo al equipo y es aquí donde se somete al equipo a horas de exposición

o remojo con químico para poder liberar y poner en marcha al motor, en ocasiones los esfuerzos dan resultado pero a corto plazo el tratamiento pasa factura a las partes más vulnerables del equipo (elastómeros) debilitándolos lo que ocasiona el ingreso de fluidos y sólidos al interior del motor y protectores que las partes más afectadas por esta invasión. La planificación con antelación a la operación al equipo afectado por estos factores fue de gran alcance para evitar que suceda repetidamente este tipo de incidentes, se evaluaron mejor las características físicas químicas y la capacidad de resistencia a exposición prolongada de este tipo de solvente.

Se define a elastómeros Aflas compuesto de materiales resistentes derivados del nitrilo convencional por hidrogenación de los enlaces insaturados en la unidad de butadieno del polímero, por lo que presenta buena resistencia al aceite, combustible, productos químicos y Buena Resistencia a la interperie con esto nos garantiza poder tener un mayor control de la operación cuidando en sí la vida útil del equipo.

**PALABRAS CLAVE:**

1. Polímero
2. Plazo
3. Planificación
4. Antelación
5. insaturados

## **CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Coca 16 de septiembre del 2024

**MSc. Elizabeth Aldás**  
**Directora de Posgrados**  
**Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui**  
**Presente**

Por medio de la presente, yo, Joffre Aníbal Morillo Enríquez declaro y acepto en forma expresa lo siguiente: ser autor del trabajo de titulación denominado " Análisis de sensibilidad de solventes al contacto de elastómeros instalados en equipo electro sumergible en pozos de producción con crudo viscoso y bajo API ", de la Maestría Tecnológica; Extracción, Levantamiento y Tratamiento de crudos pesados, manifiesto mi voluntad de ceder al Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui 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,

**JOFFRE ANIBAL  
MORILLO  
ENRIQUEZ** Digitally signed by  
JOFFRE ANIBAL  
MORILLO ENRIQUEZ  
Date: 2024.09.16  
22:45:13 -05'00'

Joffre Aníbal Morillo Enríquez  
CI: 0401060637-0401672993

## **SOLICITUD DE PUBLICACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

COCA, 16 de septiembre del 2024

**MSc. Elizabeth Aldás**  
**Directora de Posgrados**  
**Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui**  
**Presente**

A través del presente me permito aceptar la publicación del trabajo de titulación denominado: de la Unidad de Integración Curricular en el repositorio digital “DsPace” del estudiante: Joffre Aníbal Morillo Enríquez, con documento de identificación No 0401060637-0401672993 estudiante de la Maestría Tecnológica en Extracción, Levantamiento y Tratamiento de crudos pesados.

El trabajo ha sido revisado las similitudes en el software “TURNITING” y cuenta con un porcentaje máximo de 15%; motivo por el cual, el Trabajo de titulación es publicable.

Atentamente,

**JOFFRE ANIBAL**  
**MORILLO**  
**ENRIQUEZ**

Digitally signed by  
JOFFRE ANIBAL  
MORILLO ENRIQUEZ  
Date: 2024.09.16  
22:45:13 -05'00'

Joffre Aníbal Morillo Enríquez  
CI: 0401060637

## CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Coca 16 de septiembre del 2024

**MSc. Elizabeth Aldás**  
**Directora de Posgrados**  
**Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui**  
**Presente**

Por medio de la presente, yo, Stalin Rubén fuentes Vallejo declaro y acepto en forma expresa lo siguiente: ser autor del trabajo de titulación denominado " Análisis de sensibilidad de solventes al contacto de elastómeros instalados en equipo electro sumergible en pozos de producción con crudo viscoso y bajo API ", de la Maestría Tecnológica; Extracción, Levantamiento y Tratamiento de crudos pesados, manifiesto mi voluntad de ceder al Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui 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,

STALIN RUBEN  
FUENTES VALLEJO



Firmado digitalmente por STALIN  
RUBEN FUENTES VALLEJO  
Fecha: 2024.09.16 23:05:40 -05'00'

Stalin Rubén fuentes Vallejo  
CI: 0401672993

## **SOLICITUD DE PUBLICACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

COCA, 16 de septiembre del 2024

**MSc. Elizabeth Aldás**  
**Directora de Posgrados**  
**Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui**  
**Presente**

A través del presente me permito aceptar la publicación del trabajo de titulación denominado: de la Unidad de Integración Curricular en el repositorio digital “DsPace” del estudiante: Stalin Rubén fuentes Vallejo, con documento de identificación No 0401060637-0401672993 estudiante de la Maestría Tecnológica en Extracción, Levantamiento y Tratamiento de crudos pesados.

El trabajo ha sido revisado las similitudes en el software “TURNITING” y cuenta con un porcentaje máximo de 15%; motivo por el cual, el Trabajo de titulación es publicable.

Atentamente,

**STALIN RUBEN  
FUENTES VALLEJO**

Firmado digitalmente por STALIN  
RUBEN FUENTES VALLEJO  
Fecha: 2024.09.16 23:05:40 -05'00'

Stalin Rubén fuentes Vallejo CI:  
CI: 0401672993

**Dedicatoria:**

*Con un profundo sentimiento de gratitud y felicidad agradecemos A DIOS por iluminar nuestro camino y a quienes nos han acompañado en este caminar por su apoyo incondicional pese a los inconvenientes que se presentaron durante esta etapa educativa, y que todo ese tiempo estuvieron guiándonos y fortaleciéndonos día tras día con cada gesto de cariño para poder alcanzar nuestra meta.*

**Agradecimiento:**

Agradecemos a Dios y Jesucristo por poder terminar esta etapa de nuestra vida. Dando mil gracias los favores concedidos

En segunda instancia a nuestras familias, padres, esposas e hijos por comprender y acompañarnos en esta etapa muy importante para nosotros.

También agradecemos al INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO UNIVERSITARIO RUMIÑAHUI, en especial a todos los docentes, ingenieros que impartieron sus conocimientos de forma acertada y a sus autoridades.

Agradecemos a los Laboratorios Cia @slb por abrirnos la puerta, su cooperación brindada de forma desinteresada por los conocimientos que fueron compartidos los cuales fueron importantes en la elaboración del presente trabajo.

**Resumen:**

Los hallazgos encontrados en los diferentes tear down y las estadísticas que presentas los equipos antes de colapsar nos ayudan hacer más fácil esta labor debido a que se pudo constatar lo invasivos que son estos tratamientos que se da al crudo para su movilidad y al equipo como tal cuando este a causa de apagados no planificados se atasca, haciendo que en el interior los sólidos se asienten el crudo se enfríe ocasionando la pega de las etapas. Cuando esto sucede el equipo entra a un sin número de tratamientos y operaciones con tal de poder arrancar de nuevo al equipo y es aquí donde se somete al equipo a horas de exposición o remojo con químico para poder liberar y poner en marcha al motor, en ocasiones los esfuerzos dan resultado pero a corto plazo el tratamiento pasa factura a las partes más vulnerables del equipo (elastómeros ) debilitándolos lo que ocasiona el ingreso de fluidos y solidos al interior del motor y protectores que las partes más afectadas por esta invasión. La planificación con antelación a la operación al equipo afectado por estos factores fue de gran alcance para evitar que suceda repetidamente este tipo de incidentes, se evaluaron mejor las características físicas químicas y la capacidad de resistencia a exposición prolongada de este tipo de solvente. Se define a elastómeros Aflas compuesto de materiales resistentes derivados del nitrilo convencional por hidrogenación de los enlaces insaturados en la unidad de butadieno del polímero, por lo que presenta buena resistencia al aceite, combustible, productos químicos y Buena Resistencia a la intemperie con esto nos garantiza poder tener un mayor control de la operación cuidando en si la vida útil del equipo.

**Abstract:**

The findings found in the different tear down and the statistics that the equipment presents before collapsing help us to make this work easier because it was possible to see how

invasive these treatments are that are given to the crude oil for its mobility and to the equipment as such when it gets stuck due to unplanned shutdowns, causing the solids to settle inside, the crude oil cools down, causing the stages to stick. When this happens, the equipment enters a number of treatments and operations in order to be able to start the equipment again and it is here where the equipment is subjected to hours of exposure or soaking with chemical to be able to release and start the engine, sometimes the efforts pay off but in the short term the treatment takes its toll on the most vulnerable parts of the equipment (elastomers) weakening them which causes the Ingress of fluids and solids into the engine and protectors and protectors than the parts most affected by this invasion. The planning in advance of the operation to the equipment affected by these factors was far-reaching to prevent this type of incident from happening repeatedly, the physical-chemical characteristics and the capacity of resistance to prolonged exposure of this type of solvent were better evaluated. Aflas elastomers are defined as composed of resistant materials derived from conventional nitrile by hydrogenation of the unsaturated bonds in the butadiene unit of the polymer, so it has good resistance to oil, fuel, chemicals and good resistance to weathering, with this guarantees us to be able to have greater control of the operation taking care of the useful life of the equipment.

**Palabras Clave:**

Polímero, planificación, BES, insaturado, corrosivos, zonas frágiles, colapso, elastómero, prematuras, decline, interrogantes, limitaciones, API, sensor, inyección, motor, protector, viscosidad, dinámica, NBR, HNBR, viscometría, hinchamiento.

**Keywords:**

Polymer, planning, BES, unsaturated, corrosive, fragile zones, collapse, elastomer, premature, decline, questions, limitations, API, sensor, injection, motor, protector, viscosity, dynamics, NBR, HNBR, viscometry, swelling.

# ÍNDICE

Índice de Figuras .....	XVIII
Índice de tablas .....	XIX
INTRODUCCIÓN .....	1
Tema: .....	1
Planteamiento del Problema.....	1
Problema científico .....	2
Preguntas científicas o directrices.....	2
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos.....	3
Justificación.....	3
Variables.....	4
Idea a defender y/o Hipótesis.....	4
CAPÍTULO I .....	5
MARCO TEÓRICO.....	5
1. Sistema de levantamiento artificial y Elastómeros (BES+AFLAS). .....	5
1.1. Sensor .....	8
1.2. Cabeza de Inyección Multipunto.....	9
1.3. Motor de Fondo LT-UT.....	10
1.4. Protector .....	11

<b>2. Elastómeros más Importantes en el equipo de Levantamiento Electro sumergible.....</b>	<b>13</b>
2.1. Sei size 024 E. ....	13
2.2. Sei Size 233 G. ....	14
2.3. Sei Size 035F. ....	15
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>17</b>
<b>MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>17</b>
<b>1. Solventes utilizados en el tratamiento de crudo pesado de bajo API. ....</b>	<b>17</b>
1.1. Xileno .....	18
1.2. Tolueno.....	21
1.3. Gasolina.....	23
1.4. Diesel.....	25
1.5. Keroseno.....	26
<b>2. PRUEBAS EN ELASTOMEROS.....</b>	<b>27</b>
2.1. Teoría de la solubilidad .....	27
2.2. Métodos de evaluación. ....	27
2.3. Pruebas de Hinchamiento y composición del material por TGA. (Análisis- termo gravimétricos).....	29
2.4. Mediante el modo de fractura para investigar la durabilidad mecánica. ...	31
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>32</b>

<b>PROPUESTA DEL DESARROLLO DEL PROYECTO TÉCNICO .....</b>	<b>32</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>36</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>37</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>38</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>41</b>

## Índice de Figuras

Figura 1: Equipo BES .....	6
Figura 2: Sensor (Manual alform operacional).....	9
Figura 3: Cabeza de inyección Multipunto.....	10
Figura 4: Motor .....	11
Figura 5: Configuración protectores UT LT.....	12
Figura 6: Bolsa de compensación. ....	12
Figura 7: Protector LT (LOWER TANDEM) .....	13
Figura 8: Elastómero Pod Head cabeza del motor-slb.....	14
Figura 9: Elastómero sellos protectores.....	15
Figura 10: Elastómero –bomba--slb.....	16
Figura 11: Elastómero AGH INTAKE slb.@.....	16
Figura 12: Ensayo a Elastómero .....	27
Figura 13: Recipiente de prueba aflas.....	28
Figura 14: Elastómero conservado.....	28
Figura 15: Descarga EUE 3.5-Prueba.....	29
Figura 16: Elastómeros Sometidos a pruebas .....	30
Figura 17: Características de las juntas de aflas .....	34
Figura 18: Tabla de propiedades de elastómeros.....	41
Figura 19: Elastómero.....	42
Figura 20: Pozo Petrolero .....	42
Figura 21: Matraces de Erlenmeyer.....	42
Figura 22: Cuarto de operaciones. ....	43

Figura 23: Torre petrolera .....	43
Figura 24: Reda protector .....	44
Figura 25: Reda protector .....	44
Figura 26: Sensor de Fondo .....	44

### **Índice de tablas**

Tabla 1: Propiedades Termodinámicas .....	22
Tabla 2: Propiedades de la Gasolina .....	24

## **INTRODUCCIÓN**

### **Tema:**

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE SOLVENTES AL CONTACTO DE ELASTÓMEROS INSTALADOS EN EQUIPO ELECTRO SUMERGIBLE EN POZOS DE PRODUCCIÓN CON CRUDO VISCOSO Y BAJO API

### **Planteamiento del Problema.**

La producción de crudo pesado, y el tratamiento que se realiza sobre la viscosidad del fluido en fondo y cuando este ya está en superficie es uno de los principales problemas que se tiene, en vista que para reducir la viscosidad de este crudo viscoso y de bajo API es necesario inyectar solventes lo que afecta a todos los componentes del equipo electro sumergible. Las fallas eléctricas están presentes cuando el elastómero del pot head del motor se ve invadido por este tipo de solvente que de igual manera ocasiona un gran impacto negativo a los accesorios como el motor, protectores bolsas y elastómeros internos entre otros, lo que con lleva a fallas prematuras en las partes internas y eléctricos incrementando en si las estadísticas por fallas prematuras en los equipos BES, lo que eleva el gasto e inversión. Los elastómeros están presentes en secciones del equipo y cumpliendo un rol importante sin embargo estos al no estar totalmente protegidos y estas expuestos a estos factores adversos del pozo suelen deteriorarse al tener contacto con un fluido mezclado los cuales pueden ser dos o más sustancia que no forma una fase homogénea si no que son inmiscibles, lo que deteriora los elastómeros aumentando la fragilidad, la perdida dieléctrica, alteración en su estructura del material original, cambiando su composición química y mecánica. Como los elastómeros su función es sellar las juntas de los equipos y los podemos encontrar en las descargas cabeza del motor, protectores y bombas o llamadas zonas frágiles, en ciertas ocasiones estas no se encuentran en óptimas condiciones para el sellado por su mala manipulación o contacto

con el medio ambiente, humedad y solventes, poniendo en riesgo al equipo por algunos fluidos corrosivos que pueden producir el colapso. Los elastómeros están presentes en algunas partes del equipo BES lo cual es importante comprender sus características y cualidades para predecir posibles fallas, la falla temprana acorta la vida útil del equipo. Los componentes químicos usados en los solventes en ocasiones son incompatibles con las propiedades químicas y mecánicas de los elastómeros reduciendo en si al 90% su capacidad de adherencia y sellado he ahí el propósito de este análisis de conocer y describir las cualidades y capacidades de distintos tipos de elastómeros a distintos tipos de solventes utilizados en la producción de crudo viscoso y de bajo API.

### **Problema científico**

Las Juntas en el sistema de Bombeo Electrosumergible (BES) son de vital importancia para que no ingrese fluidos que afecten a los componentes y al utilizar elastómeros en dichas uniones, es de vital importancia incrementar su vida útil y seleccionar de manera adecuada.

### **Preguntas científicas o directrices**

¿Los Elastómeros cumplen una función importante en el sistema de bombeo electrosumergible?

¿Existe una relación directa entre el elastómero y el solvente?

¿Como se realizará la investigación y se determinará la composición de los elastómeros y solventes?

¿Cuáles son los elastómeros más apropiados para un buen trabajo en el sistema de bombeo electrosumergible?

¿Qué efecto tendrá en la industria petrolera en la selección de un elastómero determinado que cumpla con las condiciones necesarias?

### **Objetivo general**

Analizar la de sensibilidad de solventes al contacto de elastómeros instalados en equipo electro sumergible en pozos de producción con crudo viscoso y bajo API.

### **Objetivos específicos**

- Determinar las propiedades que presentan los elastómeros.
- Analizar el comportamiento de los elastómeros, sus variaciones, propiedades físicas, mecánicas, cuando se es utilizado en pozos de crudo viscoso y con distintos tratamientos de solventes.
- Determinar la degradación de los elastómeros al contacto con solventes incompatibles, fluidos no homogéneos y en periodos de inactividad.
- Seleccionar el elastómero con mejores capacidades mecánicas, químicas y estructurales.

### **Justificación**

El siguiente estudio analizara los daños más invasivos en la inyección de solvente (XILENO) y que provocaron fallos en los elastómeros en la etapa de producción, tomando en cuenta las características, su composición química, densidades, agentes químicos agresivos, como actúa la abrasión, el agua, el gas libre, la temperatura y las interfaces, que a simple vista no se pueden detectar, ya que son imperceptibles sin embargo que son de vital importancia ya que puede disminuir el tiempo de extracción del hidrocarburo aumentando costos, mano de obra y retraso en el cronograma establecido por la empresa o compañía que esta cargo del yacimiento petrolero. La mala dosificación del solvente o la mala elección del mismo puede provocar daño total en el equipo las partes más frágiles del equipo BES(elastomeros) ya que una de sus principales funciones es el aislar como sellos del paso de los fluidos a los componentes internos. Los elastómeros se encuentran en la base de cada parte del equipo BES y en los protectores que es aquí donde se

produce el mayor impacto permitiendo la invasión de agua y sólidos al aceite del motor. El estudio tiene una valoración teórica práctica ya que está enfocada en estadísticas realizadas mediante Tear Down a cada parte del equipo encontrando diferentes fallas mecánicas (dureza tracción, alargamiento hinchazón) de los elastómeros en las diferentes secciones donde se encuentran estos componentes. Los recursos bibliográficos son amplios juntos con los manuales de los fabricantes de los solventes y elastómeros por lo cual la información es de fácil acceso dependiendo de la compañía encargada de la inyección y dosificación, estos dos deben trabajar de la mano para lograr en sí una larga vida útil del equipo y extender su RUN LIFE, con los conocimientos adquiridos en el análisis se puede realizar un gran discernimiento de la información teniendo criterio propio para resolver los inconvenientes que los solventes y fluidos deterioran al material que funciona como sello en las partes de conexión del equipo BES.

### **Variables**

Al existir una gran cantidad de limitantes en el entorno operativo los resultados obtenidos mediante las interrogantes planteadas han servido de aporte para poder definir en sí la problemática que en algún momento se convirtió en un dilema para las contratistas, y en sí para la operación, se puede definir a este estudio como el inicio de una mejora continua basado en experiencias operativas y hallazgos encontrados en el campo operativo, en sí tenemos la facultad de decir que los resultados obtenidos van en favor del proceso de producción de crudo viscoso de bajo API que a futuro mejoraran la producción del mismo logrando en sí aumentar las estadísticas de producción de crudo viscoso que se reflejaran en las listas de aportes económicos para nuestro país.

### **Idea a defender y/o Hipótesis**

El solvente es un enemigo silencioso que a mayor exposición mayor es el daño en el equipo, lo que lo hace vulnerable si no se toman las medidas preventivas antes de iniciar un tratamiento

con este tipo de productos, la evaluación antes y después de cada operación nos llevaran a la excelencia, pero este necesita de un plan de acción el cual con lleva comprometimiento de las partes para poder en si evitar incidentes y danos prematuros que harán que decline la producción,

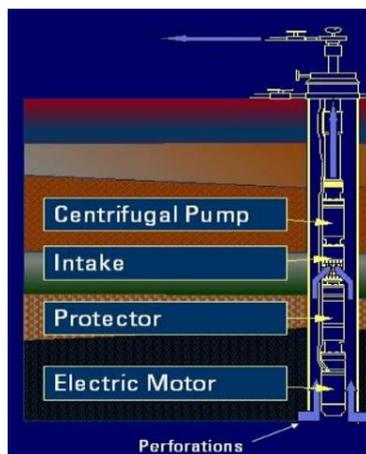
## **CAPÍTULO I**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **1. Sistema de levantamiento artificial y Elastómeros (BES+AFLAS).**

Se llama a un sistema de equipo BES a un sistema bombea compuestas o formadas por partes y secciones de bombas centrifugas de etapas diferentes en las que se consideran como configuradas especialmente para adaptarse a la etapa de producción de crudo viscoso y crudo de bajo API. El sistema BES (Sistemas de bombeo elcotrosumergible) forman parte de un método simple como es el levantamiento artificial el cual da mucha flexibilidad a diferente crudo y tamaño de salinidad,, lo que los hace más elegibles al momento de tratar con crudos viscosos o de distinta naturaleza. La bomba seleccionada para levantar al crudo viscoso está compuesta por difusores e impulsores y eje interno de material de última generación que gracias a los continuos análisis y eventos presentados en equipos anteriores se ha podido modificar las características de cada una de ellas su eje se ha modificado su capacidad de resistencia operativa para que soporte toda la carga axial que se da cuando el equipo empieza a trabajar, este tipo de bomba puede levantar 8000 bpd al ser un crudo viscoso y de baja movilidad. Sus componentes internos como los orings (elastómeros) cupling ,shim también conforman este equipo y son de gran importancia ya que desarrollan un gran trabajo en la operación tanto sellando la junta entre equipos y uniendo entre ejes para pasar la potencia del motor, su cuidado al momento de instalar es fundamental como al momento de realizar alguna operación de bombeo ya que se deberá analizar bien las características de cada elemento para evitar que puedan colapsar.

Figura 1: Equipo BES



Nota: Tomado de (Guevara, 2017)

La actividad del BCP depende del estándar ideado por René Moineau (en nada relacionado con el sifón de Arquímedes ya que son estándares muy sorprendentes), el BCP utiliza un rotor moldeado en forma helicoidal con  $n$  curvas dentro de un estator en forma helicoidal. de  $n+1$  curvas. Los componentes del rotor y del estator están diseñados de manera que entreguen una impedancia, lo que genera líneas de señal que caracterizan los orificios. Cuando el rotor gira, estas depresiones se mueven (o progresan) en un proceso consolidado de interpretación y revolución, que se manifiesta en un desarraigo helicoidal de los hoyos desde el tirón del sifón hasta su liberación. Hay diferentes esquemas de materiales y matemáticas, pero el que se utiliza en la Industria Pública Petrolera es el de un Rotor metálico de una curva en un Estator con un material versátil (Elastómero) de dos curvas.

### **Los Elastómeros y gasolinas**

Las piezas elastoméricas de las estructuras tienen la capacidad de resistir los impactos físicos y sintéticos de los combustibles y gases (gasolina juntamente con alcohol) en el rango de temperatura ambiente.

Los elastómeros que satisfacen una amplia variedad de necesidades de combustible incorporan mezclas sensatamente determinadas a la vista de los cauchos NBR, CO/ECO, FKM y FMQ.

La utilización de cauchos HNBR está restringida debido al hecho de que aumentan especialmente más que las mezclas de NBR con un contenido similar de ACN.

Los diferentes tipos de elastómeros, como CR y EPDM, se expanden extraordinariamente con potencias y pozos de gas y, por lo tanto, no se pueden utilizar en estructuras de combustible.

Los rellenos más fundamentales son tipos sin plomo que obtienen sumas sobrealimentadas de compuestos oxigenados y de olor dulce. Ambas son la razón del desarrollo tan escalonado de los elastómeros.

Como regla general, las mezclas de metanol causan un desarrollo más prominente en los elastómeros que las mezclas de etanol con ligaduras rugosas comparables.

La resistencia de los cauchos NBR a la expansión por gases y orificios de gas depende principalmente del contenido de acrilonitrilo (ACN) en el caucho base.

Los compuestos de nitrilo excepcionalmente bien pensados y de gran calidad (cuyo balance de expansión de volumen es inferior al 30%) parecen ser en su mayoría apropiados para aplicaciones de fijación estática.

La resistencia al CO/ECO aumenta en combustible sin alcohol y es básicamente indistinguible de la del NBR excepcionalmente completo. Con mezclas de gas y alcohol, tanto los cauchos NBR como los CO/ECO muestran un aumento amplio y más notable que con el gas sin combustible.

La resistencia de las combinaciones versátiles de FKM fluorado en rellenos y orificios de gas depende básicamente de su nivel de flúor ligado, que fluctúa entre aproximadamente el 65 y el 70%

Los tipos sorprendentemente fluorados (alrededor del 70% de flúor) ofrecen la mejor protección contra el aumento de tamaño provocado por rellenos y orificios de gas. Además, tienen la vulnerabilidad más reducida a las energías automotrices.

Por lo tanto, son una excelente opción para piezas flexibles en las estructuras de combustible actuales.

En cualquier caso, la decisión del material resulta más arriesgada si se requiere un bajo desarrollo y una alta versatilidad a bajas temperaturas. Hay algunos tipos de elastómeros disponibles que abordan estos problemas, pero son muy costosos. Estos incluyen los grados de baja temperatura de FKM-LT (con perfluorometilvinil éter en lugar de hexafluoropropileno) y cauchos de silicona fluorada FMQ con alta solidez.

Los cauchos de poliuretano AU/EU no se recomiendan para su uso en contacto con gasoductos debido a su falta de protección contra la hidrólisis y la alcoholisis (reacción artificial como la hidrólisis).

### **1.1.Sensor**

Este equipo que va en la parte de abajo del motor y tiene como objetivo transmitir los parámetros del fondo del pozo ya sea relacionado con el pozo o con los equipos que son críticos para la operación. Mide los parámetros como la presión de intake, la temperatura de intake, la presión de descarga, temperatura del motor y la vibración. Últimamente se utiliza como punto de anclaje para junto a este colocar una cola de inyección que conjuntamente con una cabeza de inyección mediante vía capilar llevan el químico o solvente al fondo del pozo para en ayudar a su

movilidad y ayudar en algo el trabajo que realiza el equipo de fondo. En este equipo lleva un sello o oring (elastómero) que sirve como aislante desde el interior hacia el exterior que evitara la fuga del aceite del motor y el ingreso del agua o solidos al interior del sensor y motor,

- **Sensor XT150 TIPO 0:** Este sensor se caracteriza por que toma la presión y la temperatura del anular junto con la temperatura del motor, la vibración, y la pérdida de corriente
- **Sensor XT150 TIPO 1:** Este sensor se diferencia del sensor tipo 0 por que esta toma la presión de descarga a acepción de los anteriores parámetros antes mencionados.

Figura 2: Sensor (Manual alform operacional).



Nota: Sensor del laboratorio

## 1.2. Cabeza de Inyección Multipunto

Este elemento clave en un diseño de Equipo de fondo es importante de realzar, debido al gran trabajo que este ejerce al momento de realizar la inyección del solvente, químico en el fondo de pozo, es vital el buen funcionamiento de este para que llegue la dosificación correcta al fluido viscoso y de bajo API.

Figura 3: Cabeza de inyección Multipunto.



Nota: Cabeza de inyección multipunto del laboratorio.

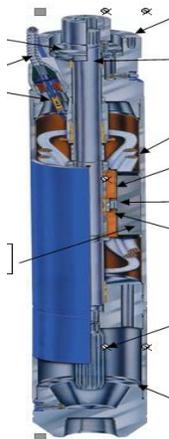
### 1.3. Motor de Fondo LT-UT

Es la fuente de la operación ya que gracias a la capacidad de este y sus configuraciones podemos decir hoy en día se puede levantar un fluido viscosos con API bajo, el tratamiento en fondo es vital para que el fluido suba hacia la bomba centrífuga, básicamente es un motor de inducción de jaula de ardilla de corriente alterna trifásico modelo RA-LT-RLOY-AS-AFL-HL-GRB-MAX- RA-UT-RLOY-AS-AFL-HL-MAX, este está compuesto de rotores individuales que se agrupan uno sobre otro hasta obtener la potencia deseada, en su interior contiene aceite mineral altamente refinado es aquí donde viene la importancia del cuidado del elastómero de la cabeza del motor en conjunto con la cabeza del MLE (Motor Lead Extensión) y los protectores LSBPB-LT-RLOY-AFL-MAX- BPBSL-UT-RLOY-AFL-MAX, lo cual cada uno cumple un papel distinto lo que sería el MLE la conexión de energía hacia el motor y los protectores el cuidado y abastecimiento de líquido refrigerante (aceite) evitando que el motor se caliente y los sólidos ingresen al interior del motor la vida de los elastómeros es importante aquí para que el equipo de fondo no colapse en vista que cumple la función de lubricar los cojinetes y transmitir el calor generado desde adentro hacia la parte externa del housing(Carcasa). Existen dos clases de motores:

**Motor de Inducción:** En este tipo de motores la corriente es inducida en el rotor por el movimiento del campo magnético del estator, se debe tomar en cuenta que mientras mayor diámetro, el motor es mejor y menos costoso.

**Motor PMM:** Este se basa en cohesión de flujos magnéticos es decir flujos de imanes que permanecen en el rotor y flujo de rotación en el estator. Según su configuración se puede llegar a configurar una velocidad de entre 500-6000 rpm

Figura 4: Motor



Nota: Tomado del manual de slb

#### 1.4. Protector

Este sirve como eslabón más importante del equipo de levantamiento artificial BES, ya que este cumple importantes funciones en la operación, como evitar que ingresen sólidos y fluidos al motor está compuesto por bolsas de compensación y cámaras que se conectan entre sí para luego conectarse al motor, se constituye por dos protectores un primario o LT el cual puede ser configurado según el diseño del equipo (LSBPB-LT-) y el secundario o (BPBSL-UT-) el buen estado de estos es vital ya que si uno de estos llega a fallar la vida útil del motor se disminuye ya que si uno deja de cumplir su función al 100% estos comienzan a dejar de hacer su trabajo proteger al motor. Un enemigo silencioso podemos definir al solvente inyectado para el tratamiento del crudo en fondo en vista que se ha tenido un gran sin número de desgaste generados por este tipo tratamiento que altera las composiciones físicas de los elastómeros reduciendo su capacidad de funcionabilidad a un 75 %.

Figura 5: Configuración protectores UT LT.

Tipo	Serial No	No. Parte	Cojinetes	Metalurgia	Estabilización	Eje	Elastómeros
BPBSL-UT-MAX			KTB/HL-GLACIER	RLOY	ARZ-TT-HD	INC-718	AFLAS
LSBSB-LT-MAX			KTB/HL-GLACIER	RLOY	ARZ-TT-HD	INC-718	AFLAS

Nota: Protectores tomados de (Guevara, 2017).

Figura 6: Bolsa de compensación.

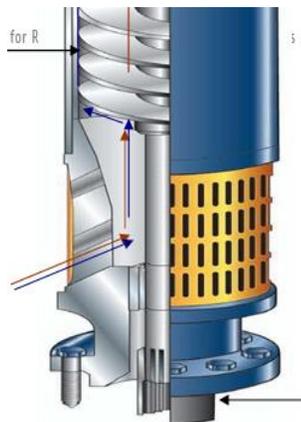


Fig. 5.14 – Positive Seal Chamber Components

Nota. Partes de la Bolsa de compensación tomado de (Naranjo, 2018).

- 1.4.1. Bolsa de Compensación:** Su funcionalidad es de abastecer y proteger al protector y motor de altas temperaturas, adicional a esto abastece de aceite al motor para mantener su nivel y evitar que los sólidos ingresen, sus materiales están compuestos por más de 10 o más ingredientes (carbono ,hidrogeno, oxigeno, silicio) sin embargo durante los últimos años se ha podido observar fallas tempranas y deterioro en las mismas presentando daños como hinchamiento ablandamiento perdida de sus propiedades físicas, perdida de sellado, se vuelve duros y quebradizos.
- 1.4.2. Protector LT:** Su trabajo es de mantener el fluido del pozo fuera del motor, transportar cargas de empuje axial a la bomba (empuje) hacia arriba o hacia abajo.

Figura 7: Protector LT (LOWER TANDEM)



Nota: Tomado de manual de operaciones SLB.@

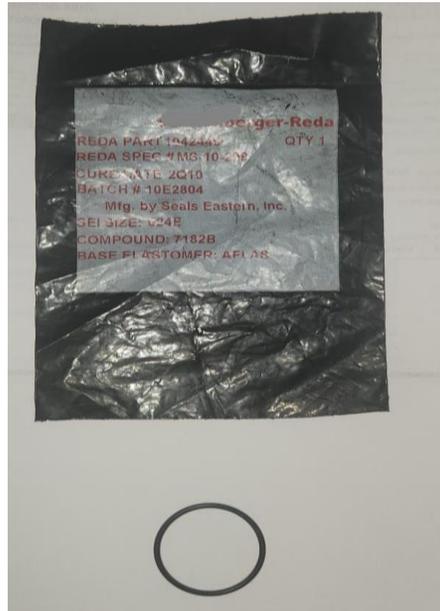
## 2. Elastómeros más Importantes en el equipo de Levantamiento Electro sumergible.

La vida útil de un componente de elastómero se rige por su susceptibilidad a fallos por deterioro mecánico, es por eso de la importancia de conocer las características fisicoquímicas a las que van hacer expuestos con esto se evitara el daño prematuro y contribuiremos con el desarrollo de la operación sin contratiempos.

### 2.1. Sei size 024 E.

Este Ítem es el más importante de todos los elastómeros que van en un equipo de fondo en vista que este va en la cabeza del motor (pod head ) y el buen estado de este tanto en su manipulación al momento de colocarlo y al momento de bajar y bombear cualquier tratamiento hacia el crudo, en vista que antes de cada tratamiento se deberá evaluar la capacidad de resistencia y las condiciones a las que puede verse afectado.

Figura 8: Elastómero Pod Head cabeza del motor-slb



Nota: Elastómero Pod Head cabeza del motor-slb.@

## 2.2. Sei Size 233 G.

Su papel en el cuidado del motor es importantes gracias a que este es la parte más importante para que el motor no se vea invadido por agua o la invasión de agua , se encuentra en los sellos o protectores los cuales se encargan de refrigerar al motor mediante el aceite que recircula y de mantener el nivel de aceite dentro del motor , es decir si este se ve afectado por alguna situación, la vida operativa del motor se reduce a un 20 % debido a que a medida que este se deteriora el impacto en su interior será mayor.

Figura 9: Elastómero sellos protectores

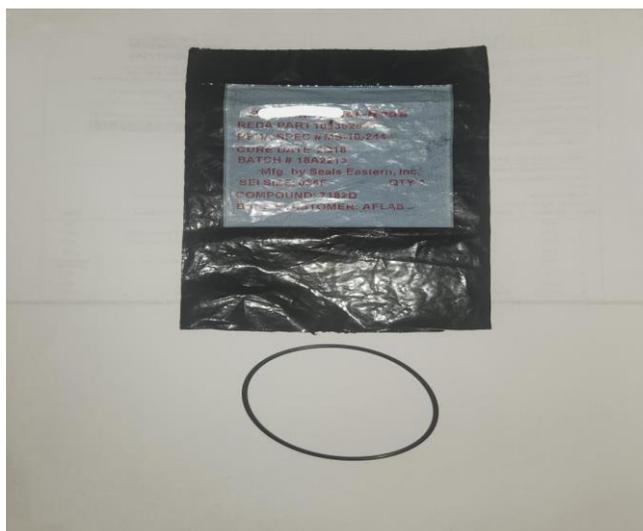


Nota: Tomado de laboratorio.

### 2.3. Sei Size 035F.

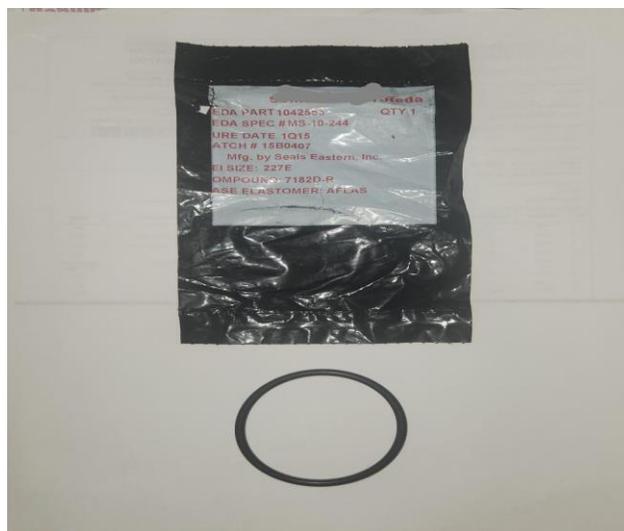
Se caracteriza por ser muy resistente a las condiciones operativas, es importante el buen funcionamiento de este para evitar pérdidas de presión, ya que si esta falla ocasionara que se forme una fuga que con el tiempo traerá limitaciones operativas al equipo de fondo. El objetivo de utilizar este tipo de material en estas conexiones de los equipos de fondo es reducir en un 80 % las fallas prematuras y evitar retrasar el proceso en la producción de crudos pesados, aportando en si una estabilidad operativa que garantiza un buen entorno operativo claro está que se debe tomar a consideración su capacidad de resistencia hacia los distintos tratamientos.

Figura 10: Elastómero –bomba--slb



Nota: Nota: Tomado de laboratorio.

Figura 11: Elastómero AGH INTAKE slb.@



Nota: Tomado del laboratorio

## CAPÍTULO II

### MARCO METODOLÓGICO

#### 1. Solventes utilizados en el tratamiento de crudo pesado de bajo API.

En Ecuador, se utilizan varios tipos de solventes para el tratamiento de crudo pesado, dependiendo de la composición del crudo y las condiciones de operación. A continuación, se presentan algunos de los solventes más comunes utilizados como:

- **Xileno:** Es un solvente aromático utilizado para reducir la viscosidad del crudo pesado.
- **Tolueno:** Similar al xileno, se utiliza para disolver los componentes pesados del crudo.
- **Gasolina:** Se utiliza como solvente para diluir el crudo pesado y facilitar su transporte.
- **Diésel:** Se utiliza como solvente para reducir la viscosidad del crudo pesado.
- **Keroseno:** Se utiliza para disolver los componentes pesados del crudo.

**Solventes alifáticos (n-hexano, n-heptano):** Se utilizan para reducir la viscosidad del crudo pesado.

**Solventes aromáticos (nafta, solvente de petróleo):** Se utilizan para disolver los componentes pesados del crudo.

Es importante mencionar que la selección del solvente adecuado depende de factores como:

- Composición del crudo
- Temperatura y presión del pozo
- Costo y disponibilidad del solvente
- Impacto ambiental

En general, la dosificación de xileno puede variar dependiendo de factores como la composición del crudo, la temperatura y la presión del pozo. Es importante realizar pruebas y análisis para determinar la dosificación óptima para cada caso específico.

## 1.1.Xileno

### 1.1.1. Factores que influyen en la dosificación de xileno:

- **Composición del crudo:** La presencia de asfaltenos, parafinas y metales pesados puede afectar la eficiencia del xileno.
- **Temperatura y presión del pozo:** La temperatura y la presión pueden influir en la solubilidad y eficiencia del xileno.
- **Concentración de xileno:** La concentración óptima de xileno puede variar dependiendo de la aplicación específica.

El xileno es un solvente aromático utilizado comúnmente en el tratamiento de crudos pesados para reducir su viscosidad y mejorar su fluidez. A continuación, se presentan algunos antecedentes y características del xileno en el tratamiento de crudos:

- ✓ Fórmula química:  $C_8H_{10}$
- ✓ Peso molecular: 106,17 g/mol
- ✓ Densidad: 0,86 g/cm<sup>3</sup>
- ✓ Punto de ebullición: 138-140°C
- ✓ Solubilidad en agua: baja

#### **Ventajas del xileno en el tratamiento de crudos:**

- ✓ Efectivo para reducir la viscosidad del crudo pesado
- ✓ Facilita la extracción y transporte del crudo
- ✓ Puede ser utilizado en diferentes concentraciones
- ✓ Relativamente económico comparado con otros solventes.

#### **Desventajas del xileno:**

- Tóxico y peligroso para la salud humana y el medio ambiente

- Puede causar problemas de corrosión en equipos y tuberías
- Requiere manejo y almacenamiento cuidadoso

#### **Aplicaciones del xileno en el tratamiento de crudos:**

- Reducción de viscosidad
- Mejora de la fluidez
- Extracción de crudo pesado
- Transporte de crudo
- Procesamiento de crudo en refinerías

Es importante recalcar que en algún momento la agencia de protección mundial del ambiente EPA y la OMS estableció los límites de exposición para la manipulación de xileno en vista que gracias a todos los ensayos realizando en campo este tiene una alta eficacia en la reducción de viscosidad de crudo pesado.

#### **1.1.2. Dosificaciones de Xileno utilizadas en la industria para el tratamiento de crudo pesado.**

##### **Dosificaciones comunes:**

1. Reducción de viscosidad: 5-15% de xileno en volumen respecto al crudo.
2. Mejora de fluidez: 10-20% de xileno en volumen respecto al crudo.
3. Extracción de crudo pesado: 15-30% de xileno en volumen respecto al crudo.

##### **a) Reducción de viscosidad.**

- Crudo pesado (viscosidad inicial: 10.000 cP)
- Dosificación: 10% de xileno en volumen

##### **Resultados:**

- Viscosidad final: 5.000 cP (reducción del 50%)

- Densidad final: 0,92 g/cm<sup>3</sup>.

**b) Mejora de fluidez.**

- Crudo pesado (viscosidad inicial: 5.000 cP)
- Dosificación: 15% de xileno en volumen

**Resultados:**

- Viscosidad final: 2.000 cP (reducción del 60%)
- Fluidez final: 100 cm/s (incremento del 50%)

**c) Extracción de crudo pesado**

- Crudo pesado (viscosidad inicial: 20.000 cP)
- Dosificación: 20% de xileno en volumen

**Resultados:**

- Viscosidad final: 10.000 cP (reducción del 50%)
- Extracción de crudo: 80% del crudo inicial

**d) Parámetros de análisis:**

- Viscosidad (cP)
- Densidad (g/cm<sup>3</sup>)
- Fluidez (cm/s)
- Porcentaje de extracción de crudo
- Composición química del crudo

**e) Métodos de análisis:**

**Viscometría (ASTM D445):** Esta norma o procedimiento se utiliza para determinar la viscosidad cinemática del crudo.

**Densimetría (ASTM D4052):** Esta norma se utiliza para determinar la densidad, la densidad relativa y la gravedad API del petróleo.

**Fluidez (ASTM D4041):** Con esta norma se verifica el punto de fluidez del petróleo.

**Cromatografía gas-líquido (GC-LC):** Esta técnica se encarga de separar y analizar compuestos volátiles y semi volátiles como:

- ✓ Benceno: encontrado en la combustión de combustibles fósiles
- ✓ Xileno: Están presentes en la gasolina y productos derivados del petróleo
- ✓ Espectroscopia infrarroja (IR): esta técnica se encarga de medir o determinar la temperatura a cualquier distancia.

## 1.2. Tolueno

Es compuesto químico orgánico que tiene como familia a los hidrocarburos aromáticos. Este compuesto tiene átomos de carbono e hidrogeno con un olor característico.

Este tipo de solvente es natural obtenido a través de la destilación del petróleo.

**Formula:**  $C_7H_8$ ,  $C_6H_5 - CH_3$

**Composición:** C: 91.25%, H:8.75%

**Peso molecular:** 92.13 g/mol

### Características:

Agente incoloro con olor aromático

La densidad es menor al agua

Utilizado para automóviles y aviones, disolventes reemplazando al benceno

Se utiliza como reformación catalítica de las fracciones de petróleo

Es utilizado como disolvente en procesos de extracción de crudo sobre todo de alquitrán, aceite de pizarra y de gas.

En comparación al benceno este es menos reactivo, pero es un solvente eficaz para sustancias orgánicas. El tolueno es estable y no tan inflamable. De todos los tipos de tolueno se utiliza en la industria petrolera el tolueno técnico. (Industrial, 2024). Su almacenamiento debe estar alejado de fuentes de ignición y alejado de químicos que sean incompatibles.

Tabla 1: Propiedades Termodinámicas

<b>Propiedades Termodinámicas</b>		
<b>Punto de Ebullición</b>	111 °C	
<b>Punto de Ebullición</b>	95 °C	
<b>Densidad</b>	20 °C	25 °C
	0,87 g/ml	0,8623 g/ml
<b>Densidad de vapor</b>	3,14	
<b>Presión de Vapor a (30 °C)</b>	37,7 mm de Hg	
<b>Índice de refracción a (20 °C)</b>	1,4967	
<b>Punto de inflamación en copa cerrada (Flash point)</b>	4 °C	
<b>Temperatura de autoignición</b>	560-600 °C	
<b>Límites de explosividad (Volumen de aire)</b>	1,37-7 % (Aire)	
<b>Solubilidad</b>	Poco soluble	
	0,05g/100ml	
<b>Temperatura crítica</b>	318,64 °C	
<b>Presión Crítica</b>	40,55 atm	
<b>Volumen Critico</b>	0,317 l/mol	
<b>Calor de combustión (25 °C)</b>	934,5 kcal/mol	
<b>Calor de vaporización (a 25 °C )</b>	9,08 kcal/mol	
<b>Capacidad calorífica</b>	Ideal	Líquido a 1 atm
	0,2688	0,4709
<b>Tensión superficial (mN/m) (25)</b>	27.92	
<b>Calor de formación (Kcal/mol)</b>	Gas	Líquido
	11,950	2,867
<b>Energía libre de formación (Kcal/K)</b>	Gas	Líquido
	22,228	27,282

Nota: Tabla elaborada por lo estudiantes las cuales indican valores y propiedades termodinámicas del tolueno Elaborado por UNAM 2019

Después de todo el material investigado se procede a realizar las siguientes pruebas de laboratorio argumentando que sus resultados se aproximan a la realidad y las partes fueron sometidas a intensos procedimientos con el único objetivo de buscar un método o una estrategia para evitar el impacto del solvente en los elastómeros, sin afectar el tratamiento hacia el crudo pesado.

### **1.3. Gasolina**

La Gasolina en la industria petrolera ha sido utilizada como aditivo para optimizar el transporte de crudo pesado específicamente en tuberías.

- **Ventajas:**

- Reduce la viscosidad lo que hace al crudo más fácil de transportar.
- Incrementa la fluidez ya que reduce la tensión superficial.
- Ayuda en que no se forme depósitos de parafina en las tuberías

- **Desventajas**

- El riesgo de explosión aumenta considerablemente por su alto nivel de inflamabilidad
- Riesgo de contaminación ambiental si existiera un derrame
- Incrementa su costo de transporte al agregar gasolina al crudo

Se han desarrollado nuevos aditivos para no utilizar ya la gasolina como lo son aditivos de reducción de viscosidad, aditivos de mejora de fluidez, aditivos anti depósitos. Algunos ejemplos son los polímeros copolímeros, éteres y alcoholes.

Este producto es insoluble al agua y su temperatura de inflamación es de 232 °C. Su transporte debe ser cuidadoso.

Tabla 2: Propiedades de la Gasolina

<b>Producto</b>	<b>Solvente Alifático de petróleo</b>			
<b>Tipo de producto</b>	<b>Destilado ligero</b>			
<b>Nombre del producto</b>	<b>Solvente N1</b>			
Uso recomendado	Disolvente utilizado en la manufactura de productos industriales			
Composición	C5-C8			
<b>Propiedades</b>	<b>Especificaciones</b>		<b>Método de ensayo</b>	
	<b>Min.</b>	<b>Max</b>	<b>Astm</b>	<b>Otros</b>
<b>APARIENCIA</b>	Clara y libre de partículas en suspensión		D-4176	Visual
Color Saybolt	25		D-156, D-6045	
Olor	Característico		D-1296	
<b>VOLATILIDAD</b>				
Gravedad Api 15,6 C (60F)	Reportar		D-1298, D-4052	
Gravedad Específica A 15,6/15,6 C (60/60 F)	Reportar		D-1298, D-4052	
Presión de vapor a 37,8 C, Kpa (psi)		69,0 (10,0)	D-2323, D-4953	
Destilación a 76 mm Hg			D-86	
Punto inicial de ebullición	Reportar			
10 % V recuperado		70,00		
50 % V recuperado		100,00		
90 % V recuperado		125,00		
Punto final de ebullición		154,00		
<b>COMPOSICION</b>				
Azufre total, mg/kg		500	D-2622, D-4294, D-5453	
Azufre como mercaptanos, mg/100 ml	1		D-3227	
Prueba doctor	Negativa (b)		D-4952	
Numero de Bromo		1	D-1159	
Valor kauri butanol	30		D-1133	
<b>CORROSIVIDAD</b>				
Corrosión laminar de cobre, 2h, 100 C, N		1	D-130	
<b>CONTAMINANTES</b>				
Goma existente, mg/100mL		1	D-381	

Nota: Propiedades de la gasolina en la industria petrolera como aditivo para facilitar el transporte de crudo elaborado por Petro Perú

## 1.4. Diesel

El Diesel es un fluido que es de gran importancia el transporte, limpieza, mantenimiento y producción de petróleo.

Sus principales usos en la industria son:

- Como combustible para equipos móviles y para operaciones de perforación (alimentar equipos de perforación).
- En el transporte de crudo vía marítima actuando como propulsión en barcos y navíos.
- Como solvente para limpiar de superficies y equipos.
- Generación de energía para sistemas de comunicación e iluminación.

### **Ventajas como solvente:**

- Alta solubilidad ante grasas y aceites.
- El punto de ebullición es bajo y es e mayor volatibilidad
- Facilidad de almacenamiento
- Costo bajo con respecto a otros solventes
- Limpia superficies
- Elimina residuos y contaminantes

### **Desventajas**

- El Diesel deteriora los elastómeros sobre todo si es natural
- Este puede disolver componentes como los plastificantes y resinas
- Hinchamiento en los elastómeros afectando en la estructura y propiedades

### **Aplicación**

- Sirve como juntas en las mangueras de combustibles
- Sellado de tanques y en los contenedores

Para determinar la capacidad del caucho con respecto a los líquidos, gasolina, diésel, tenemos la siguiente norma:

- ASTM D471
- ISO 1817
- NORSOK M-710 (Vilas, 2017)

### **1.5. Keroseno**

Líquido transparente obtenido por destilación de petróleo en la cual su densidad se encuentra entre la gasolina y el diésel

#### **Características del keroseno**

- Punto de ebullición es de 150 a 300 °C
- Densidad de 0,78-0,82
- Viscosidad: 1-5  $mm^2/s$
- Contenido de azufre: Bajo
- Estabilidad Química: Alta
- Punto de vapor: 2.1 – 2.6 torr a 21°C
- Temperatura de autoignición: 177 °C a 329 °C

#### **Ventajas**

- Alta Solubilidad para crudo pesado
- Bajo punto de ebullición
- Bajo punto de ebullición para facilidad de evaporación

#### **Consideraciones**

- Debe ser de pureza alta
- Concentración acorde a la viscosidad del crudo

- Presión controlada

### Desventajas

- El Keroseno deteriora los elastómeros sobre todo si es natural
- Este puede disolver componentes como los plastificantes y resinas
- Hinchamiento en los elastómeros afectando en la estructura y propiedades

## 2. PRUEBAS EN ELASTOMEROS

### 2.1. Teoría de la solubilidad

Esta teoría decreta que la solubilidad de un solvente en un polímero todo dependerá de la energía de interacción entre las moléculas.

Figura 12: Ensayo a Elastómero



Nota: Elastómero sometido a pruebas de Solubilidad-Laboratorio Coca ERT.SLB@.

### 2.2. Métodos de evaluación.

- Ensayo de inmersión:** El elastómero se sumerge en el solvente y se evalúa su cambio de volumen, peso y propiedades mecánicas.
- Ensayo de absorción:** Mediante este ensayo se mide la cantidad de solvente absorbido por el elastómero.

- c) **Ensayo de permeabilidad:** En este se analiza la velocidad de propagación del solvente a través del elastómero.

Una convención para evaluar la resistencia química de un elastómero consiste en determinar el porcentaje de cambio de volumen y, a continuación, asignar una clasificación basada en dicho cambio. En esta metodología, si el cambio de volumen se mide en un 10 por ciento o menos después de la exposición, el material se considera adecuado para su uso en ese fluido a esa temperatura. Un cambio de volumen que mida entre el 10 y el 20 por ciento suele ser adecuado. Un material que mida entre el 20 y el 40 por ciento puede seguir siendo adecuado en determinadas situaciones, pero es mejor consultarlo con un ingeniero de aplicaciones antes de seleccionar un material. Un elastómero que se hinche un 40% o más no se considerará un buen material para ese fluido. Por lo que tomaremos como punto de referencia para en si coordinar de manera exacta el tiempo de exposición y la calidad de los componentes internos del Equipo De Fondo, todo sin alterar la fórmula para el tratamiento del petróleo viscoso en fondo. (Paez, 2023)

Figura 13: Recipiente de prueba a flas



Nota: Recipiente del laboratorio.

Figura 14: Elastómero conservado



Nota: Elastómero adquirido para pruebas

### 2.3. Pruebas de Hinchamiento y composición del material por TGA. (Análisis-termo gravimétricos).

El análisis termo gravimétrico se utiliza para determinar la cantidad de material plastificante, polímero, carbón negro y residuos que se depositan en un material elastómero. Se mide una muestra y se calienta en nitrógeno, de 70 a 300 °C, para que desaparezcan las sustancias impredecibles (generalmente en relación con los plastificantes). El calentamiento continúa, todavía en el ambiente de nitrógeno, hasta 550 °C. Durante ese período, se eliminarán los componentes naturales excedentes, principalmente el polímero. Finalmente, el ambiente en el calentador cambia a aire y la temperatura aumenta a 650 °C, durante el cual se quemará el carbón negro. La parte excedente es la acumulación de residuos que se compone de componentes inorgánicos. Durante este ensayo destructivo se podrá constatar la capacidad de resistencia de las cuales se tomarán consideración para la instalación. (Paez, 2023)

Figura 15: Descarga EUE 3.5-Prueba



Nota: Elementos realizados a pruebas de descarga EUE 3.5-Prueba en Lab,slb@.

Figura 16: Elastómeros Sometidos a pruebas



Nota: Fotografía de morfología de falla de origins YCAC-049

La vida útil de una pieza de elastómero se mide por su vulnerabilidad a fallas debido a desgastes mecánicos o de la sustancia. Existen pruebas establecidas que evalúan las propiedades de falla de los elastómeros:

#### **2.4. Mediante el modo de fractura para investigar la durabilidad mecánica.**

Mediante pruebas donde el envejecimiento este esta acelerada para la corrupción de sustancias.

Los elastómeros son sensibles a bajas temperaturas, por lo que esta técnica asume que la descomposición de los compuestos provocada en las pruebas de laboratorio es el factor que determina la vida útil. A pesar de que la oxidación de los elastómeros es muy confusa, los ciclos activados térmicamente se pueden representar utilizando técnicas y ciclos que se aplican a circunstancias específicas.

Al probar la obstrucción de fluidos, los efectos que tienen los diferentes fluidos sobre el elastómero no están completamente resueltos. Los fluidos más conocidos son:

- Aceites
- Polvos
- Agua

Sustancias sintéticas Los aceites, los rellenos y el agua se infiltran en el elastómero y lo hinchan, sin destruir el material. Los rellenos y ciertos aceites también pueden romper los plastificantes en el elastómero, con el objetivo de que pierda peso cuando el combustible se seca. Los sintéticos oxidantes pueden romper las cadenas subatómicas en el elastómero. La prueba se completa sumergiendo los elastómeros de prueba en un volumen de 1-3 cm<sup>3</sup> en el fluido. La prueba se realiza normalmente a alta temperatura durante 72 horas. En casos específicos, la prueba se

completa durante períodos más largos, hasta que se alcanza la armonía, lo que puede requerir un poco de tiempo. (SENSORICX, 2015)

### **CAPÍTULO III**

#### **PROPUESTA DEL DESARROLLO DEL PROYECTO TÉCNICO**

Durante el proceso y ejecución de este proyecto se logró definir que no es fácil predecir una condición operativa, pero si es posible tomar acciones correctivas para evitar que pase, todo está en la planificación antes de una operación de esto dependerá que la operación salga adelante. Con el proyecto se planteará estrategias de cuidado antes y después logrando en si una confianza total en cada actividad realizada en el pozo es decir si lo planificamos lo evaluamos tendremos resultados excelentes, la producción de crudo viscoso se ha convertido en un dilema todo gracias a los continuos tratamientos en fondo que este necesita para poder tener movilidad y que el equipo de fondo pueda hacer su trabajo, el solvente y el equipo de fondo adecuado lograra un tiempo de producción más prolongado claro está que hay que tomar en cuenta las distintas variables que se presentan en la operación, pero para esto ya estaríamos preparados gracias a los distintos ensayos de laboratorio realizados en los cuales podemos deducir que una concentración alta de un 70 % de Xileno a un tiempo de exposición no mayor a 6 horas no tendría ningún impacto negativo en las partes vulnerables del equipo de fondo, para lo cual definiremos este tipo de elastómero:

NBR (nitrilo): Buena resistencia y resistencia a los hidrocarburos alifáticos/combustible. Resistencia a la intemperie limitada y resistencia a la temperatura alta. Intervalo de temperatura típico: -30 a 120°C. Ampliamente utilizado en aplicaciones de sellado. Al igual que con el nitrilo hidrogenado, se pueden influir en muchas propiedades variando su relación de acrilonitrilo a butadieno, este tipo de elastómero en conjunto con un equipo con bombas RC100 y una AGH lograran afianzarse ante estos procesos que lo pozos de crudo pesado necesita. El escenario cambia

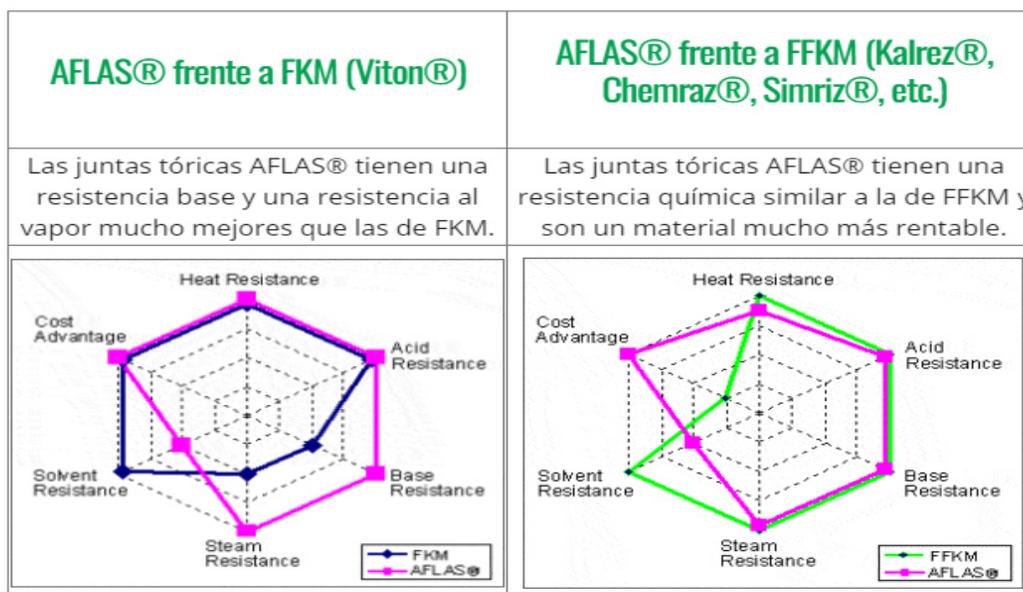
en operaciones con concentraciones altas de JP1 todo debido a que por lo regular este tratamiento siempre viene asociado con otros tipos de químico en concentraciones tales como JP1, ácido orgánico 10%, ácido Sandstone al 4.5% entre otros por lo que utilizaremos elastómeros de tipo:

HNBR (nitrilo hidrogenado): Presta una resistencia buena ante la presencia de hidrocarburos alifáticos (combustibles). La resistencia a la intemperie es limitada sin embargo si este es expuesto a temperaturas altas este resiste por sus condiciones ya que este material según estudios y pruebas oscila entre -30 a 120°C

Después de los análisis y pruebas de laboratorio realizadas a los diferentes tipos de marcas de elastómeros podemos deducir que la marca AFLAS que es un copolímero de tetrafluoretileno (TFE, FEPM) y propileno los cuales los hacen altamente resistentes a una gama de productos químicos ,bases y vapor ,su temperatura base operacional va desde 10 °C(14 °F) hasta 220 °C(482 °F) es decir su capacidad de resistencia tranquilamente sobrepasa la temperatura de colapso del motor que esta configurada a 320 °C en si cumple las características de un material altamente resistente para estas condiciones que se presentan en pozo de crudo pesado al cual se le aplica una variedad de tratamientos.

Las cualidades de este material del elastómero combaten las cadenas de carbono y presenta reacciones adversas defensivas ante la presencia química benceno, tolueno, xileno etc, es decir su capacidad de resistencia a la presión de vapor y a la presencia de crudos aromáticos, parafínicos es decir está diseñado para trabajar en condiciones netamente opuestas a las que cualquier elastómero normal podría resistir. (Maxwell, 2015)

Figura 17: Características de las juntas de aflas



Nota: Tomado de Manual-ref. Aflas-slb.

Con todos estos cambios y modificaciones realizadas se podrá obtener un mejor control operativamente hablando en vista que los equipos contarán con partes internas aptas para todo tipo de tratamiento que el crudo pesado amerite, las condiciones adversas ya no serán limitantes para evitar utilizar solventes a la hora de tratar con crudos pesados viscosos todo debido a que ya se tiene un equipo electro sumergible robusto con partes internas que sobrepasaron las expectativas y que si está bien decirlo todo dependerá de la planificación operativa que se dé al momento de encontrarse un contratiempo en la operación. Los equipos ya no tendrán inmersión de agua o sólidos en la parte interna, el motor no será afectado con posibles aumentos de temperatura por el fallo de la bolsa interna de compensación en si los beneficios serán visibles y podemos decir que ya no tendremos más intervenciones tempranas por fallo en las partes internas o en la cabeza del motor, producidas talvez por apagones no planificados o por posibles altas temperaturas del motor.

La inyección de solventes (xileno, JP1, tolueno) garantiza una producción de crudo pesado óptima que a la larga ayuda de alguna manera a minorar la carga que el motor ejerce para levantar el fluido, una buena dosificación en fondo hará que el proceso avance sin complicaciones y con la garantía que el equipo de fondo no se verá afectado por posibles daños en sus partes vulnerables, ante cualquier tratamiento por posibles enfriamientos del crudo en las tapas se deberá considerar el tiempo de exposición y recircular para poder lavar y así bombear por un tiempo más.

La eficacia de los tratamientos en fondo por uso de solventes altamente invasivos (xileno, tolueno, Jp1) cuidado del equipo de levantamiento artificial y producción estable de crudo son lo referente en este proyecto en sí, los beneficios que se logran al planificar antes de una intervención nos evitan pérdidas de tiempo gasto de recursos no planificados y una logística no planificada, es decir es fundamental evaluar la situación antes de comprometer al pozo al equipo y a la producción tomando en cuenta factores muy importantes que pueden aportar a que la operación siga y no sea necesario una intervención por parte de un rig ,un trabajo en equipo se logra en comunicación constante con las partes afectadas es ahí donde nace la excelencia.

## CONCLUSIONES

- Se estableció un análisis de sensibilidad de solventes al contacto de elastómeros instalados en equipo electro sumergible en pozos de producción con crudo viscoso y bajo API.
- Las tres diferentes pruebas realizadas demuestran que los elastómeros son elementos muy resistentes, sin embargo, están expuestos a varios factores externos e internos y se necesita una debida manipulación de estos para no dañarlos y que los componentes no fallen y que si se encoge mas del 40% de su tamaño el elastómero ya no trabajara de una manera adecuada.
- Si los parámetros de la perforación sobrepasan o exceden los valores más altos (Máximos), las propiedades internas que en estén caso son mecánicas, los elastómeros pueden afectar y ocasionar problemas.
- La solución más viable para que el tiempo de vida de los elastómeros incremente son elastómeros de marca AFLAS que es un copolímero de tetrafluoretileno (TFE, FEPM) y propileno son altamente resistentes a una gama de productos químicos y que su temperatura va desde 10 °C (14 °F) hasta 220 °C (482 °F) superando al del motor que soporta hasta 320 °C.
- Cuando el flujo de fluido y su composición varía los elastómeros sufre un hinchamiento el elastómero.
- La degradación del elastómero produce que la bomba disminuya su eficiencia. mecánicas, cuando se es utilizado en pozos de crudo viscoso y con distintos tratamientos de solventes.

- Se determino que el xileno es un gran dosificante ya que incrementa la fluidez final en un 50%, incrementa un 80% en la extracción facilitando el trabajo de la bomba,

## **RECOMENDACIONES**

- Planificar antes de una intervención para evitar pérdida de tiempo, gasto de recursos no planificados y una logística no planificada, evitando comprometer al pozo y al equipo.
- Al momento de definir los rangos para seleccionar los elastómeros para cada uno de los parámetros se debe tomar en cuenta la variación de temperatura el uso del solvente y el fluido que se utilizara.
- Se recomienda evaluar las limitaciones de la potencia del motor para que sea compatible con el elastómero ya que una mala selección material defectuoso se verá comprometido los componentes.
- Evitar operaciones erróneas ya que la falla más común en los equipos por elastómeros es debido a estos malos procedimientos.
- Es importante no volver a utilizar elastómeros ya defectuosos o reencaucharlos por que se ve afectado sus capacidades físicas, mecánicas y estructurales.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abascal, J. G. (Febrero de 2020). Revisión de los principales tipos de elastómeros y ensayos normalizados. Obtenido de <https://reviberpol.org/2020/03/01/revision-de-los-principales-tipos-de-elastomeros-y-ensayos-normalizados/>
- Aldifar. (Noviembre de 2020). Aldifar Manual. Obtenido de <https://www.msmanuals.com/professional/hematology-and-oncology/myeloproliferative-disorders/polycythemia-vera>
- ASME. (2019). Especificación estándar para piezas de fundición de hierro dúctil. Obtenido de [https://www.astm.org/a0536-84r19e01.html?gad\\_source=1&gclid=Cj0KCQjwGL-3BhDnARIsAL6KZ6\\_5jhserzK3OO4JuIL\\_iG0yPStjwA-hdtBoqDucow6OEH\\_wyK5I-V4aAt2LEALw\\_wcB](https://www.astm.org/a0536-84r19e01.html?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwGL-3BhDnARIsAL6KZ6_5jhserzK3OO4JuIL_iG0yPStjwA-hdtBoqDucow6OEH_wyK5I-V4aAt2LEALw_wcB)
- Blvd, J. F. (2023). Aflas. Obtenido de Durómetro AFLAS 90: <https://www.globaloring.com/es/aflas-o-rings/>
- Glossary, E. (2024). Energy Glossary. Obtenido de <https://glossary.slb.com/>
- Guevara, R. (16 de Mayo de 2017). Facilidades de superficie-Sistema de inyección de químicos. Obtenido de Slideshare: <https://es.slideshare.net/RodrigoGuevaraGuevar/facilidades-de-superficiesistema-de-inyeccin-de-qumicos>
- Industrial, Q. (Septiembre de 2024). Tolueno. Obtenido de [https://quimicaindustrial.cl/producto/tolueno/?srsltid=AfmBOorufvCx-2MzeP\\_6pvR3QKFf9c\\_-8J8hZ3oZ6NNcmpUus4t5jeDn](https://quimicaindustrial.cl/producto/tolueno/?srsltid=AfmBOorufvCx-2MzeP_6pvR3QKFf9c_-8J8hZ3oZ6NNcmpUus4t5jeDn)
- Martinez, A. (2015). Tecnología de los elastómeros. Universidad de Cantabria.
- Maxwell, B. (2015). Review of accelerated ageing methods and lifetime prediction techniques for polymeric materials . Obtenido de [https://eprintspublications.npl.co.uk/3161/1/DEPC\\_MPR16.pdf](https://eprintspublications.npl.co.uk/3161/1/DEPC_MPR16.pdf)

Meseguer, V. (21 de Febrero de 2020). REVISIÓN DE LOS PRINCIPALES TIPOS DE ELASTÓMEROS Y ENSAYOS NORMALIZADOS. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/347933353\\_REVISION\\_DE\\_LOS\\_PRINCIPALES\\_TIPOS\\_DE\\_ELASTOMEROS\\_Y\\_ENSAYOS\\_NORMALIZADOS](https://www.researchgate.net/publication/347933353_REVISION_DE_LOS_PRINCIPALES_TIPOS_DE_ELASTOMEROS_Y_ENSAYOS_NORMALIZADOS)

Mexpolimeros. (Junio de 2019). Obtenido de <https://www.mexpolimeros.com/defectos%20de%20los%20elast%C3%B3meros.html>

Naranjo, G. (Julio de 2018). Universidad Central del Ecuador. Obtenido de Análisis de las propiedades mecánicas de los elastómeros de los motores de fondo durante las operaciones de perforación en la sección 12 ¼” y en los períodos de almacenamiento: <https://www.dspace.uce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/5e12a5b4-7982-4cff-a778-dc8460c73316/content>

Paez, .. P. (2023).

PetroPerú. (01 de Abril de 2019). Especificaciones Técnicas de la Gasolina. Obtenido de <https://www.petroperu.com.pe/productos/solventes/>

Ramirez, M. (23 de Julio de 2014). ESP OÍL. Obtenido de Bombeo Electrosumergible: Análisis, Diseño, Optimización y Trouble Shooting: <https://christian3306.wordpress.com/wp-content/uploads/2010/10/bombeo-electrosumergible.pdf>

Schlumberger. (2003). Manual de Complementación.

SENSORICX. (2015). INSTRUMENTACION DE UNA TORRE DE DESTILACIÓN. Obtenido de <https://sensoricx.com/termodinamica-y-procesos-industriales/instrumentacion-de-una-torre-de-destilacion/>

Unam. (Diciembre de 2016). Hoja de Seguridad XVII Tolueno. Obtenido de <https://quimica.unam.mx/wp-content/uploads/2016/12/17tolueno.pdf>

URRIBARRI, O. (2013). LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL.

Vetturazzi, R. (16 de Agosto de 2016). ESSS. Obtenido de ASME VIII: la utilización de métodos computacionales en la verificación de normas técnicas:  
<https://www.esss.com/es/blog/asme-viii-la-utilizacion-de-metodos-computacionales-en-la-verificacion-de-normas-tecnicas/>

Vilas, J. (2017). Elastómeros: Propiedades y aplicaciones . Editorial Reverté.

Young, E. (2002). Elastómeros: Comportamiento con la temperatura y agentes agresivos. Bogotá.

## Anexos

Figura 18: Tabla de propiedades de elastómeros

ELASTOMERO	CAMPOS DE UTILIZACIÓN	PERF
<b>NBR C/MEDIO ACN Y C<sub>4</sub></b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prop. mecán. altas (80% TDH)</li> <li>• Temp máx 120 °C</li> <li>• Abrasión: alta resistencia</li> <li>• Ampollado por gas: buena resist</li> <li>• Aromáticos: promedio</li> <li>• CO<sub>2</sub> : promedio</li> <li>• SH<sub>2</sub> : promedio</li> <li>• Agua caliente: promedio/pobre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Crudos pesados &lt; 18 °API</li> <li>• Crudos abrasivos</li> <li>• Alta presión</li> <li>• Crudos medios 18&lt;°API&lt; 29</li> <li>• Crudos livianos 29&lt;°API&lt;40 y bajo cont. aromát y CO<sub>2</sub> - (3%)</li> </ul>	<b>A</b> <b>A/B</b> <b>A</b> <b>B</b> <b>C</b>
<b>NBR CON ALTO ACN</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prop. mecán. buenas (70% TDH)</li> <li>• Temp máx 100 °C</li> <li>• Abrasión: promedio</li> <li>• Ampollado por gas: agudo</li> <li>• Aromáticos: buena</li> <li>• CO<sub>2</sub> : promedio</li> <li>• SH<sub>2</sub> : muy pobre</li> <li>• Agua caliente: pobre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Crudos medios 18&lt;°API&lt; 29</li> <li>• Crudos livianos 29&lt;°API&lt;35 con contenido promedio de aromáticos y CO<sub>2</sub> (8%)</li> </ul>	<b>B</b> <b>B</b>
<b>NBR BLANDO: BAJO ACN Y C<sub>4</sub></b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prop. mecán. buenas: elasticid.</li> <li>• Temp máx 80 °C</li> <li>• Abrasión: muy buena</li> <li>• Ampollado por gas: alta resist</li> <li>• Aromáticos: promedio</li> <li>• CO<sub>2</sub> : promedio</li> <li>• SH<sub>2</sub> : promedio/pobre</li> <li>• Agua caliente: promedio/pobre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Crudos abrasivos</li> <li>• Crudos pesados hasta 18° API</li> <li>• Crudos medios con bajo contenidos de aromáticos y CO<sub>2</sub></li> </ul>	<b>A</b> <b>A</b> <b>B</b>
<b>HNBR NBR HIDROGENADO</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Propiedades mecánicas medias</li> <li>• Temp. máx 140 °C</li> <li>• Abrasión : buena</li> <li>• Ampollado por gas: pobre.</li> <li>• Aromáticos: promedio/pobre</li> <li>• CO<sub>2</sub> : promedio/pobre</li> <li>• SH<sub>2</sub> : buena</li> <li>• Agua caliente: muy pobre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Crudos pesados con alta temperatura</li> <li>• Crudos pesados con SH<sub>2</sub></li> <li>• Crudos medios con bajo contenidos de aromáticos y CO<sub>2</sub></li> </ul>	<b>A</b> <b>A/B</b> <b>B/C</b>
<b>NBR + FLUOROCARBONO (FKM)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Propiedades mecánicas medias</li> <li>• Temp. máx 130 °C</li> <li>• Abrasión : pobre</li> <li>• Ampollado por gas: pobre</li> <li>• Aromáticos: excelente</li> <li>• CO<sub>2</sub> : excelente</li> <li>• SH<sub>2</sub> : buena</li> <li>• Agua caliente: muy pobre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Crudos livianos con alta temperatura y CO<sub>2</sub></li> <li>• Crudos livianos con SH<sub>2</sub></li> <li>• Crudos medios con alto contenidos de aromáticos y CO<sub>2</sub></li> </ul>	<b>A</b> <b>A/B</b> <b>B/C</b>

Nota: tomado de (Young, 2002)

Figura 19: Elastómero



Nota: Elastomero adquirido por los estudiantes

Figura 20: Pozo Petrolero



Nota: Foto tomada por estudiantes

Figura 21: Matracas de Erlenmeyer



Nota: Aplicación de solventes a los elastomeros

Figura 22: Cuarto de operaciones.



Nota: Foto creada por estudiantes.

Figura 23: Torre petrolera



Nota: Foto tomada por estudiantes.

Figura 24: Reda protector



Nota: Foto tomada por estudiantes.

Figura 25: Reda protector



Nota: Foto tomada por estudiantes.

Figura 26: Sensor de Fondo



Nota: Foto tomada por estudiantes.