

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**“COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DEL LAURIL ÉTER  
SULFATO DE SODIO AL 70% EN PRESENCIA DE BAJAS  
CONCENTRACIONES DE SAL”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
QUÍMICO

AUTORES

**LEHIA KASSANDRA, PUENTE COVEÑAS**

**MARCOS MANUEL, ZAVALA ROJAS**

**ROMAN PIO, HUARACA AGUADO**

ASESORA

**GLADIS ENITH REYNA MENDOZA**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

**CALLAO 2024**

**PERÚ**



# TESIS FINAL - HUARACA AGUADO-PUENTE COVEÑAS-ZAVALETA ROJAS

**2%** Textos sospechosos

**2% Similitudes**  
<  
1% similitudes entre comillas  
0% entre las fuentes mencionadas  
< 1% Idioma no reconocido

<b>Nombre del documento:</b> TESIS FINAL - HUARACA AGUADO-PUENTE COVEÑAS-ZAVALETA ROJAS.pdf <b>ID del documento:</b> 33023a41a9025d08b2bc5b3a32484cb7297941a1 <b>Tamaño del documento original:</b> 1,5 MB	<b>Depositante:</b> FIQ PREGRADO UNIDAD DE INVESTIGACION <b>Fecha de depósito:</b> 22/1/2024 <b>Tipo de carga:</b> interface <b>fecha de fin de análisis:</b> 22/1/2024	<b>Número de palabras:</b> 17.499 <b>Número de caracteres:</b> 123.686
--	--	---

Ubicación de las similitudes en el documento:



## Fuentes de similitudes

### Fuentes principales detectadas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	<a href="http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/20381/1/T-UCE-0017-IQU-077.pdf">www.dspace.uce.edu.ec</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (78 palabras)
2	<a href="https://dokumen.tips/documents/comportamiento-reologico-de-disoluciones-acuosas-de-de-disoluci...">dokumen.tips   (PDF) COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DE DISOLUCIONES ACUOSA...</a> 2 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (101 palabras)
3	<a href="https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/download/626/823">ciencialatina.org   Modelos reológicos asociados al néctar mix papaya - piña</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (43 palabras)
4	<a href="https://es.firp-ula.org/wp-content/uploads/2019/06/S300A.pdf">es.firp-ula.org</a> 2 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (24 palabras)
5	<a href="http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/15974/1/T-UCE-0011-ICF-022.pdf">www.dspace.uce.edu.ec</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (21 palabras)

### Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	<a href="https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-10.php">www.eii.uva.es</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (12 palabras)
2	<a href="http://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/UNJFSC/6000">repositorio.unjfsc.edu.pe   Producción a nivel piloto de jabon ozonizado a base de...</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (17 palabras)
3	<a href="#">BARRA- GABRIEL.docx   INVESTIGACIÓN FORMATIVA Y ACTITUD HACIA LA I...</a> #366d26 El documento proviene de mi grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (20 palabras)
4	<a href="https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/333807/WHO-2019-nCoV-IPC_WASH-2020.4-spa.pdf">apps.who.int</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (14 palabras)
5	<a href="http://rraae.cedia.edu.ec/Record/UPS_27295caca3f2ca6fc2836f9bcd59d881">rraae.cedia.edu.ec</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (16 palabras)

### Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas) Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

1	<a href="https://www.1000ideasdenegocios.com/2014/07/guia-para-iniciar-un">https://www.1000ideasdenegocios.com/2014/07/guia-para-iniciar-un</a>
2	<a href="https://www.kantar.com/latin">https://www.kantar.com/latin</a>

## **INFORMACIÓN BÁSICA**

**FACULTAD:** Ingeniería Química

**UNIDAD DE INVESTIGACIÓN:** Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería Química

**TÍTULO:** COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DEL LAURIL ÉTER SULFATO DE SODIO AL 70% EN PRESENCIA DE BAJASCONCENTRACIONES DE SAL

### **AUTOR(ES):**

LEHIA KASSANDRA, PUENTE COVEÑAS / 0009-0009-0199-993X / 74733347

ROMAN PIO, HUARACA AGUADO / 0009-0000-4886-3954 / 42915970

MARCOS MANUEL, ZAVALETA ROJAS/ 0009-0009-4982-4979 / 47495143

### **ASESOR:**

GLADIS ENITH REYNA MENDOZA / 0000-0002-7400-6558 / 07836885

**LUGAR DE EJECUCIÓN:** Laboratorio de Investigación de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao.

**UNIDAD DE ANÁLISIS:** Lauril éter sulfato de sodio al 70%

### **TIPO / ENFOQUE / DISEÑO**

Aplicada / Cuantitativo / Experimental

### **TEMA OCDE:**

Ingeniería y tecnología



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA  
XI CICLO DE TESIS  
JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

**ACTA N° 133 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO DE TESIS  
PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO QUÍMICO**

**LIBRO 01 FOLIO N° 134 ACTA N° 133 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO DE TESIS  
PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO QUÍMICO**

A los 24 días del mes de enero del año 2024, siendo las 18:24 horas, se reunieron, en la sala meet: <https://meet.google.com/xch-ftwg-dpj>, el JURADO DE SUSTENTACION DE TESIS para la obtención del TÍTULO profesional de Ingeniero Químico de la Facultad de Ingeniería Química, conformado por los siguientes docentes ordinarios de la Universidad Nacional del Callao:

<b>Ing. SANEZ FALCON LIDA CARMEN</b>	PRESIDENTE
<b>Ing. RODRIGUEZ VILCHEZ RICARDO</b>	SECRETARIO
<b>Lic. CABRERA ARISTA CESAR</b>	MIEMBRO
<b>Ing. REYNA MENDOZA GLADIS ENITH</b>	ASESORA

Se dio inicio al acto de sustentación de la tesis de los bachilleres **PUEENTE COVEÑAS LEHIA KASSANDRA, ZA VALETA ROJAS MARCOS MANUEL** y **HUARACA AGUADO ROMAN PIO**, quienes habiendo cumplido con los requisitos para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico, sustentan la tesis titulada "**COMPORTAMIENTO REOLOGICO DEL LAURIL ÉTER SULFATO DE SODIO AL 70% EN PRESENCIA DE BAJAS CONCENTRACIONES DE SAL**", cumpliendo con la sustentación en acto público, de manera no presencial a través de la Plataforma Virtual;

Con el quórum reglamentario de ley, se dio inicio a la sustentación de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente. Luego de la exposición, y la absolución de las preguntas formuladas por el Jurado de Sustentación y efectuadas las deliberaciones pertinentes, acordó: Dar por **APROBADO** con la escala de calificación cualitativa **BUENO** y calificación cuantitativa **QUINCE (15)**, la presente Tesis, conforme a lo dispuesto en el Art. 24 del Reglamento de Grados y Títulos de la UNAC, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 150-2023-CU del 30 de junio de 2023.

Se dio por concluida la sustentación a las 18:55 horas del día 24 de enero del año en curso.

**Ing. Dra. SANEZ FALCON LIDA CARMEN**  
**PRESIDENTE DE JURADO DE SUSTENTACIÓN**

**Ing. Mg. RODRIGUEZ VILCHEZ RICARDO**  
**SECRETARIO DE JURADO DE SUSTENTACIÓN**

**Lic. Mg. CABRERA ARISTA CESAR**  
**MIEMBRO DE JURADO DE SUSTENTACIÓN**

**Ing. Mg. REYNA MENDOZA GLADIS ENITH**  
**ASESORA DE JURADO DE SUSTENTACIÓN**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA  
XI CICLO DE TESIS  
JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

***“AÑO DEL BICENTENARIO, DE LA CONSOLIDACIÓN DE NUESTRA INDEPENDENCIA, Y DE LA  
CONMEMORACIÓN DE LAS HEROICAS BATALLAS DE JUNÍN Y AYACUCHO”***

**INFORME Nº 011-2024-JS-XICT-FIQ**

DE : Ing. Dra. SANEZ FALCON LIDA CARMEN  
PRESIDENTE DE JURADO DE SUSTENTACIÓN  
XI CICLO DE TESIS – FIQ

PARA : Ing. Dr. CALDERON CRUZ JULIO CESAR  
DECANO – FIQ

ASUNTO : LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES

FECHA : Bellavista, 11 DE MARZO DE 2024

---

Me dirijo a usted para saludarlo cordialmente y a su vez comunicarle que al haberse visto y revisado las observaciones formuladas por el Jurado de Sustentación del XI Ciclo de Tesis FIQ a la Tesis titulada **“COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DEL LAURIL ÉTER SULFATO DE SODIO AL 70% EN PRESENCIA DE BAJAS CONCENTRACIONES DE SAL”** presentado por los bachilleres señorita **PUENTE COVEÑAS LEHIA KASSANDRA**, señor **ZAVALETA ROJAS MARCOS MANUEL** y señor **HUARACA AGUADO ROMAN PIO** de la Facultad de Ingeniería Química, el Jurado de Sustentación da su conformidad respecto al levantamiento de observaciones para que continúe con los trámites respectivos.

Atentamente.

---

**Ing. Dra. SANEZ FALCON LIDA CARMEN**  
PRESIDENTE DE JURADO DE SUSTENTACIÓN  
XI CICLO DE TESIS – FIQ

#### DEDICATORIA:

A Dios, por habernos dado la vida para poder lograr nuestros objetivos.

A nuestros padres, que siempre creyeron en nosotros y nos apoyaron en todo momento.

Gracias por su amor, su comprensión y su sacrificio. Gracias por darnos el privilegio de la educación y por enseñarnos el valor del trabajo duro y la perseverancia.

A la Universidad Nacional del Callao, por sus profesores, que nos guiaron y enseñaron con pasión.

## AGRADECIMIENTO

A la Ing. Gladis Enith Reyna Mendoza, gracias por su apoyo y todo el tiempo invertido en este trabajo.

A todos aquellos compañeros y amigos que nos permitieron ser los profesionales que somos hoy en día, un eterno agradecimiento.

Finalmente, un enorme agradecimiento a nuestro Alma Mater, la Universidad Nacional del Callao y a la Facultad de Ingeniería Química, porque en sus aulas tuvimos la oportunidad de formarnos como profesionistas y conocer a las personas que forman parte de la familia universitaria.

## ÍNDICE

INDICE DE TABLAS .....	4
INDICE DE FIGURAS .....	5
ÍNDICE DE ABREVIATURAS .....	8
INTRODUCCIÓN .....	11
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
1.1. Descripción de la realidad problemática .....	12
1.2. Formulación del problema .....	13
1.2.1. Problema general .....	13
1.2.2. Problemas específicos.....	13
1.3. Objetivo .....	14
1.3.1. Objetivo general .....	14
1.3.2. Objetivos específicos.....	14
1.4. Justificación .....	14
1.5. Delimitantes de la investigación .....	14
1.5.1. Delimitante teórica .....	14
1.5.2. Delimitante temporal.....	15
1.5.3. Delimitante espacial .....	15
II. MARCO TEÓRICO.....	16
2.1. Antecedentes.....	16
2.1.1. Antecedentes internacionales .....	16
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	17
2.2. Bases teóricas .....	19
2.2.1. Reología .....	19
2.2.2. Breve introducción a la historia de la reología.....	19

2.2.3.	Fluidos newtonianos y no newtonianos .....	23
2.2.4.	Viscosidad y consistencia .....	24
2.2.5.	Tipos de fluidos no newtonianos.....	24
2.2.7.	Fluidos dependientes del tiempo .....	27
2.2.8.	Viscoelásticos .....	27
2.2.9.	Anfífilos.....	27
2.2.10.	Tensoactivos .....	28
2.2.11.	Clasificación de los tensoactivos.....	29
2.2.12.	Viscosidad en tensoactivos .....	30
2.2.13.	Efecto de la temperatura en tensoactivos .....	31
2.2.14.	Efecto de los iones en tensoactivos .....	31
2.2.15.	Lauril éter sulfato de sodio.....	31
2.2.16.	Identificación y controles del lauril éter sulfato de sodio .....	31
2.3.	Marco Conceptual .....	32
2.4.	Definición de términos básicos .....	33
III.	HIPÓTESIS Y VARIABLES .....	35
3.1.	Hipótesis (General y específicas) .....	35
3.1.1.	Operacionalización de variables .....	35
IV.	METODOLOGÍA DEL PROYECTO .....	37
4.1.	Diseño metodológico.....	37
4.2.	Método de investigación .....	39
4.3.	Población y muestra.....	40
4.3.1.	Población .....	40
4.3.2.	Muestra .....	40
4.4.	Lugar del estudio.....	40
4.5.	Técnicas e instrumentos para la recolección de la información .....	40

4.5.1.	Métodos o técnicas para la recolección de datos .....	40
4.5.2.	Equipos y materiales .....	41
4.6.	Análisis y procesamiento de datos .....	41
4.7.	Aspectos Éticos en investigación .....	41
V.	RESULTADOS .....	42
5.1.	Resultados descriptivos .....	42
5.2.	Resultados inferenciales .....	46
VI.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	70
6.1.	Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados .....	70
6.2.	Contrastación de los resultados con otros estudios similares.....	70
6.3.	Responsabilidad de ética de acuerdo con los reglamentos vigentes.	71
VII.	CONCLUSIONES.....	72
VIII.	RECOMENDACIONES .....	73
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	74
	ANEXOS.....	77
	Anexo 1: Matriz de consistencia.....	78
	Anexo 2: Datos obtenidos del reómetro .....	79
	Anexo 3: Certificado de calidad del lauril éter sulfato de sodio .....	91

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Operacionalización de las variables .....	36
<b>Tabla 2</b> Matriz de experimentos .....	37
<b>Tabla 3</b> Condiciones de las corridas experimentales para determinar la variación del esfuerzo cortante .....	38
<b>Tabla 4</b> Condiciones de las corridas experimentales para determinar la variación de la viscosidad.....	38
<b>Tabla 5</b> Constantes de oswald de waele para los reogramas de esfuerzo de corte del lauril éter sulfato de sodio a bajas concentraciones de sal.....	56
<b>Tabla 6</b> Viscosidad aparente y viscosidad diferencial de 0.25% de sal en lauril éter sulfato de sodio, a temperaturas de 25 °C y 35 °C .....	57
<b>Tabla 7</b> Logaritmo natural de los valores de viscosidad aparente de 0.25% de sal en lauril éter sulfato de sodio, versus velocidad de corte, a temperaturas de 25 °C y 35 °C .....	59
<b>Tabla 8</b> Viscosidad aparente y viscosidad diferencial de 0.375% de sal en lauril éter sulfato de sodio, a temperaturas de 25 °C y 35 °C .....	61
<b>Tabla 9</b> Logaritmo natural de los valores de viscosidad aparente de 0.375% de sal en lauril éter sulfato de sodio, versus velocidad de corte, a temperaturas de 25 °C y 35 °C.....	63
<b>Tabla 10</b> Viscosidad aparente y viscosidad diferencial de 0.5% de sal en lauril éter sulfato de sodio, a temperaturas de 25 °C y 35 °C .....	65

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Representación gráfica del comportamiento de los líquidos para un flujo estacionario.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Figura 2</b> Deformación de un líquido con comportamiento newtoniano.....	22
<b>Figura 3</b> Modelos de comportamiento de fluidos no newtonianos.....	25
<b>Figura 4</b> Curvas de flujo de cada comportamiento reológico.....	25
<b>Figura 5</b> Curvas de viscosidad de cada comportamiento reológico.....	26
<b>Figura 6</b> Variables de operación y respuesta para Y1.....	36
<b>Figura 7</b> Secuencia de etapas.....	39
<b>Figura 8</b> Gráfica del esfuerzo de corte (Pa) y velocidad de corte (1/s) aplicado a lauril eter sulfato de sodio a 0.25% a T= 25°C.....	42
<b>Figura 9</b> Gráfica del esfuerzo de corte (Pa) y velocidad de corte (1/s) aplicado a lauril eter sulfato de sodio a 0.25% a T= 35°C.....	43
<b>Figura 10</b> Gráfica del esfuerzo de corte (Pa) y velocidad de corte (1/s) aplicado a lauril éter sulfato de sodio a 0.375% a T= 25°C.....	44
<b>Figura 11</b> Gráfica del esfuerzo de corte (Pa) y velocidad de corte (1/s) aplicado a lauril éter sulfato de sodio a 0.375% a T= 35°C.....	45
<b>Figura 12</b> Gráfica del esfuerzo de corte (Pa) y velocidad de corte (1/s) aplicado a lauril eter sulfato de sodio a 0.5% a T= 25°C.....	45
<b>Figura 13</b> Gráfica del esfuerzo de corte (Pa) y velocidad de corte (1/s) aplicado a lauril éter sulfato de sodio a 0.5% a T= 35°C.....	46
<b>Figura 14</b> Gráfica y ecuación del esfuerzo de corte (Pa) y velocidad de corte (1/s) aplicado de sal al 0.25% en lauril eter sulfato de sodio a T= 25°C.....	47
<b>Figura 15</b> Gráfica de probabilidad normal de sal al 0.25% en lauril eter sulfato de sodio a T= 25°C.....	47
<b>Figura 16</b> Histograma de sal al 0.25% en lauril eter sulfato de sodio a T= 25°C.....	48
<b>Figura 17</b> Gráfica y ecuación del esfuerzo de corte (Pa) y velocidad de corte (1/s) aplicado de sal al 0.25% en lauril eter sulfato de sodio a T= 35°C.....	48
<b>Figura 18</b> Gráfica de probabilidad normal de sal al 0.25% en lauril eter sulfato de sodio a T= 35°C.....	49
<b>Figura 19</b> Histograma de sal al 0.25% en lauril eter sulfato de sodio a T= 35°C.....	

.....	49
<b>Figura 20</b> Gráfica y ecuación del esfuerzo de corte (Pa) y velocidad de corte (1/s) aplicado de sal al 0.375% en lauril eter sulfato de sodio a T= 25°C.....	50
<b>Figura 21</b> Gráfica de probabilidad normal de sal al 0.375% en lauril eter sulfato de sodio a T= 25°C.....	50
<b>Figura 22</b> Histograma de sal al 0.375% en lauril eter sulfato de sodio a T= 35°C .....	51
<b>Figura 23</b> Gráfica y ecuación del esfuerzo de corte (Pa) y velocidad de corte (1/s) aplicado de sal al 0.375% en lauril eter sulfato de sodio a T= 35°C.....	51
<b>Figura 24</b> Gráfica de probabilidad normal de sal al 0.375% en lauril eter sulfato de sodio a T= 35°C.....	52
<b>Figura 25</b> Histograma de sal al 0.375% en lauril eter sulfato de sodio a T= 35°C .....	52
<b>Figura 26</b> Gráfica y ecuación del esfuerzo de corte (Pa) y velocidad de corte (1/s) aplicado de sal al 0.5% en lauril eter sulfato de sodio a T= 25°C.....	53
<b>Figura 27</b> Gráfica de probabilidad normal de sal al 0.5% en lauril eter sulfato de sodio a T= 25°C.....	53
<b>Figura 28</b> Histograma de sal al 0.5% en lauril eter sulfato de sodio a T= 25°C	54
<b>Figura 29</b> Gráfica y ecuación del esfuerzo de corte (Pa) y velocidad de corte (1/s) aplicado de sal al 0.5% en lauril eter sulfato de sodio a T= 35°C.....	54
<b>Figura 30</b> Gráfica de probabilidad normal de sal al 0.5% en lauril eter sulfato de sodio a T= 35°C.....	55
<b>Figura 31</b> Histograma de sal al 0.5% en lauril eter sulfato de sodio a T= 35°C	55
<b>Figura 32</b> Curvas de viscosidad aparente de sal al 0.25% en lauril éter sulfato de sodio a diferentes temperaturas .....	58
<b>Figura 33</b> Curva de viscosidad diferencial de sal al 0.25% en lauril éter sulfato de sodio.....	58
<b>Figura 34</b> Gráfica de energía de activación de sal al 0.25% en lauril éter sulfato de sodio.....	60
<b>Figura 35</b> Curva de viscosidad aparente de sal al 0.375% en lauril éter sulfato de sodio.....	62
<b>Figura 36</b> Curva de viscosidad diferencial de sal al 0.375% en lauril éter sulfato	

<i>de sodio.....</i>	62
<b>Figura 37</b> <i>Gráfica de energía de activación de sal al 0.25% en lauril éter sulfato de sodio.....</i>	63
<b>Figura 38</b> <i>Curva de viscosidad aparente de sal al 0.5% en lauril éter sulfato de sodio .....</i>	66
<b>Figura 39</b> <i>Curva de viscosidad diferencial de sal al 0.5% en lauril éter sulfato de sodio .....</i>	66
<b>Figura 40</b> <i>Gráfica de energía de activación de sal al 0.5% en lauril éter sulfato de sodio .....</i>	67
<b>Figura 41</b> <i>Curvas de viscosidad aparente de sal a 25 °C a diferentes concentraciones de sal en lauril éter sulfato de sodio.....</i>	68
<b>Figura 42</b> <i>Curvas de viscosidad aparente de sal a 35 °C a diferentes concentraciones de sal en lauril éter sulfato de sodio.....</i>	68
<b>Figura 43</b> <i>Curvas de viscosidad diferencial de sal a 25 °C a diferentes concentraciones de sal en lauril éter sulfato de sodio.....</i>	68
<b>Figura 44</b> <i>Curvas de viscosidad diferencial de sal a 35 °C a diferentes concentraciones de sal en lauril éter sulfato de sodio.....</i>	69

## **ÍNDICE DE ABREVIATURAS**

SARS-COV-2: Virus que causa la enfermedad por Coronavirus

OMS: Organización Mundial de la Salud

LESS: Lauril éter sulfato de sodio

PSS: Poliestirensulfonato de sodio

CTAB: Hexadecil trimetil amonio

## RESUMEN

El objetivo principal de la investigación es determinar la influencia de la concentración de sal en la viscosidad del lauril éter sulfato de sodio al 70%. Para ello, se realizaron experimentos de reología en los que se midieron el esfuerzo de corte del líquido en función de diferentes concentraciones de sal 0.25%, 0.375%, 0.5%, y a temperaturas de 25 y 35°C, utilizando un reómetro rotacional denominado Rheolab. Los resultados probaron que la viscosidad del lauril éter sulfato de sodio al 70% disminuye fuertemente a medida que aumenta la concentración de sal. Además, se prueba que la viscosidad del líquido es dependiente de la temperatura y la velocidad de corte.

En conclusión, la investigación proporciona información valiosa sobre el comportamiento reológico del lauril éter sulfato de sodio al 70% en presencia de bajas concentraciones de sal, observando un comportamiento pseudoplástico. Los resultados obtenidos serán útiles para la industria química en la optimización de procesos y la mejora de la calidad de los productos.

**Palabras clave:** Comportamiento reológico, lauril éter sulfato de sodio, Viscosidad, Concentración de sal, Temperatura.

## **ABSTRACT**

The main objective of the research is to determine the influence of salt concentration on the viscosity of 70% sodium lauryl ether sulfate. To this end, rheology experiments were carried out in which the shear stress of the liquid was measured based on different concentrations of salt 0.25%, 0.375%, 0.5%, and at temperatures of 25 and 35°C, using a rotational rheometer called Rheolab

The results proved that the viscosity of 70% sodium lauryl ether sulfate decreases strongly as the salt concentration increases. Furthermore, it is proven that the viscosity of the liquid depends on the temperature and shear rate.

In conclusion, the research provides valuable information on the rheological behavior of 70% sodium lauryl ether sulfate in the presence of low salt concentrations, observing pseudoplastic behavior. The results obtained will be useful for the chemical industry in optimizing processes and improving product quality.

**Keywords:** Rheological behavior, Sodium lauryl ether sulfate, Viscosity, Salt concentration, Temperature.

## INTRODUCCIÓN

El presente estudio se centra en el análisis del comportamiento reológico y la velocidad de dilución del lauril éter sulfato de sodio al 70% en presencia de bajas concentraciones de sal. El lauril éter sulfato de sodio es un surfactante aniónico ampliamente utilizado en productos de cuidado personal y limpieza, debido a sus propiedades espumantes y detergentes; sin embargo, es crucial comprender cómo su comportamiento reológico influye en presencia de sal.

La reología es el estudio de las propiedades de flujo y deformación de los materiales, y desempeña un papel fundamental en el diseño y formulación de productos líquidos. La adición de sal a soluciones de surfactante puede afectar significativamente sus propiedades reológicas, como la viscosidad y la estructura micelar. Estos cambios en las propiedades reológicas pueden tener implicaciones importantes en la estabilidad y la eficacia de los productos que contienen lauril éter sulfato de sodio al 70%.

El objetivo de este estudio es analizar en detalle el comportamiento reológico del lauril éter sulfato de sodio al 70% en presencia de bajas concentraciones de sal y diferentes temperaturas; para lograrlo, se llevarán a cabo experimentos utilizando equipos reológicos avanzados y métodos de análisis adecuados.

El conocimiento adquirido a través de este estudio contribuirá al desarrollo y la optimización de formulaciones de productos que contengan lauril éter sulfato de sodio al 70%, permitiendo una mejor comprensión de su comportamiento en diferentes condiciones. Además, estos resultados podrían tener implicaciones relevantes en la industria de productos de cuidado personal y limpieza, al proporcionar información valiosa para mejorar la calidad y la eficacia de los productos basados en este surfactante ampliamente utilizado.

En este estudio se determinó el comportamiento reológico del lauril éter sulfato de sodio al 70% en presencia de bajas concentraciones de sal, con el fin de proporcionar una comprensión más profunda de las propiedades de esta solución y su impacto en aplicaciones industriales relevantes.

# **I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

## **1.1. Descripción de la realidad problemática**

La pandemia mundial ocasionada por el virus del SARS-COV-2 obligó a recurrir con mayor necesidad a los productos de limpieza, debido a que el lavado de manos, así como la desinfección de superficies (de manera frecuente) fue la primera recomendación de la OMS a nivel mundial para evitar el contagio del virus y su propagación (1)

Debido a los planes de los países para contener la pandemia global, se efectuaron cierres de compañías que no fueran de primera necesidad, hasta pasada la cuarentena. Estos cierres fueron iniciados en China, pasando luego por Europa y Latinoamérica, a excepción de Brasil y México (2). Desafortunadamente, el cierre de compañías y/o fábricas durante la cuarentena ocasionó la escasez de materias primas (Para la elaboración de productos químicos), lo que condujo a:

- El encarecimiento de las materias primas y productos finales (debido a la altademanda)
- La escasez y subidas de precio de los productos (debido al confinamiento)

Teniendo en cuenta este escenario, donde la producción de estos productos no es tan complicada, como lo indican blogs como 1000ideasdenegocios.com, en el Perú se empiezan a fabricar productos de limpieza para la desinfección de superficies y manos, así como a crearse empresas de ese rubro. El incremento de la importación de materias primas para la producción de estos productos se vio reflejado a nivel nacional: las ventas de productos de limpieza aumentaron en un 16% (3)

La creación de empresas fabricantes de artículos de limpieza en el país en 2020 aumentó en un 126% con respecto al año anterior (4) (SUNAT, 2020), siendo estos datos un nivel altísimo, considerando que la existencia de este tipo de empresas sería mayor, debido a que nuestro país, como muchos países en vías de desarrollo, sea un hábito común el trabajar de manera informal, así como

el no cumplir normativas, regulaciones vigentes entre otros. No sólo eso: la tasa de crecimiento de producto masivo se cuadruplicó 10% a nivel mundial, los limpiadores domésticos crecieron un 21%, así como los detergentes y lavavajillas en un 12% (1).

El principio activo de estos productos es el lauril éter sulfato de sodio (LESS). Este producto, a alta concentración, es de un gel incoloro (Reno S.A.) o amarillento (Chemelectric). (La variación de este compuesto puede deberse en gran medida de las condiciones del lugar de origen y de los procesos para su producción). A nivel comercial, sus presentaciones comerciales dependen de la cantidad de principio activo (porcentaje de pureza) que requiere el consumidor. Actualmente se comercializan a dos concentraciones (en % peso): 70% y 28%.

Las empresas buscan la compra del LESS al 28%, a pesar de ser más caro y con menor concentración, debido a la alta actividad (y viscosidad) del LESS al 70%, lo que dificulta la mezcla con aditivos para la producción de productos de limpieza, parámetro crítico en los procesos de la industria de limpieza. Otras implicancias podrían deberse a que muchos formuladores aprovechan las cualidades del producto en menor concentración (estabilidad, espumabilidad, viscosidad) para evitar complicaciones, aumentando el coste de producción.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿Cuál es el comportamiento reológico que presenta el lauril éter sulfato de sodio al 70% en bajas concentraciones de sal y diferentes temperaturas?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- ¿Cómo varía la viscosidad en flujo de corte del lauril éter sulfato de sodio al 70% a bajas concentraciones de sal?
- ¿Cómo varía la viscosidad en flujo de corte del lauril éter sulfato de sodio al 70% a diferentes temperaturas?

### **1.3. Objetivo**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Determinar el comportamiento reológico que presenta el lauril éter sulfato de sodio al 70% a bajas concentraciones de sal y diferentes temperaturas.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Determinar la viscosidad en flujo de corte del lauril éter sulfato de sodio al 70% a bajas concentraciones de sal.
- Determinar la viscosidad en flujo de corte del lauril éter sulfato de sodio al 70% a diferentes temperaturas.

### **1.4. Justificación**

La importancia de esta tesis está enfocada a un nivel práctico, para el diseño de nuevos equipos que permitan obtener los productos de cuidado personal y limpieza, ya que proporcionará información clave para mejorar la estabilidad, eficacia y homogeneidad de las formulaciones que utilizan este surfactante. El presente trabajo también permitirá reevaluar los diseños enfocados a equipos que permiten la dilución de la concentración de este producto, puesto que el cambio de viscosidad (demostrado en este trabajo), realizado a diferentes concentraciones de sal, y evaluado a diferentes temperaturas, permite evaluar otros factores, como la solubilidad en agua, permitiendo un ahorro de costes a las empresas del rubro cosmético y limpieza.

### **1.5. Delimitantes de la investigación**

#### **1.5.1. Delimitante teórica**

El presente estudio está enmarcado dentro de la caracterización del comportamiento reológico de una mezcla del lauril éter sulfato de sodio al 70% en presencia de bajas concentraciones de sal.

### **1.5.2. *Delimitante temporal***

La investigación experimental se realizó en un periodo de 5 meses desde julio a noviembre del 2023, en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao.

### **1.5.3. *Delimitante espacial***

La presente tesis se desarrolló en el laboratorio de investigación de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao.

## **II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Antecedentes**

#### **2.1.1. Antecedentes internacionales**

En el trabajo “Effect of salt on the equilibrium and nonequilibrium features of polyelectrolyte/ surfactant association” los autores evalúan los efectos del cloruro de sodio en mezclas de poliestirensulfonato de sodio (PSS) y bromuro de hexadecil trimetil amonio (CTAB). Los ensayos demostraron que, a bajas y moderadas concentraciones de sal, el mayor impacto del electrolito (NaCl) fue manifestado en la reducción del rango de composición cinéticamente estable en el que las mezclas de PSS/CTAB son atrapadas en el estado de dispersión coloidal fuera del equilibrio. Sin embargo, a altas concentraciones, son afectadas las propiedades de fase de equilibrio, disminuyendo la cantidad de tensoactivo unido al electrolito. Esta investigación permite demostrar el cambio del comportamiento de un tensoactivo en contacto con electrolitos. Cabe resaltar que bajo una fuerza iónica constante (agregado de la sal con flujo detenido) tanto las soluciones de PSS y CTAB como las mezclas finales fueron transparentes, es decir no hubo precipitación, caso contrario de los otros métodos de mezcla que se aplicaron en este trabajo (mezcla lenta), pero esta precipitación desapareció al agregar la sal, lo que quiere decir que es indiferente el método de mezcla que se aplicará en el ensayo experimental (5).

En la tesis “Comportamiento reológico de disoluciones acuosas de surfactantes comerciales no iónicos”, el autor evalúa y realiza ensayos reológicos para el estudio del comportamiento reológico de tensoactivo no iónicos: 3 alquil poliglucósidos (Glucopón 215, Glucopón 600 y Glucopón 650) y 4 alcoholes grasos etoxilados (Findet 1214N23, Findet 1214N16, Findet 1618A23 y Findet 1018). Los ensayos se realizaron entre el porcentaje de pureza del componente (peso húmedo) y la temperatura, cuyas medidas fueron de 20, 30, 40, 50 y 60°C. Sus resultados muestran que 2 de 3 alquil poliglucósidos tuvieron un comportamiento newtoniano, mientras que el restante (Glucopón 600) tuvo un

comportamiento predominantemente pseudoplástico a temperaturas menores de 60°C, bajo los modelos de Carreau-Yasuda y Ley de Potencia. Los alcoholes grasos etoxilados presentan, en concentraciones bajas un comportamiento dilatante. Para concentraciones mayores al 5% y dependiendo de la temperatura, estos grupos etoxilados pueden presentar tanto comportamiento newtoniano como pseudoplástico. Esta investigación aportará modelos de viscosidad que han sido tomados para productos tensoactivos (material de estudio del presente proyecto) que servirán para el modelamiento de nuestra curva de viscosidad y esfuerzo de corte (6).

En la tesis “Estudio reológico de formulaciones con tensoactivos catiónicos comerciales” realiza el estudio reológico de dos tensoactivos de similar activo: metilsulfato de N-N-di(sebocarboxietil)N-2 hidroxietil-N-metilamonio (difieren sólo en que uno de ellos contiene un aditivo que permite obtener dispersiones acuosas a mayores concentraciones). Los ensayos experimentales brindan el aumento de la viscosidad en todo el intervalo de velocidad de corte con la concentración del tensoactivo. Los tensoactivos estudiados tenían carácter pseudoplástico y las propiedades reológicas del compuesto variaban con el tiempo (para el producto sin aditivo, la viscosidad disminuía con el tiempo de agitación; mientras que el otro tensoactivo estudiado tenía una disminución de viscosidad a una concentración diluida (18% de activo), pero a su concentración de presentación (22% de activo) aumentaba su viscosidad con el tiempo) y la mezcla de agitación (existe una dependencia del comportamiento de flujo con el tiempo de agitación de las mezclas para las distintas velocidades de agitación estudiadas: 200, 250 y 500 rpm). Esta investigación es importante para el proyecto de tesis puesto que demuestra que no todos los tensoactivos no tienen un comportamiento pseudoplástico (7).

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

En la tesis “Formulación y manufactura de productos para la higiene

personal y cosmética” detalla el avance de la industria de limpieza hacia los productos sintéticos y semisintéticos. Resalta la importancia de los tensoactivos, parte esencial de esta industria, puesto que estos aditivos permiten dar la característica de suavidad, detergencia y espumabilidad. Resaltar que de este grupo es el más usado el lauril éter sulfato de sodio, material de la cual se realiza su estudio en el presente trabajo. La investigación de este proyecto permite demostrar la importancia del lauril éter sulfato de sodio en la industria de limpieza y su implicancia en la industria de limpieza (8).

En el informe “Modelos matemáticos de flujo no newtoniano que caracterizan muestras de shampoo para cabello” la autora determina el comportamiento reológico de productos para el cabello (shampoo), de la marca Sedal® a 40°C y Geomen® a 30 °C, realizando las pruebas experimentales con el equipo RheolabQC del laboratorio de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao. El tratamiento estadístico de los datos experimentales de velocidad de corte y esfuerzo de corte fueron obtenidos a través de indicadores estadísticos como la varianza e índice de correlación múltiple. La autora concluye que los shampoos evaluados tienen un comportamiento pseudoplástico, representados por los modelos de Bellet N°1, Casson-Generalizada N°1, Casson-Generalizada N°2, Ostwald de Waele-Nutting, modelo de Ponell-Eyring y modelo de Williamson. No se proporcionaron resultados numéricos específicos en la información de discusión de resultados. Sin embargo las gráficas y los datos reológicos aportan que los shampoos en estudio cumplen con un comportamiento pseudoplástico (9).

En el informe “Determinación de parámetros de modelo y flujo de fluidos no newtonianos” examina las propiedades reológicas de soluciones de alcohol polivinílico con concentraciones del 4% y 10% a temperaturas de 20°C y 35°C. Los resultados revelan un comportamiento de flujo plástico real para la solución al 4% en las temperaturas evaluadas, mientras que la solución al 10% muestra un comportamiento de flujo plástico ideal bajo las mismas condiciones. Los datos experimentales obtenidos se correlacionaron con 20 modelos de fluidos no

newtonianos, y solo cinco de ellos (Ferrys, Robertson-Stiff, Williamson, Sisko y Ellis de Haven) superaron las pruebas estadísticas. Además, se logró obtener el esfuerzo umbral de fluencia mediante una extrapolación de los datos experimentales de velocidad de corte y esfuerzo de corte. La tesis proporciona información valiosa sobre los parámetros de flujo de fluidos no newtonianos y cómo se pueden obtener mediante pruebas reológicas y resolución de ecuaciones algebraicas no lineales (10).

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. *Reología***

La reología es una disciplina científica que estudia y define el deformamiento de cuerpos (ya sean sólidos, líquidos o gases) cuando son sometidos a fuerzas externas. El autor comenta también que un sólido es ideal cuando al haber sido deformado por una fuerza exterior, recupera su forma cuando el esfuerzo desaparece. Muy por el contrario, un fluido ideal (estos son líquidos y gases) se deforma irreversiblemente al ser sometido a fuerzas exteriores (11).

Es la ciencia que estudia la deformación y el flujo de materiales que son sometidos a fuerzas externas. Específicamente, analiza la conexión entre el esfuerzo ( $\tau$ ), velocidad de corte ( $\dot{\gamma}$ ), gradiente de velocidad o velocidad de deformación ( $d\gamma/dt$ ) y el tiempo ( $t$ ). Dependiendo de esta relación, los materiales presentan diferentes comportamientos reológicos (12).

Esta palabra, acuñada por Bingham en 1929 para designar la mecánica de los cuerpos deformables, proviene de los vocablos griegos “rheos” (corriente, flujo) y “logos” (estudio, tratado), definiéndose como la ciencia que estudia la deformación y el flujo de materia (7).

### **2.2.2. *Breve introducción a la historia de la reología***

La reología comienza su aparición con Robert Hooke, en 1678, con su publicación “True story of elasticity”. En ella, abre el camino para explicar el

comportamiento elástico de los sólidos, formulando el siguiente principio “la potencia de un muelle es proporcional a la tensión de deformación aplicada”: si duplicamos la tensión  $\sigma$ , duplicamos la longitud. Para un sólido elástico, cuando se aplica un esfuerzo sobre un área colocado a una altura sobre el eje Y, se produce una deformación, como se muestra en la figura 1 (6).

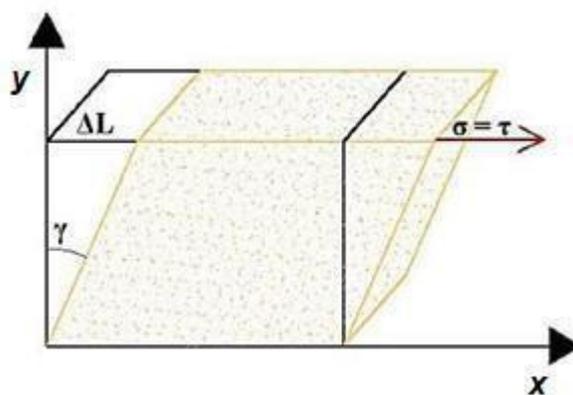
Es en 1687 cuando es publicado “Philosophiae naturalis principia mathematica”, de Sir Isaac Newton. Uno de los capítulos de esta publicación enfoca al comportamiento de los líquidos, formulando una hipótesis relativa al flujo estacionario, realizado por la aplicación de un esfuerzo cortante permanente.

Entonces, al duplicarse la tensión ( $\tau$ ), se duplica el gradiente de velocidad ( $\dot{\gamma}$ ).

$$\dot{\gamma}'' = \frac{d\dot{\gamma}}{dt} = \frac{dL/dY}{dt} = \frac{dv}{dy} \dots\dots\dots(1)$$

**Figura 1**

*Representación gráfica del comportamiento de los líquidos para un flujo estacionario*



Fuente: Ortega 2009

Según Newton:

$$\tau = -\mu \cdot \dot{\gamma} \dots (2)$$

Donde

$\mu$ : viscosidad de un fluido newtoniano [N/m<sup>2</sup> o Pa]

Naciendo la famosa ley de viscosidad de Newton. Ortega señala que, por más de 2 siglos, la ley de Hooke para sólidos y la ley de viscosidad de Newton para líquidos eran las leyes que explicaban el comportamiento de estas sustancias ante fuerzas externas (6) (Ver figura 2).

El concepto de la ley de viscosidad de Newton fue ampliado a flujos multidireccionales, gracias a los trabajos de Navier (1823) y Stokes (1845) sobre las leyes del movimiento de fluidos reales y viscosidades finitas. Estas ecuaciones, llamadas las ecuaciones de Navier-Stokes, permitieron predecir la distribución de velocidades y el flujo entre cilindros rotativos cilíndricos y tubos cilíndricos.

$$\rho \left( \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \rho g_x + \eta \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \dots (3)$$

$$\rho \left( \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \rho g_y + \eta \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \dots (4)$$

$$\rho \left( \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \rho g_z + \eta \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \dots (5)$$

Donde:

$\eta$ : Viscosidad de un fluido (sea newtoniano o no newtoniano)

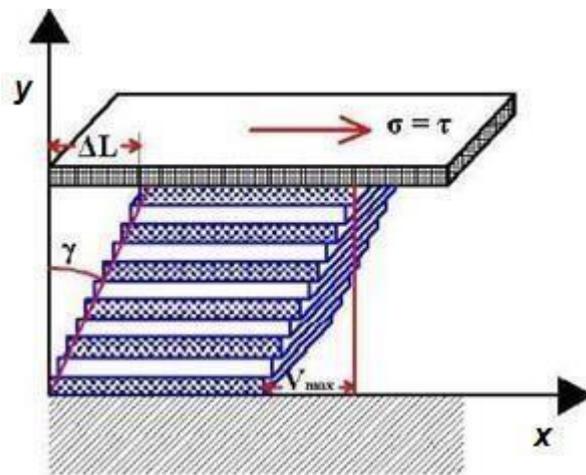
Sin embargo, ya se notaban que ciertos compuestos no cumplían con el comportamiento que señalaban Newton para los fluidos y Stokes para los sólidos. Se indica que se observaban comportamientos elásticos y viscosos de materiales en el siglo XIX, incluso antes de las publicaciones de Stokes. Estos

materiales, debido a que reunían estas características, serían denominados viscoelásticos (6).

En la búsqueda del comportamiento viscoelástico, observaban que los efectos elásticos y viscosos se superponían (13).

**Figura 2**

*Deformación de un líquido con comportamiento newtoniano*



Fuente: Ortega 2009

El modelo de Kelvin (o también llamado Kelvin-Voigt), suponía que los efectos de elasticidad y viscosidad al aplicar un esfuerzo cortante  $\sigma$  se superponían. De modo que originó la siguiente ecuación:

$$r = G * \dot{\gamma}_e \dots (6)$$

Maxwell propuso un modelo para comportamiento viscoelástico de fluidos, en la cual consideraba que la deformación total era la suma de la deformación elástica y viscosa:

Siendo:

G: Constante elástica

Y al derivar:

$$r' = G * \dot{\gamma}''_e \dots (7)$$

En viscosidad:

$$r = \eta * \frac{dv}{dy} = \eta * \dot{\gamma}''_c \dots (8)$$

Maxwell propuso un modelo para comportamiento viscoelástico de fluidos, en la cual consideraba que la deformación total era la suma de la deformación elástica y viscosa:

$$\dot{\gamma} = \dot{\gamma}_e + \dot{\gamma}_c \dots (9)$$

Al derivar, tenemos:

$$\ddot{\gamma} = \ddot{\gamma}_e + \ddot{\gamma}_c \dots (10)$$

Al reemplazar las ecuaciones de Hooke y Newton en Maxwell, introduciendo las ecuaciones (7) y (8) en (10):

$$\frac{r}{G} + \frac{r}{\eta} = \ddot{\gamma} \dots (11)$$

Multiplicando todo por el valor de viscosidad:

$$\eta * \frac{r}{G} + r = \eta * \ddot{\gamma} \dots (12)$$

Denominando  $\lambda$  a la división, e integrando a la ecuación diferencial:

$$\tau = \eta \dot{\gamma} (1 - \exp(-t/\lambda)) \dots (13)$$

Donde:

$\lambda$ : Tiempo de relajación [s]

El tiempo de relajación es el tiempo que transcurre desde que deja de aplicarse el esfuerzo que produce la transformación hasta que el material vuelve a su estado inicial.

### 2.2.3. Fluidos newtonianos y no newtonianos

De la ecuación de Navier-Stokes, si consideramos un fluido con viscosidad igual a cero, nos lleva a las ecuaciones de Euler para fluidos ideales no viscosos. Si la velocidad es cero, aparece la ecuación de la presión hidrostática.

Dicho esto, un fluido stokesiano es un fluido viscoso puro (incompresible) e isotrópico. Eso quiere decir que tendrá propiedades independientes de la dirección que se le sea considerada.

Un fluido newtoniano es un fluido stokesiano en el que la relación entre

tensión y velocidad de deformación es lineal (6).

También es aquel fluido que sigue la ley de viscosidad de Newton, es decir, mantienen una viscosidad constante (a una temperatura dada) (7).

Los fluidos que no siguen esta linealidad son llamados fluidos no newtonianos.

#### **2.2.4. Viscosidad y consistencia**

El término viscosidad nace una vez que Newton publica sus estudios de comportamientos de fluidos. El término “viscosidad” es un valor intrínseco de una sustancia, y este sirve para determinar la resistencia de un fluido.

Si bien la viscosidad es un término común utilizado para cualquier fluido, sólo debe hablarse de viscosidad para los fluidos newtonianos, debido a 2 puntos: El primero, señala, es debido a que la viscosidad es un término constante a una temperatura dada (según la ley de viscosidad de Newton), cosa que difiere con los fluidos no newtonianos. El segundo, agrega, es que la viscosidad depende de la presión tangencial y, por tanto, no es constante (10) (ver figura 3)

Por lo que él considera nombrar “consistencia” a este valor intrínseco para los fluidos no newtonianos, y que relaciona el esfuerzo de corte y la gradiente de deformación.

#### **2.2.5. Tipos de fluidos no newtonianos**

Los fluidos no newtonianos son clasificados según su dependencia del tiempo (14).

Indican que los fluidos no newtonianos son divididos en 3 categorías, según su comportamiento: dependiente del tiempo, independiente del tiempo y Viscoelásticos (15).

También un fluido no newtoniano es evaluado por la relación entre el esfuerzo cortante y la velocidad de cizalla o de corte, la cual sólo el fluido newtoniano mantiene una pendiente lineal (6) (Figura 4).

Una relación similar se sigue entre la viscosidad y la velocidad de cizalla

o de corte. (Figura 5).

### Figura 3

Modelos de comportamiento de fluidos no newtonianos



Fuente: Carrasco 2017

### Figura 4

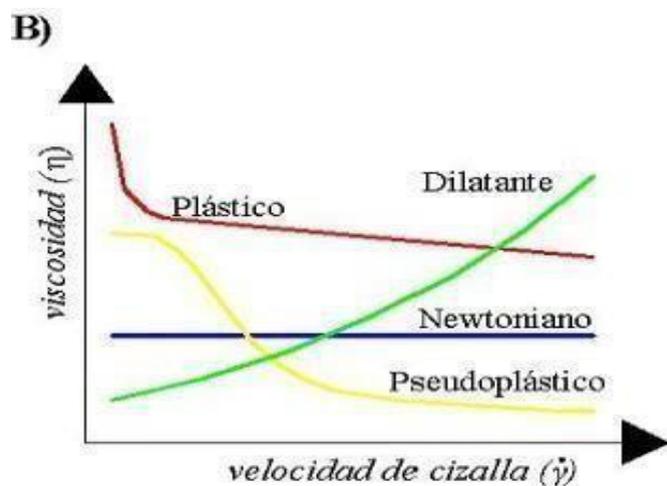
Curvas de flujo de cada comportamiento reológico



Fuente: Ortega 2009

**Figura 5**

*Curvas de viscosidad de cada comportamiento reológico*



Fuente: Ortega 2009

### 2.2.6. Fluidos independientes del tiempo

Para este tipo de fluidos, su consistencia no varía con el tiempo, a cualquier esfuerzo cortante dado (14). Añaden que este tipo de fluidos son clasificados respecto a su dependencia del umbral (esfuerzo de fluencia) (15).

Este tipo de fluidos siguen la siguiente ecuación:

$$\tau = A + B \left( \frac{dv}{dy} \right)^n = A + B(\dot{\gamma})^n \dots (14)$$

Donde:

A: Umbral de fluencia o esfuerzo de umbral

B: Índice de consistencia

n: Índice de flujo

- Fluidos sin esfuerzo de umbral: Se indica que un tipo de estos fluidos son los conocidos como pseudoplástico (Que a partir de la ecuación (14):  $A=0$  y  $n<1$ ), donde la consistencia aparente disminuye al aumentar el esfuerzo. Ejemplo de ellos son las disoluciones de macromoléculas y suspensiones diluidas. El otro tipo de fluidos son los conocidos como Dilatante (Que a partir de la ecuación (14):  $A=0$  y  $n>1$ ), donde la consistencia aparente aumenta al incrementar el esfuerzo. Ejemplo de estos productos son las suspensiones concentradas.

- Fluidos con esfuerzo de umbral: Este tipo de fluidos tienen la característica de un sólido, hasta que sobrepasa un esfuerzo cortante pequeño (esfuerzo de umbral) (15). Al pasar ese valor, se comporta como un fluido. Un tipo de estos fluidos son los plásticos (Que a partir de la ecuación (14):  $A \neq 0$ ), que deben alcanzar un esfuerzo mínimo para que pueda fluir. Otro tipo de estos fluidos son los plásticos de Bingham (Que a partir de la ecuación (14):  $A \neq 0$  y  $n=1$ ) que, al alcanzar un esfuerzo mínimo, tiene un comportamiento newtoniano. Ejemplo de estos productos son las pinturas.

-

### **2.2.7. Fluidos dependientes del tiempo**

Este tipo de fluidos cambian su consistencia si hay una variación en el esfuerzo cortante dado (14).

Carrasco indica que este tipo de fluidos son difíciles de analizar, debido a que su consistencia aparente varía con el tiempo (10).

Estos se dividen en 2:

- Fluidos tixotrópicos: La American Society of Rheology la define como “propiedad de un cuerpo en virtud en la cual una relación entre el esfuerzo cortante y velocidad de deformación disminuye en función del tiempo durante la aplicación de la deformación”. Añaden que, una vez aplicada la cizalladura, pueden recuperar su viscosidad inicial luego de un tiempo de reposo (15).

- Fluidos reopécticos: En caso contrario a los tixotrópicos, su consistencia aparente aumenta con el tiempo y con la velocidad de deformación constante (15).

### **2.2.8. Viscoelásticos**

El término viscoelástico describe situaciones comprendidas entre los límites clásicos de la respuesta elástica descrita por la ley de Hooke y la ley de viscosidad de Newton. Las propiedades de estos fluidos son tanto elásticas como viscosas.

### **2.2.9. Anfílicos**

El término anfífilo aparece por primera vez de la mano del texto de P. Winsor hace más de 7 décadas. Constituido a partir de dos raíces griegas, el prefijo "anfi" significa "doble", de ambos lados, "alrededor". Así, la raíz "filo" que indica afinidad como en filántropo, o filósofo (16).

Un compuesto anfífilo, añade, posee doble afinidad, definida en fisicoquímica como una dualidad polar-apolar. Este compuesto se divide en: un grupo polar, y un grupo apolar, en general un grupo hidrocarbonado de tipo alquil o alquil benceno, y que eventualmente puede tener átomos de halógeno u oxígeno.

La parte polar es muy afín a solventes polares. En cambio, el grupo apolar es al cual se le llama la parte hidrófoba o hidrofóbica, o también conocida como lipofílica, del vocablo griego "phobos", el miedo, y "lipos", aceite o grasa.

Estos compuestos son descubiertos en simultaneidad por Harkins y Langmuir en 1917, describiendo como sustancias equiparables a los jabones debido a su especial estructura, que consistía en un grupo polar afín al agua y un grupo apolar afín a las grasas (7).

#### **2.2.10. Tensoactivos**

El término "tensoactivo" es referido a una actividad o a una acción sobre la superficie o interfase, es decir, sobre la energía libre de Gibbs. Este término es muy relacionado como sinónimo a la palabra "surfactante", debido a que se ha supuesto que la actividad, sea superficial o interfacial, concluya a una disminución de la tensión (lo cual es en general en la mayoría de los casos) (16).

En general, indica, el término tensoactivo hace referencia a una propiedad de la sustancia. Los anfífilos manejan otras propiedades y son calificadas dependiendo de sus aplicaciones: jabones, detergentes, dispersantes, emulsionantes, espumantes, bactericida, inhibidores de corrosión, antiestático,

etc. o dentro de las estructuras de tipo: membrana, microemulsión, cristal líquido, liposomas o gel.

### **2.2.11. Clasificación de los tensoactivos**

Los tensoactivos son en su mayoría de procedencia artificial, exactamente como derivados del petróleo. Sin embargo, se han desarrollado surfactantes de origen natural, procedentes de grasas o aceites de origen animal o vegetal o por biosíntesis de microorganismos (17).

Señala que los tensoactivos pueden clasificarse según su aplicación. Sin embargo, es preferente clasificarlos de acuerdo con la estructura de su molécula; más exactamente en su carácter iónico de su grupo hidrófobo (16):

- Tensoactivos aniónicos: A este grupo pertenecen los tensoactivos que se disocian en un anión anfílico y un catión, el cual comúnmente es un metal alcalino o un amonio cuaternario. Son los más usados a nivel comercial, así como los más producidos a nivel mundial. Aquí pertenecen los tensoactivos como los detergentes (alquil benceno sulfonatos), jabones (sal de sodio de ácido graso), agentes espumantes (lauril sulfato), humectantes (sulfosuccinato), etc (16).

- Tensoactivos aniónicos: A este grupo pertenecen los compuestos que, en solución acuosa se disocian en un catión orgánico anfílico y un anión (por lo general, son del tipo halogenuro). La mayor parte de estos compuestos son compuestos nitrogenados de tipo sal de amina grasa o de amonio cuaternario. Sólo tomando entre producción de tensoactivos, a escala mundial, los tensoactivos catiónicos tienen el segundo lugar de producción a nivel mundial, debido a su alto coste de producción (16).

- Tensoactivos anfotéricos: Los tensoactivos anfotéricos son la combinación de una molécula que tiene dos comportamientos: anfótero y catiónico. Por lo general su producción es mucho más costosa, por lo que su

costo es alto también. Ejemplo de ellos lo encontramos en las betaínas (16).

Son utilizados como auxiliares por sus buenas propiedades acondicionadoras, así como aditivo para la piel (14).

- Tensoactivos no iónicos: Este tipo de tensoactivos no son ionizables. Su parte lipófila está constituida por una cadena de grasa más o menos larga, mientras que su parte hidrófila también es muy variable. En base a eso, se pueden encontrar compuestos muy lipófilos o hidrófilos. De allí la noción del balance hidrófilo-lipófilo (HLB), cuyos valores van del 0 al 20. Los rangos son del 0-8 (hidrófilo), 8-12 (intermedio) y 12-20 (lipófilo) (14).

- Tensoactivos catiónicos: Estos compuestos son producto de la unión de un tensoactivo catiónico y aniónico, que funciona como contra ión. No contienen carga eléctrica neta, sin embargo, disponen de un grupo polar de la unión del catión y el anión. Una de sus propiedades es la disminución de la concentración micelar crítica en relación de los tensoactivos unidos (6).

- Tensoactivos Siliconados: Se forman colocando grupos siliconados en la molécula del tensoactivo. Se usan en la industria farmacéutica (antigases que disminuyen la tensión superficial del gas)

- Tensoactivos fluorados: Se dan al sustituir átomos de hidrógeno por flúor, lo que genera los conocidos fluorocarbonados (Conocidos por sus propiedades térmicas y mecánicas, como el TEFLON®).

### **2.2.12. Viscosidad en tensoactivos**

En las disoluciones de tensoactivos, la viscosidad del sistema depende de la cantidad de activo del tensoactivo, disolvente, la presencia de grupos ionizables, la densidad de carga superficial, la fuerza iónica del fluido, el pH y la temperatura.

### **2.2.13. Efecto de la temperatura en tensoactivos**

El comportamiento de la temperatura para el laurato de sacarosa, a diferentes concentraciones. En los ensayos evidenció que su comportamiento a concentraciones elevadas (superior a 45%) tiene un comportamiento newtoniano. En base a sus análisis, menciona que los tensoactivos no iónicos siguen un comportamiento que sigue el modelo de Goodwin, por lo cual sugiere que es de utilidad para tensoactivos no iónicos (diluidos en agua). Pueden sugerir que la formación de micelas esféricas genera un comportamiento reológicamente newtoniano, indistinto de la temperatura, pero dependiente de la concentración (18).

### **2.2.14. Efecto de los iones en tensoactivos**

En los ensayos para nuevas revisiones sobre los alquipoglucósidos (tensoactivos a base de aceites vegetales e hidratos de carbono), el tamaño de las micelas aumentaba con la concentración. Sin embargo, la dependencia de este compuesto disminuía si aumentaba la salinidad del medio (19).

La adición de electrolitos en shampoos proporciona una reología newtoniana. Consideran que en estos productos se adicionan (por lo general) en una proporción de 1 al 2% (20).

Así también que las micelas se hinchan al adicionar la sal, provocando una resistencia al movimiento y, por ende, un aumento del sistema viscoso (14).

### **2.2.15. Lauril éter sulfato de sodio**

El lauril éter sulfato de sodio es un tensoactivo catiónico. En su presentación con mayor principio activo (70%), se presenta como una pasta fluida. El color puede variar dependiendo del fabricante (amarilla, verduzca o blanquecina).

### **2.2.16. Identificación y controles del lauril éter sulfato de sodio**

- Número CAS: 68585-34-2

- **Clasificación ONU:** No regulado

- **Clasificación NFPA:**

Salud: 1; Inflamabilidad: 0; Reactividad: 0

- **Manejo y almacenamiento:** Mantener en un lugar fresco, ventilado y seco. Evitar la formación de polvo y controlar las fuentes de ignición. Alejar de agentes oxidantes fuertes. Almacenar en recipientes plásticos entre 5 a 40 °C

- **Protección personal:** Evitar contacto con la piel, los ojos y la ropa. Utilizar guantes impermeables, gafas de seguridad para su manejo.

- **Propiedades fisicoquímicas:**

Aspecto: pasta viscosa Punto de fusión: 10-15 °C

Punto de ebullición: No aplica Densidad relativa (A 20 °C): 1.1 Solubilidad en agua: 450 g/L Punto de inflamación: No aplica

- **Estabilidad y reactividad:**

Estable bajo condiciones normales. El pH en una reacción exotérmica puede liberar ácido sulfúrico. Puede reaccionar con oxidantes fuertes.

- **Información ecológica:**

El producto no es tóxico para organismos acuáticos. No se espera causar impacto ambiental significativo. El producto es fácilmente biodegradable.

- **Otras propiedades:**

Buen efecto espumante, buen poder humectante, resistencia a aguas duras, compatibilidad con la piel y excelente detergencia.

### 2.3. Marco Conceptual

#### Comportamiento reológico

La figura 4 que representa el plano de coordenadas de la velocidad de corte y el esfuerzo cortante es una herramienta poderosa para comprender y comparar el comportamiento reológico de diferentes fluidos o materiales. Estas curvas reológicas nos permitieron visualizar cómo responden los materiales a las fuerzas de corte y proporcionan información importante sobre sus propiedades y viscosidad.

Esta tesis se basa en el estudio del comportamiento reológico del lauril éter sulfato de sodio al 70% en presencia de bajas concentraciones de sal, utilizando pruebas reológicas y un diseño metodológico aplicado. Ya se ha visto en el marco teórico el cambio de comportamiento físico y reológico al adicionar sal a un tensoactivo. Se está trabajando con una concentración de sal en lauril menor al 1%, esto para evitar la disminución de la detergencia en el producto, parámetro muy importante en este tipo de insumos.

Se ha trabajado con una curva pseudoplástica, pues los ensayos experimentales demostraron que la mezcla de este producto (bajas concentraciones de sal en lauril éter sulfato de sodio al 70%), cumple con este comportamiento reológico.

Es la temperatura un parámetro importante en la evaluación de la viscosidad, debido a que se rige bajo la ecuación de Arrhenius, donde indica que la viscosidad siempre disminuye cuando la temperatura incrementa, sin importar la concentración del surfactante (19).

Un ejemplo que fortalece esta teoría es el ensayo con laurato de sacarosa., cuyos resultados experimentales validaron nuestra hipótesis. Los resultados obtenidos son importantes para la industria química, ya que proporcionan información valiosa para mejorar la calidad y la eficacia de los productos que contienen este surfactante (18).

#### **2.4. Definición de términos básicos**

- **Consistencia:** Relación de los fluidos no newtonianos entre el esfuerzo de corte y gradiente de deformación.
- **Fluido:** Tipo de medio continuo que está formado por sustancias, mezclas o compuestos entre cuyas partículas hay fuerzas de atracción débil.
- **Fluido Newtoniano:** Es aquel fluido cuyo comportamiento sigue la ley de viscosidad de Newton. Es decir, cuyo comportamiento entre su esfuerzo es directamente proporcional a su velocidad de deformación.
- **Fluido No Newtoniano:** Es aquel fluido cuyo comportamiento no pueda ser descrito mediante la ley de viscosidad de Newton.

- **Micelas:** Partícula muy pequeña, compuesta de moléculas solubles en agua.
- **Mezcla:** Unión de una o más sustancias en un medio.
- **Tensoactivo:** También llamado surfactante, es una molécula que presenta una parte hidrófoba y una parte hidrofílica.
- **Viscosidad:** Propiedad intrínseca de los fluidos. Resistencia de un fluido a fluir. Esto depende del tipo de fluido, su concentración y aditivos que lo acompañen, así como la presión y temperatura.
- **Viscosidad aparente:** Es la relación entre el esfuerzo cortante y la velocidad de corte. La viscosidad es no lineal cuando se trata de fluidos no newtonianos.
- **Viscosidad diferencial:** También es llamada viscosidad dinámica. Es obtenida en datos experimentales o mediante la tangente a la curva del esfuerzo de corte y de la velocidad de corte, a un determinado valor de velocidad de corte.
- **Tixotropía:** Disminución de la viscosidad con el tiempo con un esfuerzo decizalla constante, seguido de una recuperación gradual al dejar de aplicársele el esfuerzo.

### **III. HIPÓTESIS Y VARIABLES**

#### **3.1. Hipótesis (General y específicas)**

**General:**

El comportamiento reológico del lauril éter sulfato de sodio al 70% en bajas concentraciones de sal es pseudoplástico.

**Específicas:**

- El esfuerzo de corte del lauril éter sulfato de sodio al 70% en presencia de bajas concentraciones de sal y diferentes temperaturas tiene una relación directa - no lineal.
- La viscosidad del lauril éter sulfato de sodio al 70%, disminuye a medida que la temperatura y concentración de sal aumentan.

##### **3.1.1. Operacionalización de variables**

**Variable dependiente (Y):**

Comportamiento reológico del lauril éter sulfato de sodio al 70% en presencia de bajas concentraciones de sal y diferentes temperaturas: El comportamiento reológico se define al estudio de un material que es afectado por la deformación aplicada sobre él.

Operacionalmente se define como el resultado del flujo de corte que se aplica a las mezclas de lauril éter sulfato de sodio al 70% a bajas concentraciones de sal y diferentes temperaturas expresado como esfuerzo de cortante y viscosidad

**Variables independientes:**

X1: Concentración de sal

Porcentaje de sal en el lauril éter sulfato de sodio al 70%

X2: Temperatura de la mezcla

Temperatura constante (isoterma) a la cual se realiza el flujo de corte

En la tabla 1 se muestran la operacionalización de las variables, en la que se muestran las dimensiones, indicadores y método.

**Tabla 1**

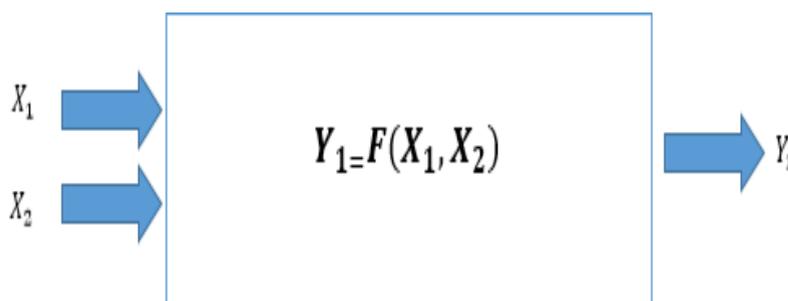
*Operacionalización de las variables*

<b>Variables</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Método</b>
Y: Comportamiento reológico del lauril éter sulfato de sodio a bajas concentraciones de sal y diferentes temperaturas. (dependiente)	Esfuerzo cortante	Pa	Reométrico
	Viscosidad	Poises	
X1: Concentración de sal (Independiente)	0.25; 0.35; 0.5	%p/p	Instrumental
X2: Temperatura (Independiente)	25; 35	°C	Instrumental

La figura 6 muestra un esquema de las variables de operación y respuesta para la variable dependiente (ver figura 6).

**Figura 6**

*Variables de operación y respuesta para Y1*



## IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO

### 4.1. Diseño metodológico

#### 4.1.1 Tipo de Investigación:

La presente tesis que se desarrolló:

Fue de tipo aplicada porque su principal propósito es buscar solución a situaciones o problemas concretos e identificables (21).

Fue de enfoque cuantitativo debido a que se están dando resultados numéricos (mediciones y cálculos) para la evaluación de nuestra hipótesis (22).

El tipo de inferencia fue deductivo, debido a que se quiere realizar la búsqueda de la verificación de nuestra hipótesis (22).

Finalmente, según el período temporal en que se realiza, es sincrónica, porque se realizó en un espacio de tiempo corto.

Según su origen es experimental, porque se realizará mediante la observación, donde se manipulan variables en condiciones controladas para describir las causas que producen un evento (22).

Es explicativa porque está direccionada a responder las causas que motivan el evento (22).

#### 4.1.2 Diseño experimental:

Para este trabajo se tendrá en cuenta la siguiente matriz de experimentos (tabla 2)

**Tabla 2**

*Matriz de experimentos*

N°	Variabes Independientes	Notación	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
1	Concentración de sal en mezcla	X1	0.25	0.375	0.5
2	Temperatura	X2	25	35	

Las condiciones de las corridas experimentales se muestran en la tabla 3 y en la tabla 4.

Estas corridas experimentales se realizarán por duplicado para asegurar la confiabilidad de los resultados, teniendo en total 24 datos.

**Tabla 3**

*Condiciones de las corridas experimentales para determinar la variación del esfuerzo cortante*

<b>Número de corrida</b>	<b>Concentración de sal en mezcla</b>	<b>Temperatura</b>
1	C1	T1
2	C1	T2
3	C2	T1
4	C2	T2
5	C3	T1
6	C3	T2

**Tabla 4**

*Condiciones de las corridas experimentales para determinar la variación de la viscosidad*

<b>Número de corrida</b>	<b>Concentración de en mezcla</b>	<b>Temperatura</b>
1	C1	T1
2	C1	T2
3	C2	T1
4	C2	T2
5	C3	T1
6	C3	T2

## 4.2. Método de investigación

### A) Método

La experimentación permitirá la manipulación una o más variables para poder medir su efecto sobre la variable dependiente o respuesta, cuyos resultados se analizarán y formularán conclusiones y recomendaciones para su uso. Para la experimentación utilizaremos la secuencia de etapas que se muestra en la figura 7.

### Figura 7

*Secuencia de etapas*



La metodología para los ensayos experimentales consiste en la mezcla de diferentes concentraciones de sal (0.25, 0.375 o 0.5% en peso) en lauril éter sulfato de sodio al 70%. Una vez obtenido las diferentes concentraciones de lauril éter sulfato de sodio al 70% en sal, se procederá a dar la lectura con el reómetro a 2 temperaturas: 25 y 35 °C.

Para ello, se requerirán los siguientes equipos, insumos y materiales, indicados a continuación:

### B) Requerimientos:

#### Equipos:

Reómetro Reolab QC

Baño María

Termómetro

Agitador magnético

Balanza digital

**Insumos:**

LESS al 70% - 2 kilos

Sal - 300 g

agua destilada

**Materiales**

Bagueta

Vaso precipitado

Luna de reloj

**4.3. Población y muestra**

**4.3.1. Población**

La población será tomada como un valor representativo de nuestra unidad de análisis (Lauril al 70%), así como sal industrial, a 2 temperaturas.

**4.3.2. Muestra**

Dado que es un trabajo experimental se utiliza unidades de análisis y esta está constituida por 100 ml de mezcla de sal al 0.25%, 0.375% y 0.5% en lauril éter sulfato de sodio al 70% y 2 temperaturas (25 °C y 35 °C), según nuestro diseño experimental.

**4.4. Lugar del estudio**

Laboratorio de investigación de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao.

**4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información**

**4.5.1. Métodos o técnicas para la recolección de datos**

Para el acondicionamiento de las muestras se utilizará una balanza y un

termostato para mantener la temperatura de trabajo.

Se registrará el esfuerzo cortante por aplicación de flujo de corte a cada muestra mediante el uso del Reómetro Rheolab QC.

Se registrará la viscosidad por aplicación de flujo de corte a cada muestra.

#### **4.5.2. Equipos y materiales**

##### **- Equipos e Instrumentos para la experimentación**

Reómetro Rheolab QC: Dispositivo que permite la determinación de la viscosidad midiendo la fuerza requerida para hacer fluir el material mediante un sistema de geometrías específicas, registrando la resistencia que experimenta el material a fluir.

Baño maría: Dispositivo para la variación de la temperatura

Computadora: Equipo que permite el cálculo estadístico-matemático

##### **- Materiales para la experimentación**

Vasos precipitados, Termómetro y Agua destilada

#### **4.6. Análisis y procesamiento de datos**

El análisis de los resultados experimentales se efectuará mediante el software Minitab y Excel, mediante su aplicación se realizará una serie de tablas, gráficas, análisis de varianza, así como los parámetros de las ecuaciones matemáticas, para determinar los factores más influyentes en la respuesta (Y).

#### **4.7. Aspectos Éticos en investigación.**

Los autores de la investigación están comprometidos con el respeto a las normas técnicas involucradas y el código de ética de investigación de la Universidad Nacional del Callao. Aprobado por Resolución N° 260-2019-CU

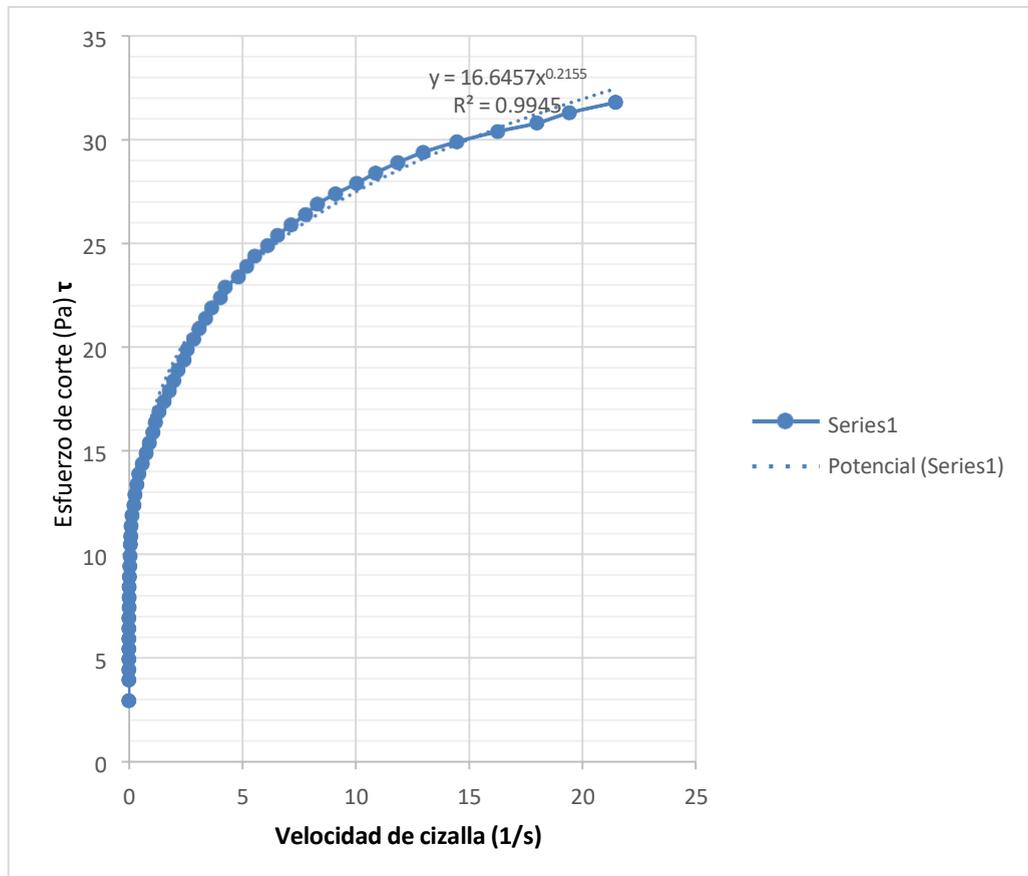
## V. RESULTADOS

### 5.1. Resultados descriptivos.

Luego de realizar las corridas experimentales en el laboratorio con el reómetro Rheolab QC a las temperaturas de 25°C y 35°C; asimismo a diferentes concentraciones de sal (0.25%, 0.375 % y 0.5%) se obtuvieron los siguientes resultados para las velocidades de cizalla y esfuerzo de corte, por triplicado, tomándose la velocidad de corte promedio manteniendo el esfuerzo de corte constante, y detallándose a continuación en las tablas del anexo 2 de la presente tesis.

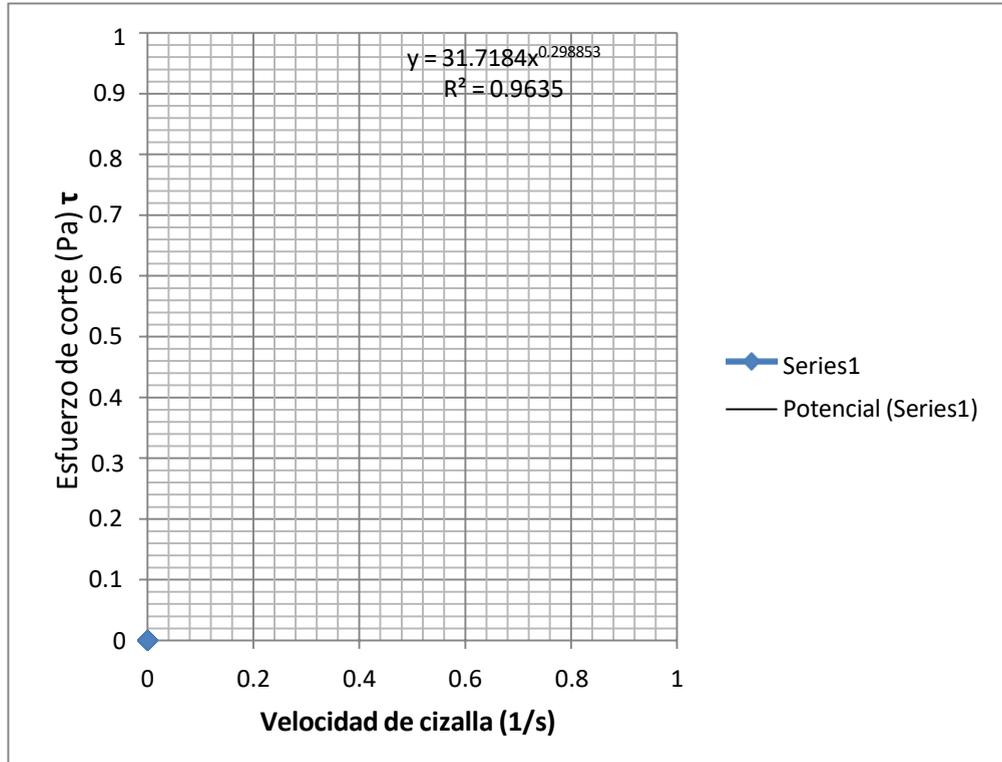
#### **Figura 8**

*Gráfica del esfuerzo de corte (Pa) y velocidad de corte (1/s) aplicado a lauril eter sulfato de sodio a 0.25% a T= 25°C*



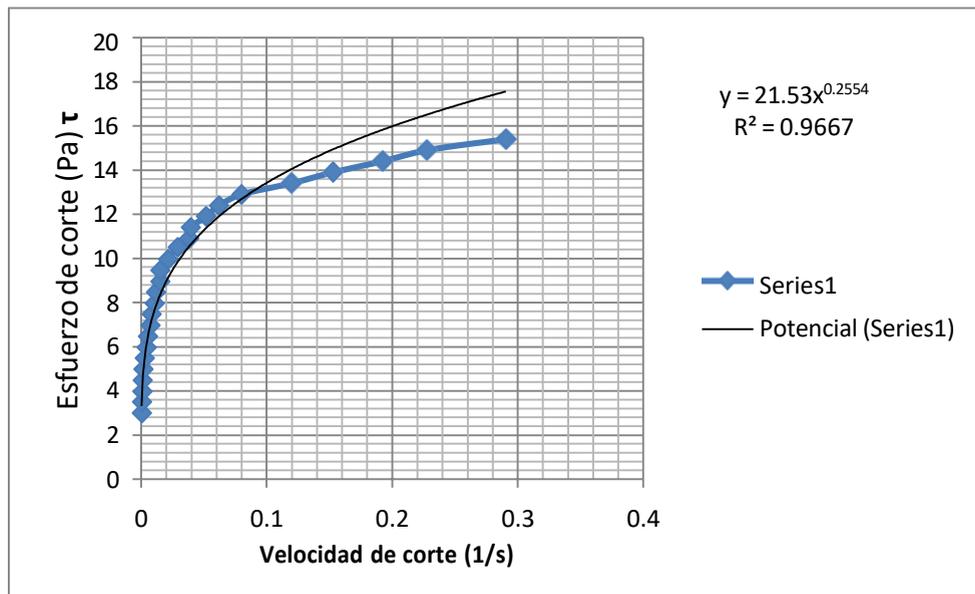
**Figura 9**

*Gráfica del esfuerzo de corte (Pa) y velocidad de corte (1/s) aplicado a lauril eter sulfato de sodio a 0.25% a  $T= 35^{\circ}C$*



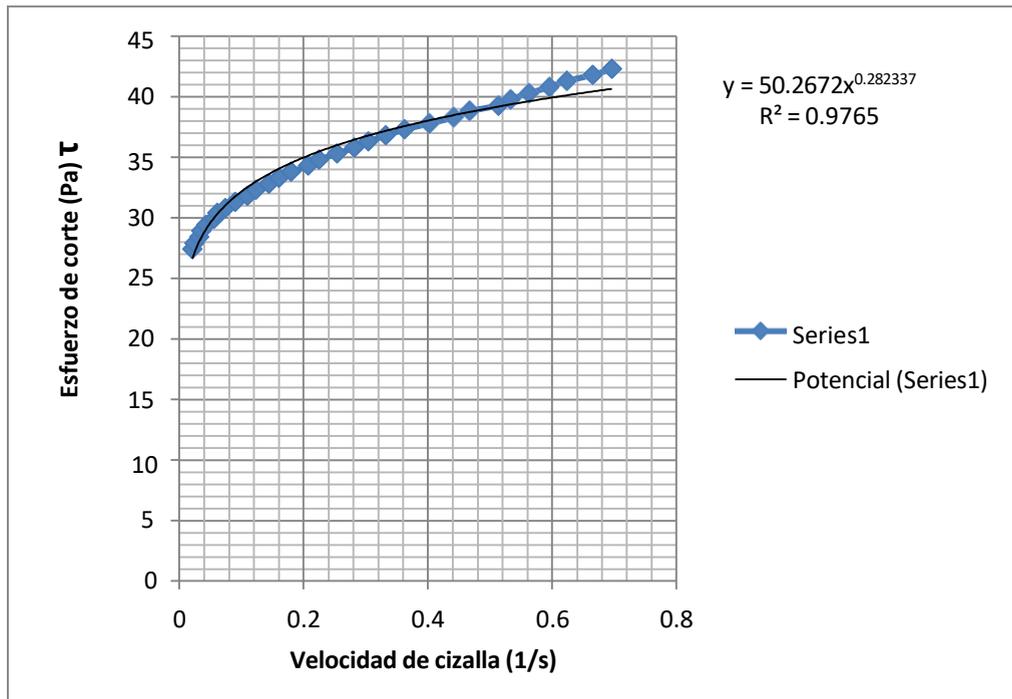
**Figura 10**

*Gráfica del esfuerzo de corte (Pa) y velocidad de corte (1/s) aplicado a lauril éter sulfato de sodio a 0.375% a  $T = 25^\circ\text{C}$*



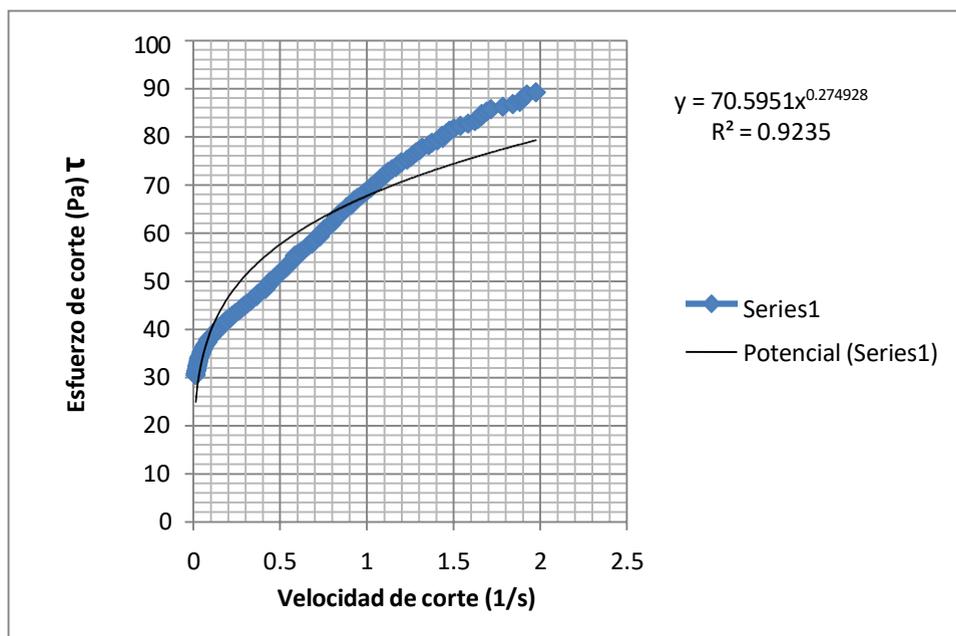
**Figura 11**

Gráfica del esfuerzo de corte (Pa) y velocidad de corte (1/s) aplicado a lauril éter sulfato de sodio a 0.375% a  $T= 35^{\circ}\text{C}$



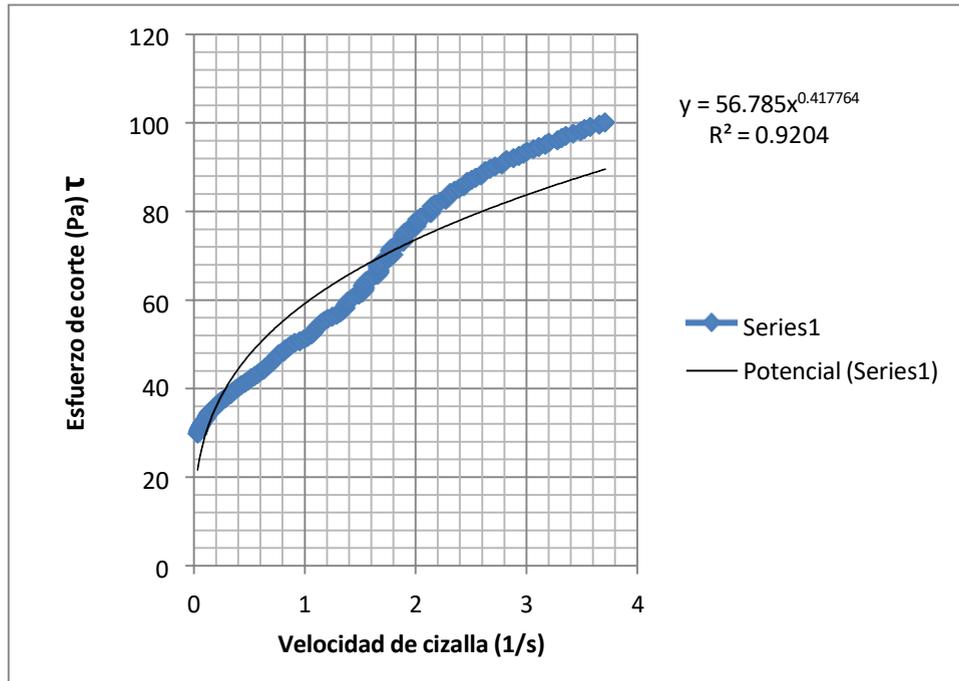
**Figura 12**

Gráfica del esfuerzo de corte (Pa) y velocidad de corte (1/s) aplicado a lauril éter sulfato de sodio a 0.5% a  $T= 25^{\circ}\text{C}$



**Figura 13**

Gráfica del esfuerzo de corte (Pa) y velocidad de corte (1/s) aplicado a lauril éter sulfato de sodio a 0.5% a  $T= 35^{\circ}\text{C}$



## 5.2. Resultados inferenciales

Para los datos obtenidos, se sometieron a un modelado matemático que satisfaga una ecuación que pase por la mayor cantidad de valores.

Debido a que los datos tienen un comportamiento no normal, y al estilo de la curva, se apostó por una ecuación exponencial, característico de los fluidos pseudoplásticos.

Los siguientes datos han sido proporcionados por Minitab para obtener valores más exactos, a un intervalo de confianza del 95%:

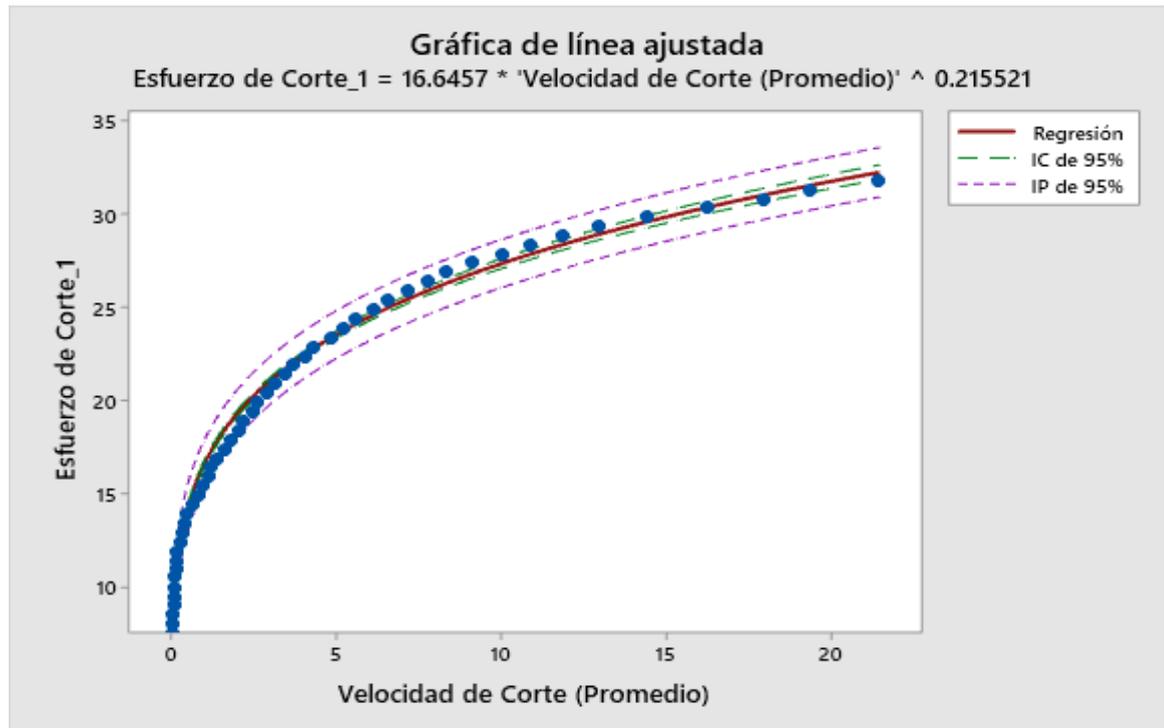
Se iniciaron con los siguientes valores, para su iteración en el software bajo el método de Gauss-Newton:

### Valores iniciales de los parámetros

Parámetro	Valor
Theta1	67.2
Theta2	0.232

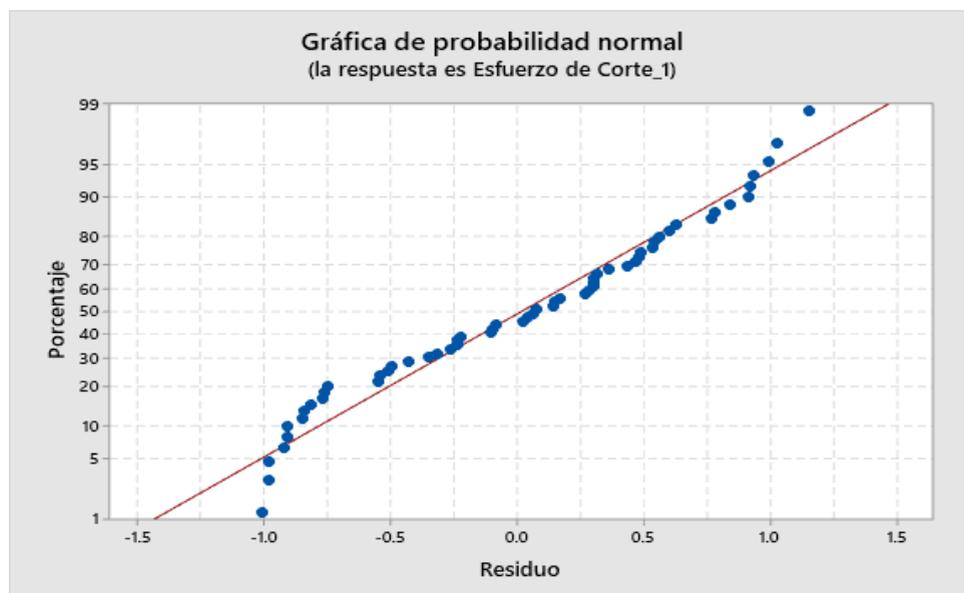
**Figura 14**

*Gráfica y ecuación del esfuerzo de corte (Pa) y velocidad de corte (1/s) aplicado de sal al 0.25% en lauril eter sulfato de sodio a T= 25°C*



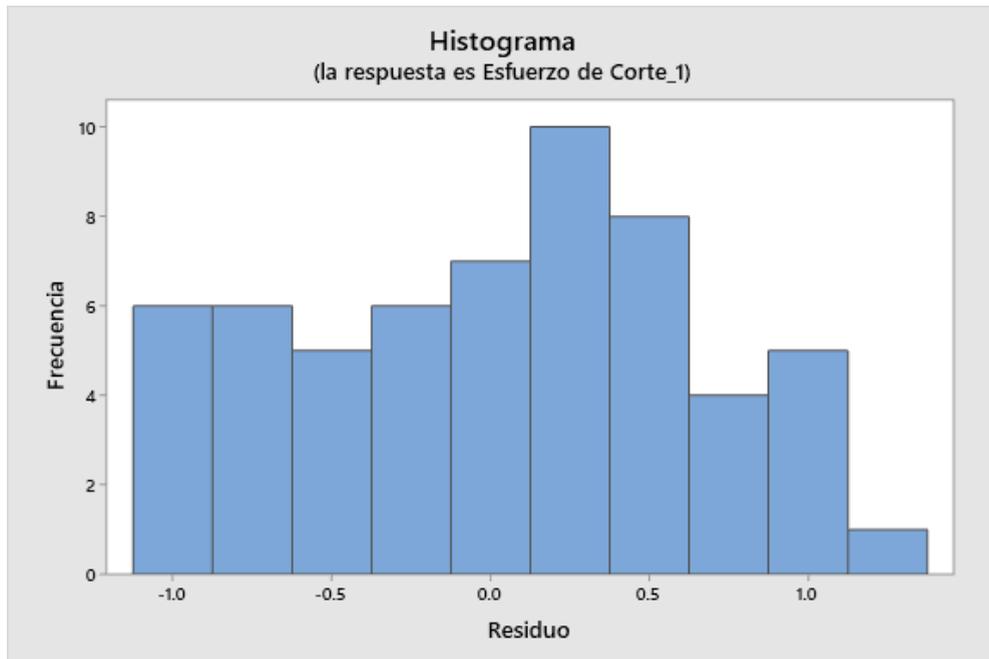
**Figura 15**

*Gráfica de probabilidad normal de sal al 0.25% en lauril eter sulfato de sodio a T= 25°C*



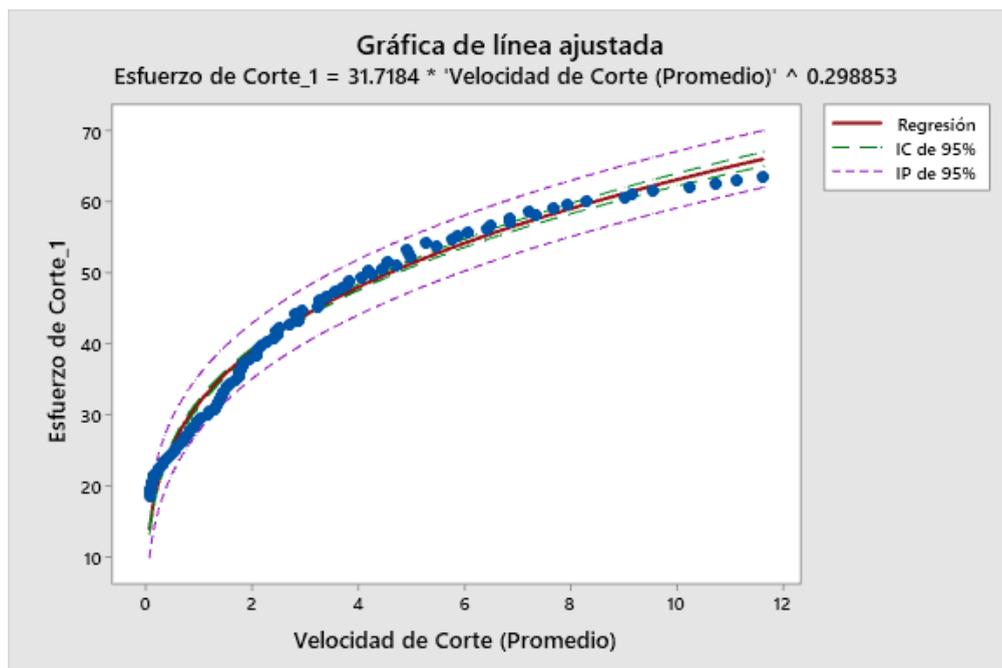
**Figura 16**

*Histograma de sal al 0.25% en lauril eter sulfato de sodio a T= 25°C*



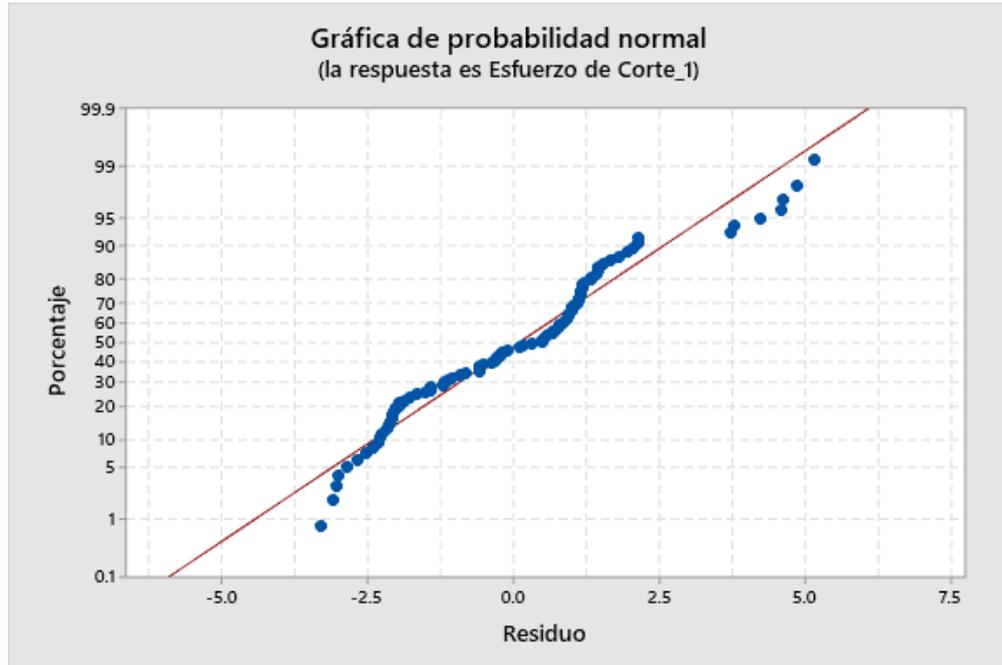
**Figura 17**

*Gráfica y ecuación del esfuerzo de corte (Pa) y velocidad de corte (1/s) aplicado de sal al 0.25% en lauril eter sulfato de sodio a T= 35°C*



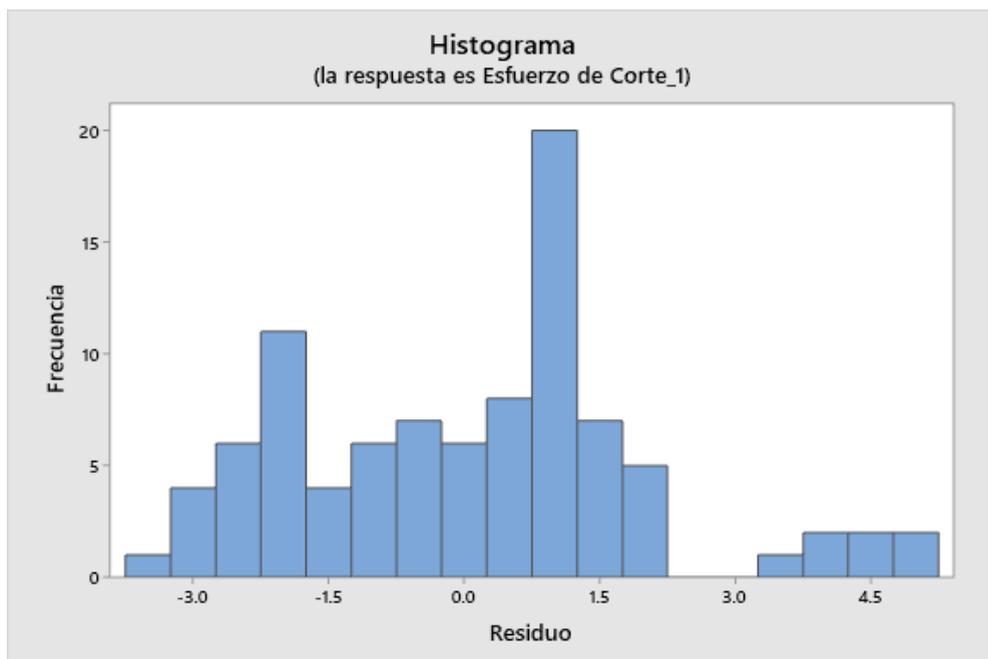
**Figura 18**

*Gráfica de probabilidad normal de sal al 0.25% en lauril eter sulfato de sodio a  $T= 35^{\circ}\text{C}$*



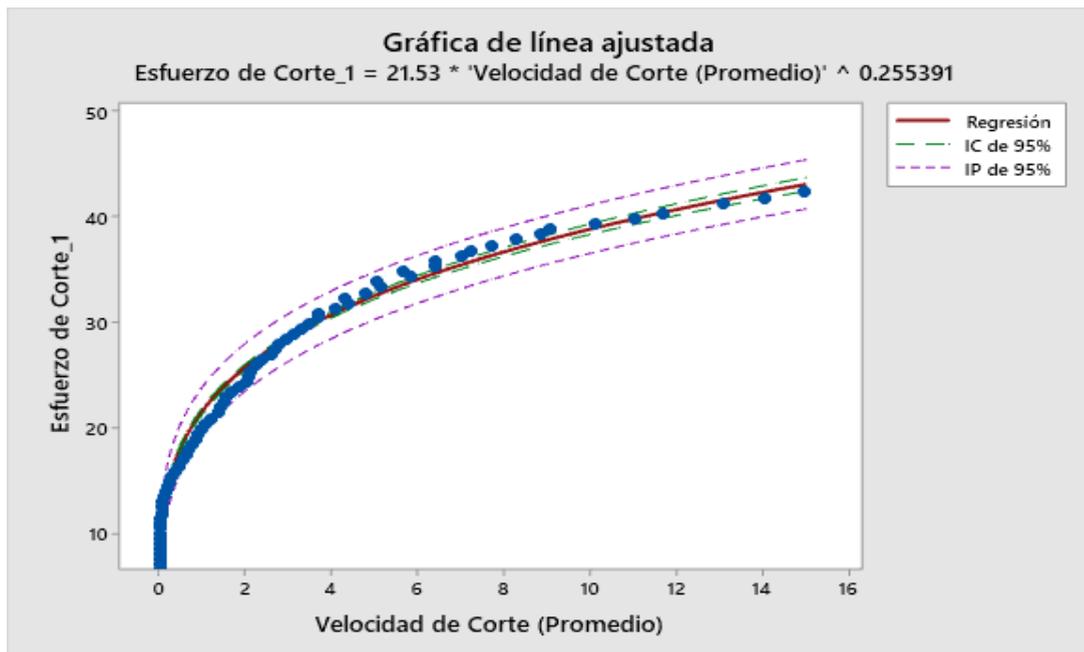
**Figura 19**

*Histograma de sal al 0.25% en lauril eter sulfato de sodio a  $T= 35^{\circ}\text{C}$*



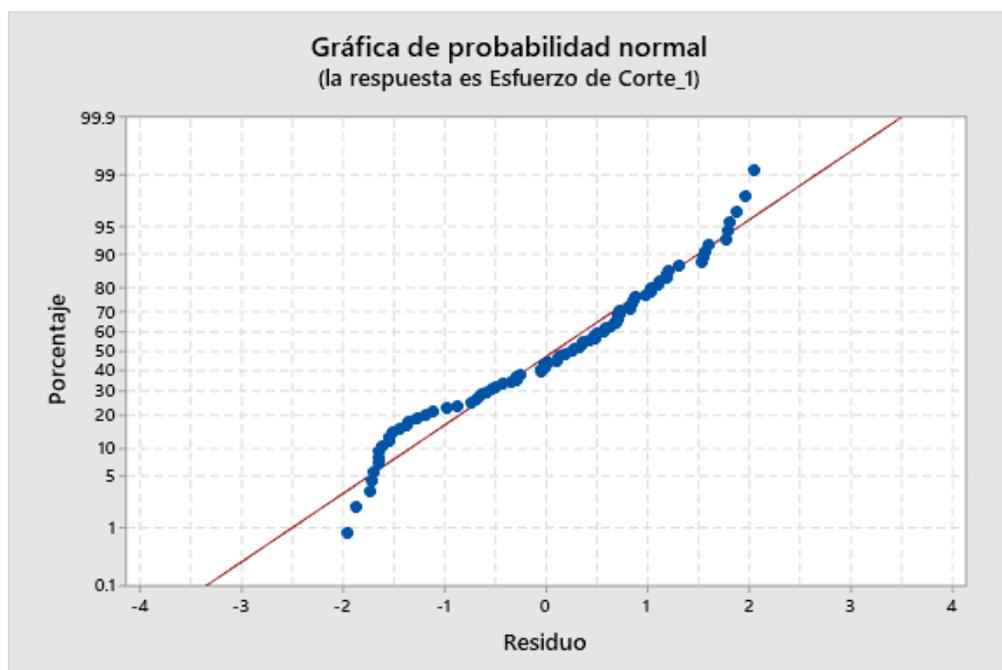
**Figura 20**

Gráfica y ecuación del esfuerzo de corte (Pa) y velocidad de corte (1/s) aplicado de sal al 0.375% en lauril eter sulfato de sodio a  $T=25^{\circ}\text{C}$



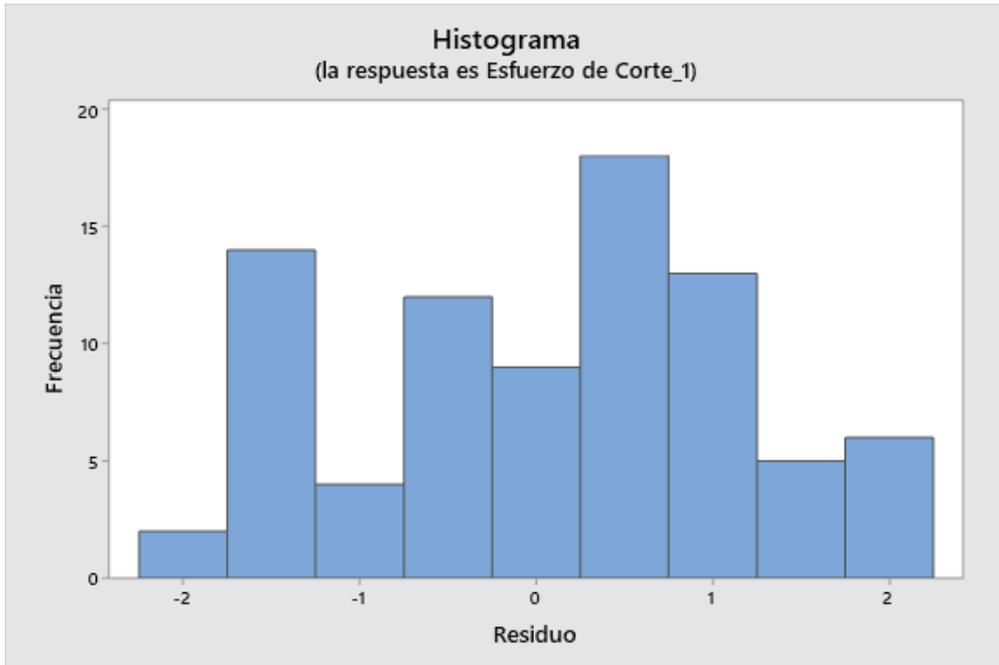
**Figura 21**

Gráfica de probabilidad normal de sal al 0.375% en lauril eter sulfato de sodio a  $T=25^{\circ}\text{C}$



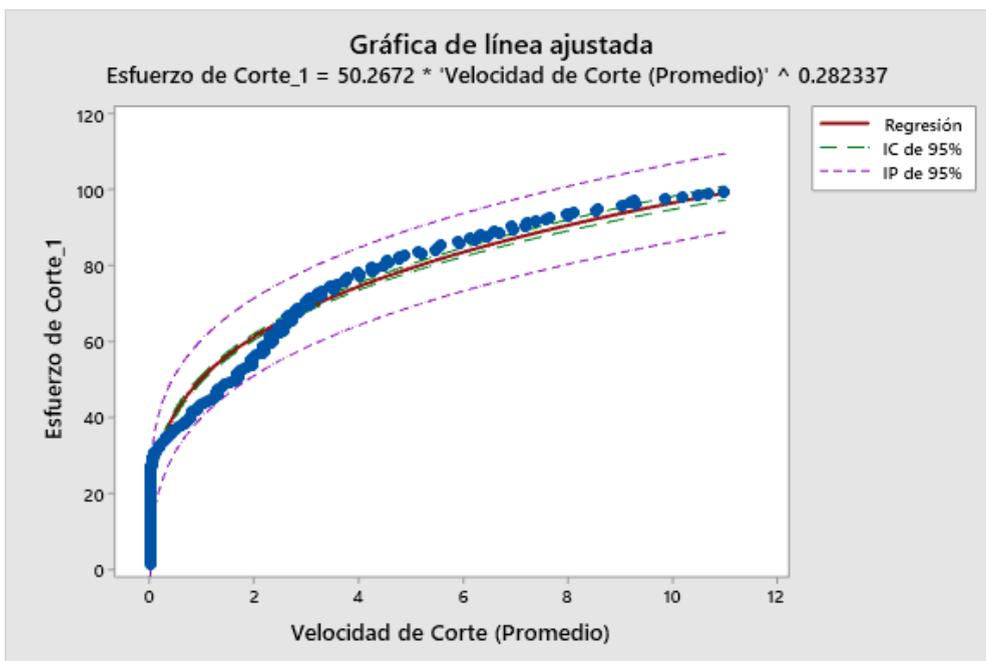
**Figura 22**

*Histograma de sal al 0.375% en lauril eter sulfato de sodio a T= 35°C*



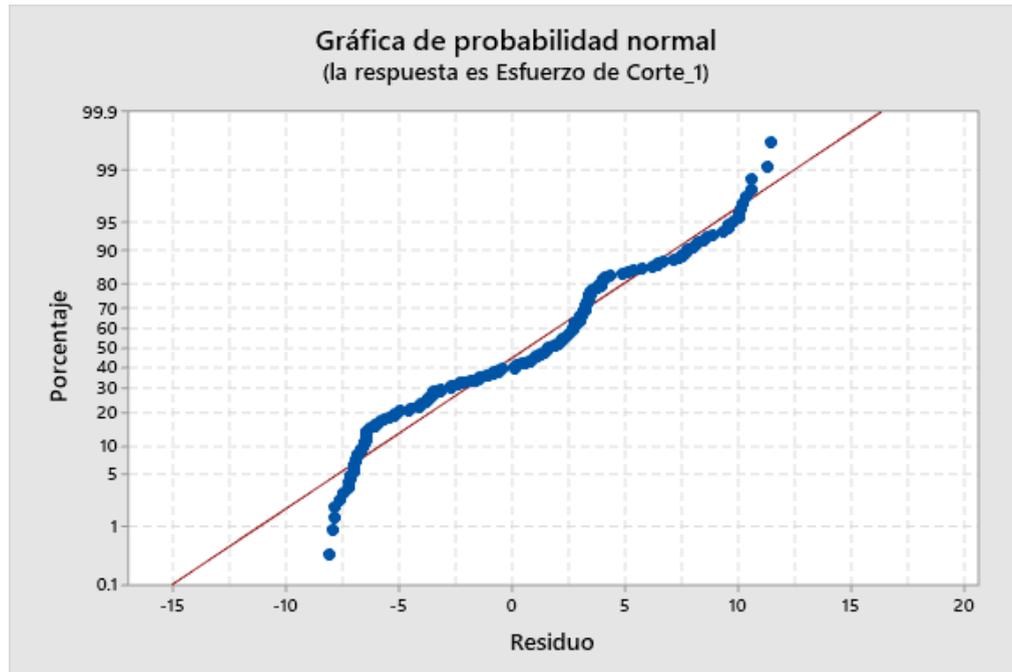
**Figura 23**

*Gráfica y ecuación del esfuerzo de corte (Pa) y velocidad de corte (1/s) aplicado de sal al 0.375% en lauril eter sulfato de sodio a T= 35°C*



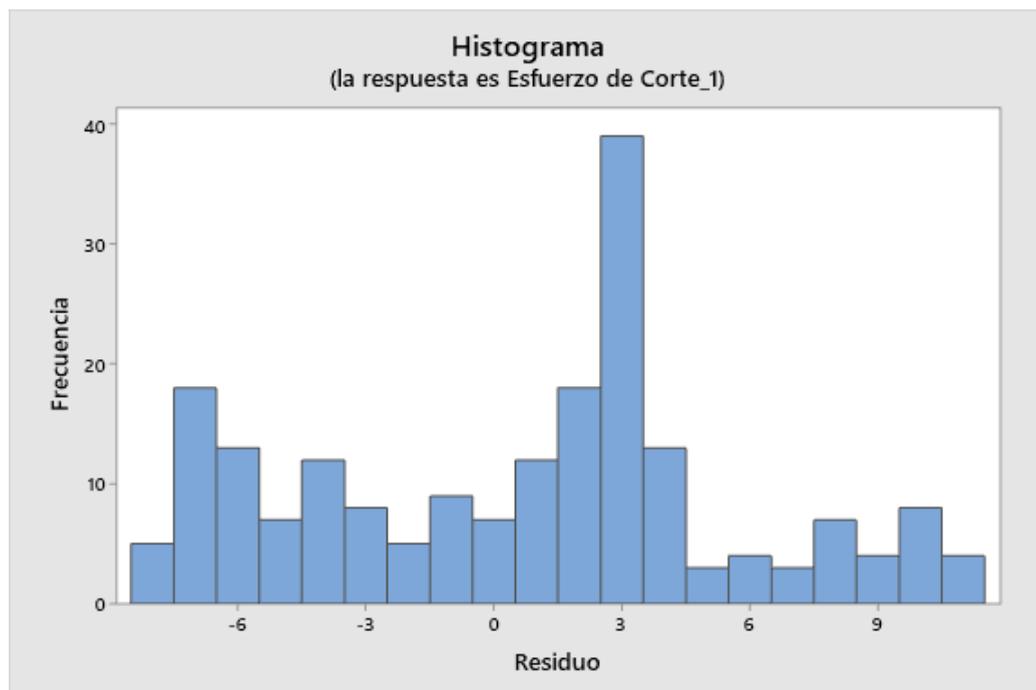
**Figura 24**

*Gráfica de probabilidad normal de sal al 0.375% en lauril eter sulfato de sodio a  $T= 35^{\circ}\text{C}$*



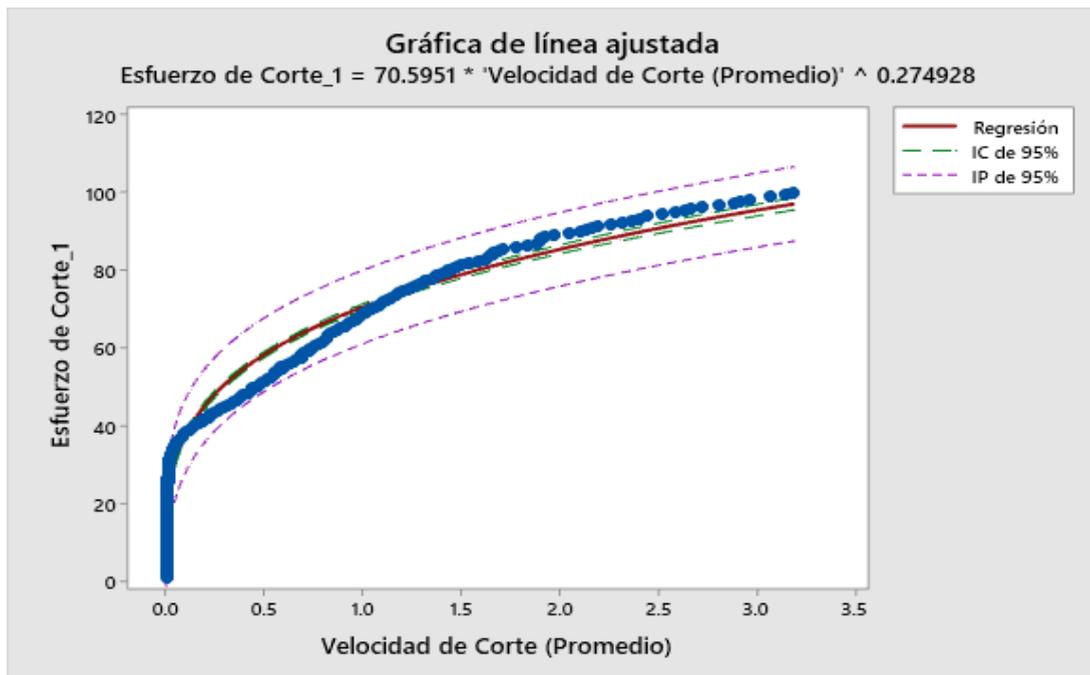
**Figura 25**

*Histograma de sal al 0.375% en lauril eter sulfato de sodio a  $T= 35^{\circ}\text{C}$*



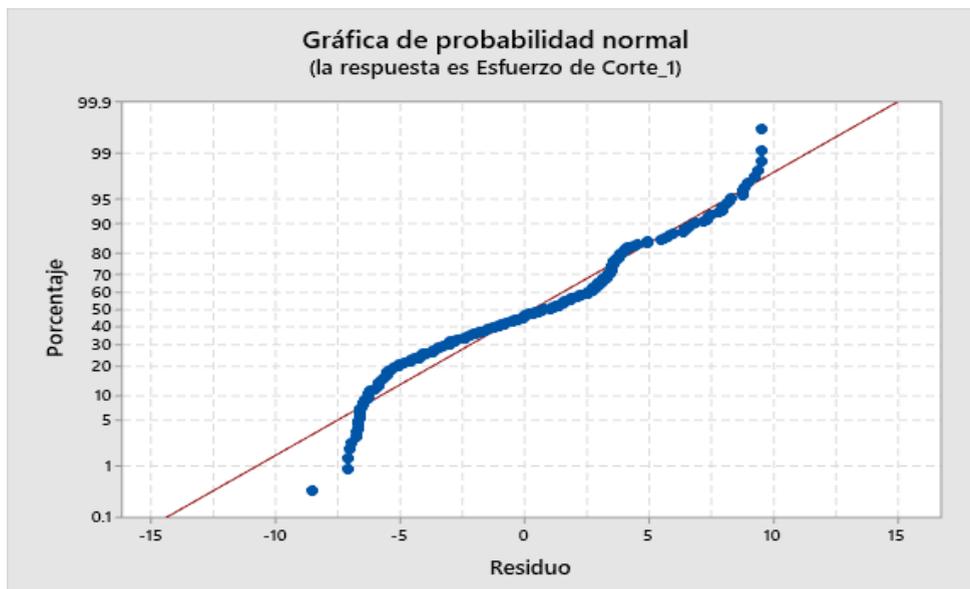
**Figura 26**

Gráfica y ecuación del esfuerzo de corte (Pa) y velocidad de corte (1/s) aplicado de sal al 0.5% en lauril eter sulfato de sodio a  $T= 25^{\circ}\text{C}$



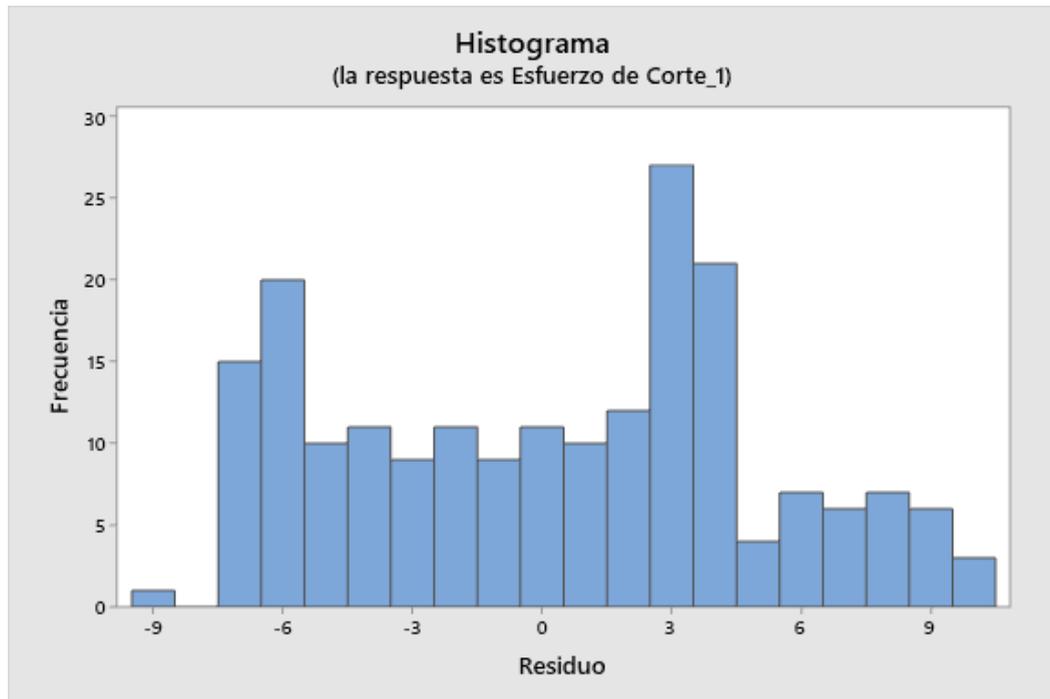
**Figura 27**

Gráfica de probabilidad normal de sal al 0.5% en lauril eter sulfato de sodio a  $T= 25^{\circ}\text{C}$



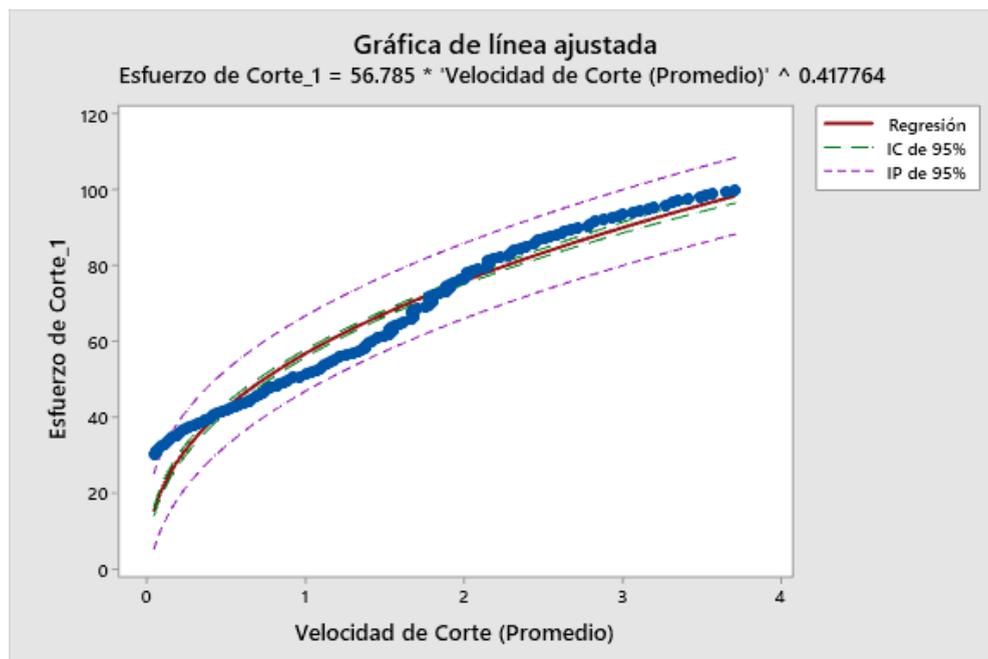
**Figura 28**

*Histograma de sal al 0.5% en lauril eter sulfato de sodio a T= 25°C*



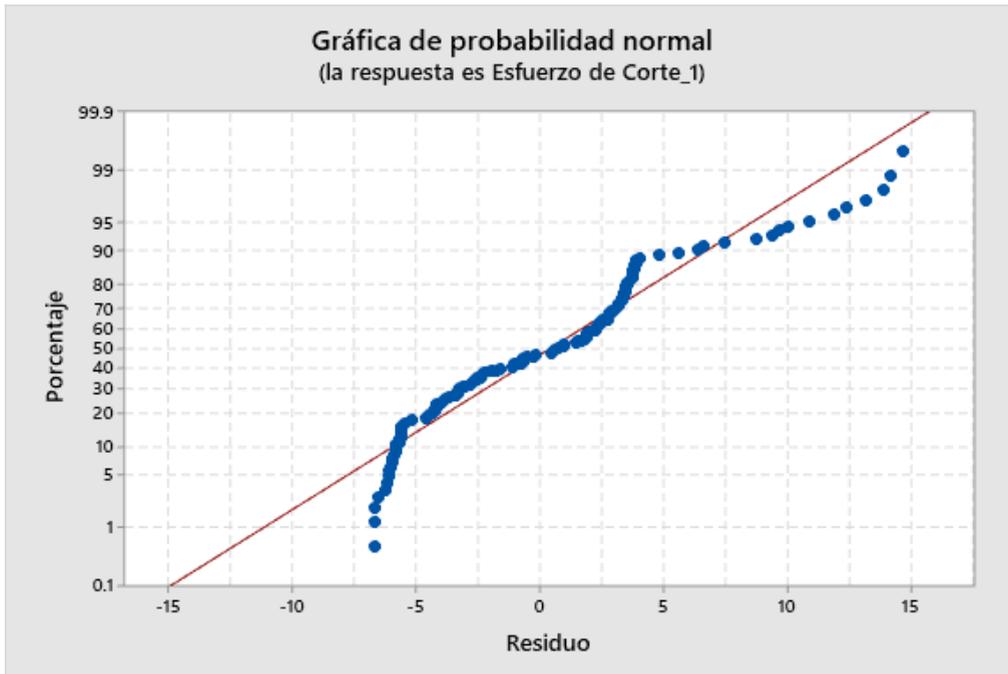
**Figura 29**

*Gráfica y ecuación del esfuerzo de corte (Pa) y velocidad de corte (1/s) aplicado de sal al 0.5% en lauril eter sulfato de sodio a T= 35°C*



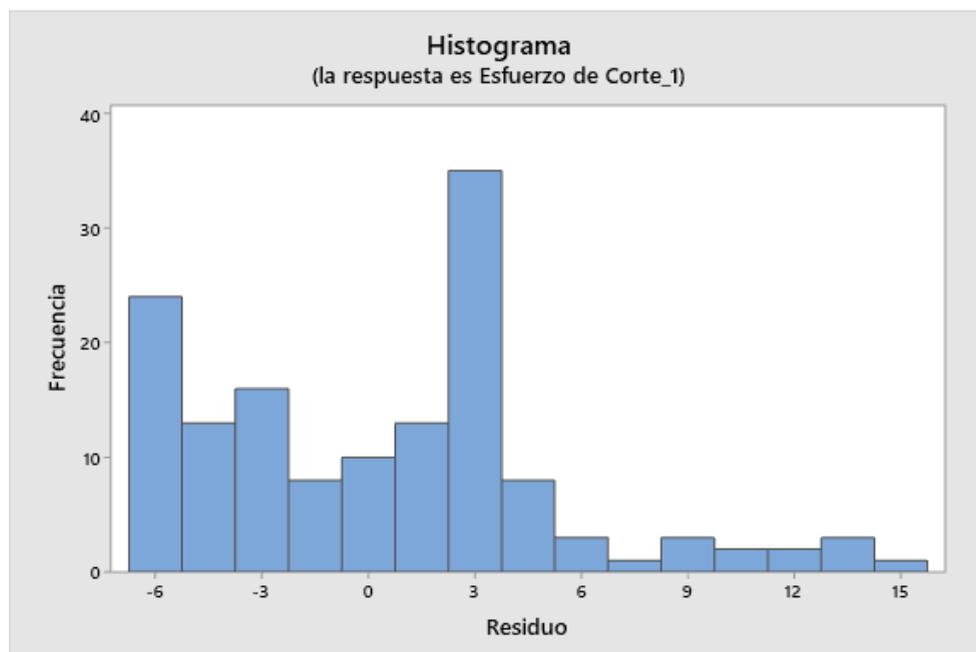
**Figura 30**

*Gráfica de probabilidad normal de sal al 0.5% en lauril eter sulfato de sodio a  $T= 35^{\circ}\text{C}$*



**Figura 31**

*Histograma de sal al 0.5% en lauril eter sulfato de sodio a  $T= 35^{\circ}\text{C}$*



Se puede inferir que, al obtener un coeficiente de determinación es mayor a 0.9, se puede considerar la Ecuación de Oswald de Waele, característico de los fluidos pseudoplásticos,

Se toma la ecuación de Oswald, basados a partir de la ecuación 14:

$$\tau = B * \dot{\gamma}^n \quad \dots (15)$$

Siendo:

B: Índice de consistencia

n: Índice de flujo

Se indica líneas debajo los índices de cada mezcla y temperatura correspondientes, realizada en los ensayos experimentales:

**Tabla 5**

*Constantes de Oswald de Waele para los reogramas de esfuerzo de corte del lauril éter sulfato de sodio a bajas concentraciones de sal*

Concentración de Sal en LESS	0.25		0.375		0.5	
Temperatura	25	35	25	35	25	35
B	16.6457	31.7184	21.53	50.2672	70.5951	56.785
n	0.215521	0.298853	0.255391	0.282337	0.274928	0.417764

- Estimación de la Viscosidad:
- Influencia de la viscosidad con respecto a la temperatura:

Se determinaron los cálculos de la viscosidad (tanto aparente como diferencial) en base al modelo reológico de Oswald de Waele:

$$\mu_{aparente} = B * \dot{\gamma}^{n-1} \dots \dots \dots (13)$$

Se obtiene la siguiente tabla (estimando una concentración constante, para la concentración de 0.25% de sal en lauril éter sulfato de sodio), a partir de

las ecuaciones mencionadas, en las temperaturas de 25 y 35 °C:

**Tabla 6**

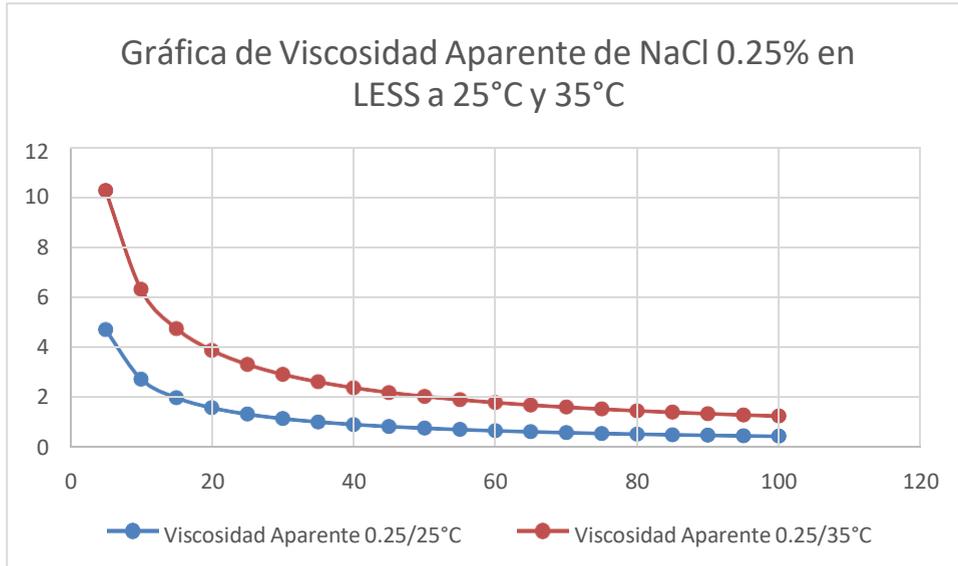
*Viscosidad aparente y viscosidad diferencial de 0.25% de sal en lauril éter sulfato de sodio, a temperaturas de 25 °C y 35 °C*

Velocidad de Corte (1/s)	Viscosidad Aparente 0.25/25°C (Pa.s)	Viscosidad Aparente 0.25/35°C (Pa.s)	Viscosidad Diferencial 0.25/25°C (Pa.s)	Viscosidad Diferencial 0.25/35°C (Pa.s)
5	4.709499696	10.2619655	1.014996084	3.066819174
10	2.734154572	6.311960489	0.589267728	1.886348328
15	1.989221609	4.750052544	0.42871903	1.419567453
20	1.587345091	3.882379573	0.342106201	1.160260783
25	1.332439452	3.320089785	0.287168683	0.992218792
30	1.154865635	2.921676553	0.248897797	0.873151803
35	1.023323878	2.622361708	0.220547785	0.783700663
40	0.92155157	2.387985662	0.198613716	0.713656679
45	0.840217192	2.198701523	0.181084449	0.657088546
50	0.77356315	2.042130774	0.166719104	0.610296908
55	0.717834093	1.91012238	0.154708322	0.570845804
60	0.670470615	1.79707357	0.144500497	0.537060828
65	0.629665076	1.698996603	0.135706047	0.507750232
70	0.594102525	1.612970098	0.12804157	0.482040953
75	0.562802319	1.536801204	0.121295719	0.45927765
80	0.535017433	1.468809377	0.115307492	0.438958089
85	0.510168258	1.407683371	0.109951973	0.420690398
90	0.487797818	1.352383922	0.105130674	0.404163992
95	0.467540705	1.302075895	0.10076484	0.389129287
100	0.449101043	1.256079916	0.096790706	0.375383251

Se obtienen las siguientes gráficas a partir de los datos obtenidos:

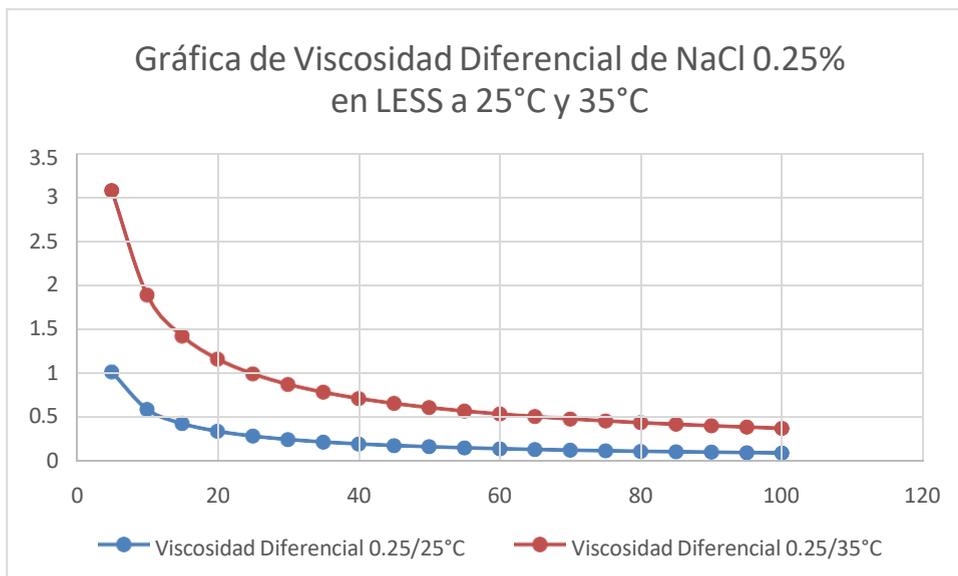
**Figura 32**

*Curvas de viscosidad aparente de sal al 0.25% en lauril éter sulfato de sodio a diferentes temperaturas*



**Figura 33**

*Curva de viscosidad diferencial de sal al 0.25% en lauril éter sulfato de sodio*



Finalmente, se obtiene la energía de activación, en base a la ecuación de Arrhenius para viscosidad:

$$\mu_{aparente} = C e^{E_a/R*T} \dots (18)$$

Convertiremos la ecuación exponencial en una ecuación lineal:

$$\ln(\mu_{aparente}) = \ln(C) + \frac{E_a}{R} * \frac{1}{T} \dots (19)$$

Considerando 1/T como X:

$$Y = mX + b \dots (20)$$

Trabajando con el logaritmo natural de la viscosidad aparente en el eje de ordenadas y 1/T en el eje de abscisas.

Generamos el siguiente cuadro para la generación de la gráfica:

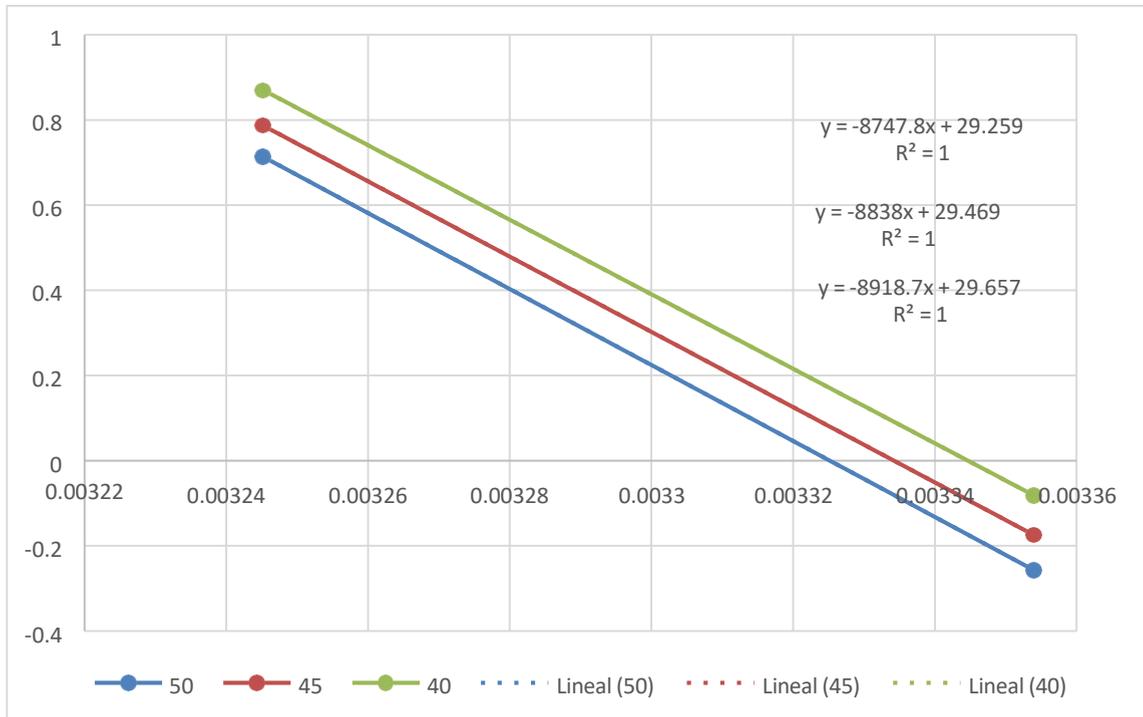
**Tabla 7**

*Logaritmo natural de los valores de viscosidad aparente de 0.25% de sal en lauril éter sulfato de sodio, versus velocidad de corte, a temperaturas de 25 °C y 35 °C*

Velocidad de Corte (1/s)	Ln(Viscosidad Aparente 0.25/25°C) (Pa.s)	Ln(Viscosidad Aparente 0.25/35°C) (Pa.s)
40	-0.08169654	0.870450192
45	-0.174094858	0.787866969
50	-0.25674797	0.71399376
55	-0.331516805	0.647167313
60	-0.399775403	0.586159547
65	-0.462567226	0.530037843
70	-0.520703374	0.478077261
75	-0.574826833	0.429703116
80	-0.625455948	0.384452125
85	-0.67301469	0.341945354
90	-0.717854266	0.301868903
95	-0.760268865	0.263959833
100	-0.800507378	0.227995694

**Figura 34**

*Gráfica de energía de activación de sal al 0.25% en lauril éter sulfato de sodio*



Con la gráfica se obtienen los valores de la pendiente:

Para una velocidad de corte de 40/s: m=-8747.8; b= 29.259

Siendo:

$$E_a = -(-8747.8) * \frac{8.3144}{1000} = 72.73J$$

Para una velocidad de corte de 45/s: m=-8838; b= 29.469

$$E_a = -(-8838) * \frac{8.3144}{1000} = 73.5$$

Para una velocidad de corte de 50/s: m=-8918.7; b= 29.657

$$E_a = -(-8918.7) * \frac{8.3144}{1000} = 74.2$$

Repetimos el paso anterior. Se obtiene la siguiente tabla estimando una concentración constante, para la concentración de 0.375% de sal en lauril éter sulfato de sodio, a partir de las ecuaciones mencionadas, en las temperaturas de 25 y 35 °C:

**Tabla 8**

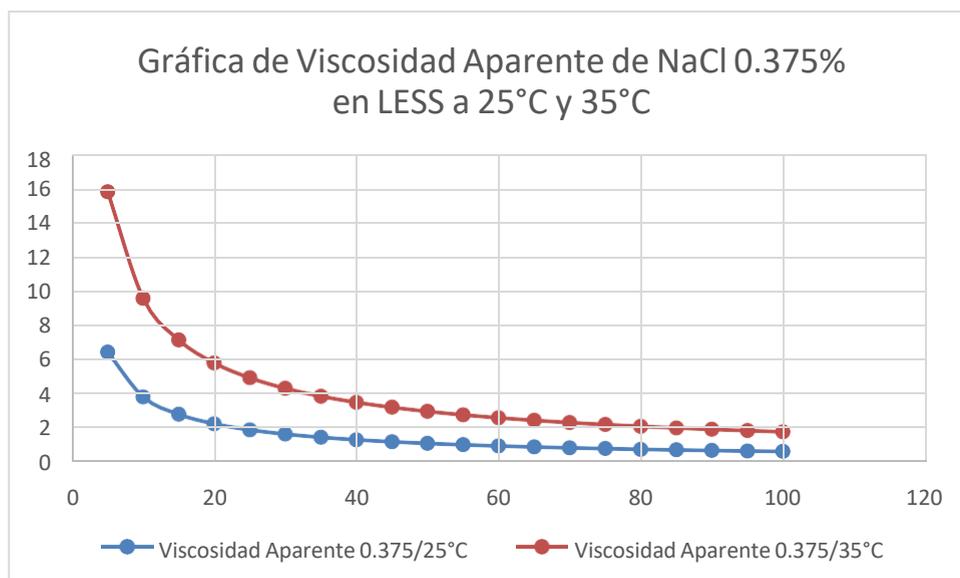
*Viscosidad aparente y viscosidad diferencial de 0.375% de sal en lauril éter sulfato de sodio, a temperaturas de 25 °C y 35 °C*

Velocidad de Corte (1/s)	Viscosidad Aparente 0.375/25°C (Pa.s)	Viscosidad Aparente 0.375/35°C (Pa.s)	Viscosidad Diferencial 0.375/25°C (Pa.s)	Viscosidad Diferencial 0.375/35°C (Pa.s)
5	6.49508253	15.8365211	1.65878562	4.47123587
10	3.87645753	9.62989817	0.99001236	2.71887656
15	2.86626205	7.19859124	0.73201753	2.03242865
20	2.31358461	5.85576453	0.59086869	1.65329899
25	1.95940999	4.9892455	0.50041568	1.40864861
30	1.71067004	4.37733136	0.43688973	1.2358826
35	1.52516583	3.91890007	0.38951363	1.10645049
40	1.38081578	3.56078306	0.35264792	1.00534081
45	1.26487356	3.27216536	0.32303732	0.92385335
50	1.16943389	3.03386872	0.29866289	0.85657339
55	1.08931707	2.83328842	0.27820178	0.79994215
60	1.02097852	2.66177495	0.26074873	0.75151755
65	0.96190554	2.51318151	0.24566202	0.70956413
70	0.91026412	2.38301129	0.23247326	0.67281226
75	0.86468224	2.26789322	0.22083206	0.64031017
80	0.82411173	2.1652469	0.21047072	0.61132931
85	0.78773716	2.07306119	0.20118098	0.58530188
90	0.75491398	1.98974377	0.19279824	0.56177829
95	0.72512559	1.91401633	0.18519055	0.54039763
100	0.69795276	1.84483995	0.17825085	0.52086658

Se obtienen las siguientes gráficas a partir de los datos obtenidos:

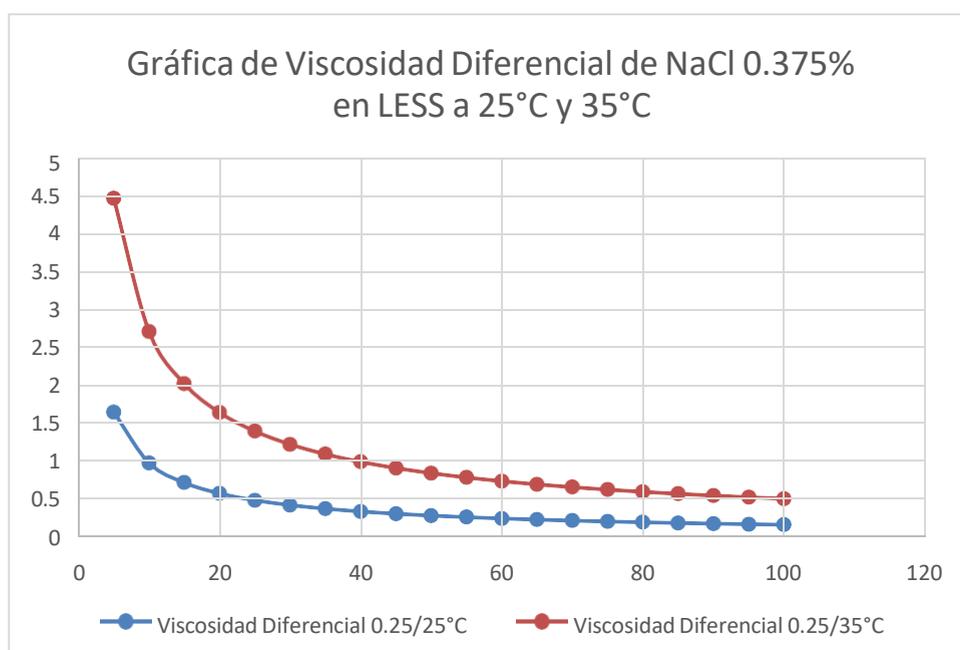
**Figura 35**

*Curva de viscosidad aparente de sal al 0.375% en lauril éter sulfato de sodio*



**Figura 36**

*Curva de viscosidad diferencial de sal al 0.375% en lauril éter sulfato de sodio*



Finalmente, se obtiene la energía de activación, en base a la ecuación de Arrhenius para viscosidad (18, 19 y 20):

Trabajando con el logaritmo natural de la viscosidad aparente en el eje de ordenadas y  $1/T$  en el eje de abscisas

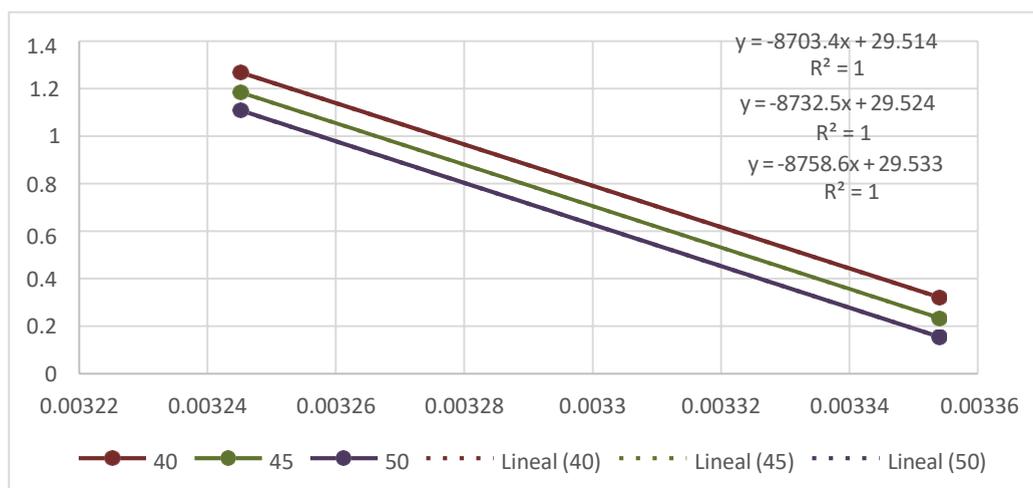
**Tabla 9**

Logaritmo natural de los valores de viscosidad aparente de 0.375% de sal en lauril éter sulfato de sodio, versus velocidad de corte, a temperaturas de 25 °C y 35 °C

Velocidad de Corte (1/s)	Ln(Viscosidad Aparente 0.375/25°C) (Pa.s)	Ln(Viscosidad Aparente 0.375/35°C) (Pa.s)
40	0.32267447	1.26998048
45	0.23497216	1.18545195
50	0.15651977	1.10983861
55	0.08555096	1.04143802
60	0.0207615	0.97899318
65	-0.03883902	0.92154949
70	-0.09402048	0.86836494
75	-0.1453932	0.8188513
80	-0.19344916	0.7725344
85	-0.2385908	0.72902635
90	-0.28115147	0.68800587
95	-0.32141041	0.64920383
100	-0.35960386	0.61239253

**Figura 37**

Gráfica de energía de activación de sal al 0.25% en lauril éter sulfato de sodio



Con la gráfica se obtienen los valores de la pendiente:

Para una velocidad de corte de 40/s:  $m=-8703.4$ ;  $b= 29.514$

Siendo:

$$E_a = -(-8703.4) * \frac{8.3144}{1000} = 72.36J$$

Para una velocidad de corte de 45/s:  $m=-8732.5$ ;  $b= 29.524$

$$E_a = -(-8732.5) * \frac{8.3144}{1000} = \cancel{72}$$

Para una velocidad de corte de 50/s:  $m=-8758.6$ ;  $b= 29.533$

$$E_a = -(-8758.6) * \frac{8.3144}{1000} = \cancel{72}$$

Por último, se obtiene la siguiente tabla estimando una concentración constante, para la concentración de 0.5% de sal en lauril éter sulfato de sodio, a partir de las ecuaciones mencionadas, en las temperaturas de 25 y 35 °C:

**Tabla 10**

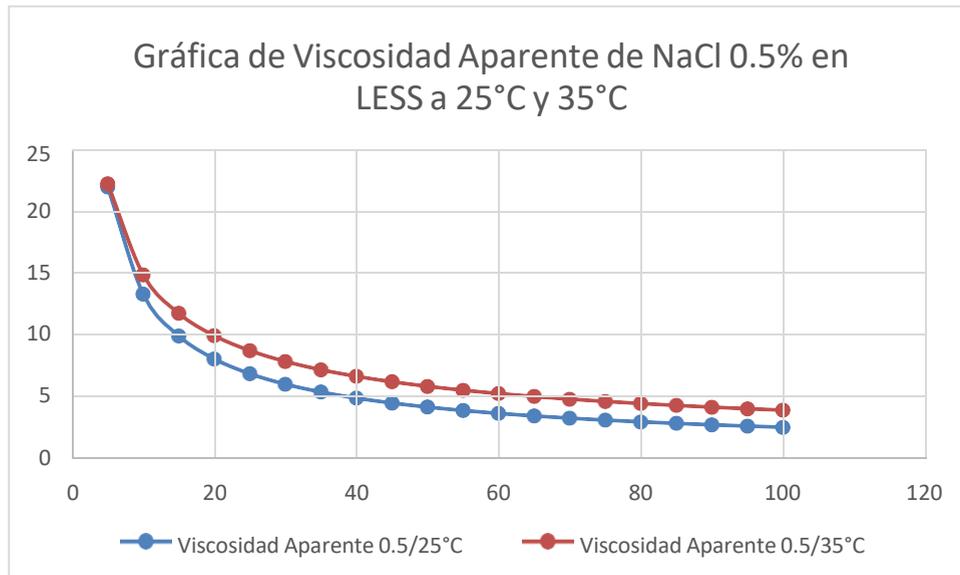
*Viscosidad aparente y viscosidad diferencial de 0.5% de sal en lauril éter sulfato de sodio, a temperaturas de 25 °C y 35 °C*

Velocidad de Corte (1/s)	Viscosidad Aparente 0.5/25°C (Pa.s)	Viscosidad Aparente 0.5/35°C (Pa.s)	Viscosidad Diferencial 0.5/25°C (Pa.s)	Viscosidad Diferencial 0.5/35°C (Pa.s)
5	21.9771301	22.2468297	6.04212842	9.29392457
10	13.2954352	14.8592753	3.65528741	6.2076703
15	9.90886055	11.7346721	2.72422321	4.90232357
20	8.04329758	9.92492262	2.21132772	4.14627537
25	6.84175313	8.71570719	1.88098951	3.6411087
30	5.99453217	7.83791337	1.64806474	3.27439804
35	5.36060803	7.16508964	1.47378124	2.99331651
40	4.86592842	6.62913142	1.33777997	2.76941246
45	4.46762234	6.1897597	1.22827447	2.58585877
50	4.13903386	5.82146285	1.1379363	2.43199761
55	3.86265839	5.50721231	1.06195295	2.30071504
60	3.62649326	5.23515999	0.99702454	2.18706138
65	3.42201449	4.99677977	0.9408076	2.08747471
70	3.24299017	4.78576234	0.8915888	1.99931922
75	3.08475117	4.59732769	0.84808447	1.920598
80	2.9437254	4.42778096	0.80931254	1.84976749
85	2.81713019	4.27421607	0.77450797	1.7856136
90	2.70276342	4.13431238	0.74306534	1.72716688
95	2.59885798	4.0061919	0.71449883	1.67364275
100	2.50397828	3.8883167	0.68841374	1.62439874

Se obtienen las siguientes gráficas a partir de los datos obtenidos:

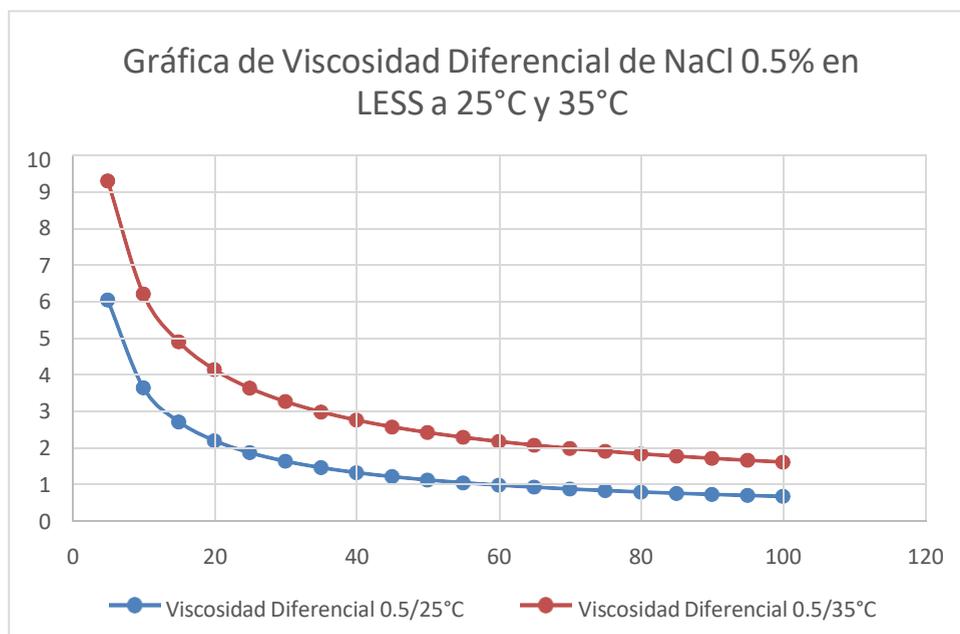
**Figura 38**

*Curva de viscosidad aparente de sal al 0.5% en lauril éter sulfato de sodio*



**Figura 39**

*Curva de viscosidad diferencial de sal al 0.5% en lauril éter sulfato de sodio*

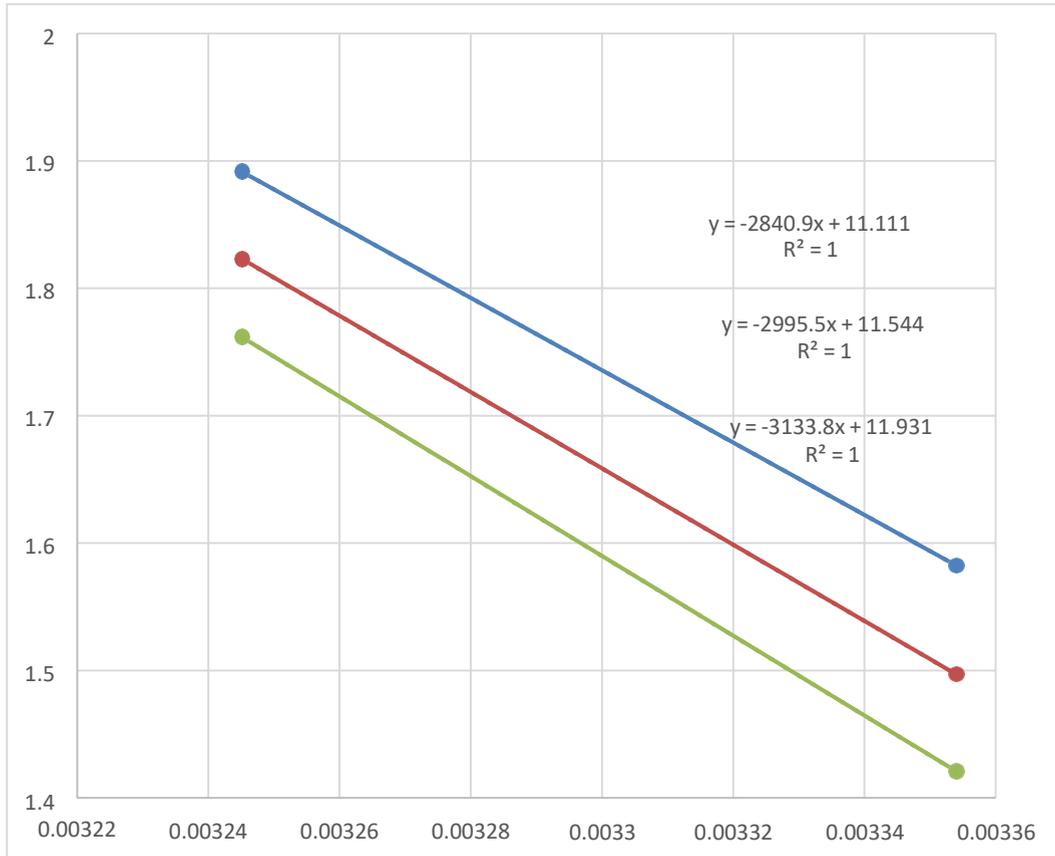


Finalmente, se obtiene la energía de activación, en base a la ecuación de Arrhenius para viscosidad (18, 19 y 20).

Generamos el siguiente cuadro para la generación de la gráfica

**Figura 40**

*Gráfica de energía de activación de sal al 0.5% en lauril éter sulfato de sodio*



Con la gráfica se obtienen los valores de la pendiente:

Para una velocidad de corte de 40/s:  $m=-2840.9$ ;  $b= 11.111$

Siendo:

$$E_a = -(-2840.9) * \frac{8.3144}{1000} = 23.61J \dots \dots \dots (29)$$

Para una velocidad de corte de 45/s:  $m=-2995.5$ ;  $b= 11.544$

$$E_a = -(-2995.5) * \frac{8.3144}{1000} = 24.91J \dots \dots \dots (30)$$

Para una velocidad de corte de 50/s:  $m=-3133.8$ ;  $b= 11.931$

$$E_a = -(-3133.8) * \frac{8.3144}{1000} = 26.06J \dots \dots \dots (31)$$

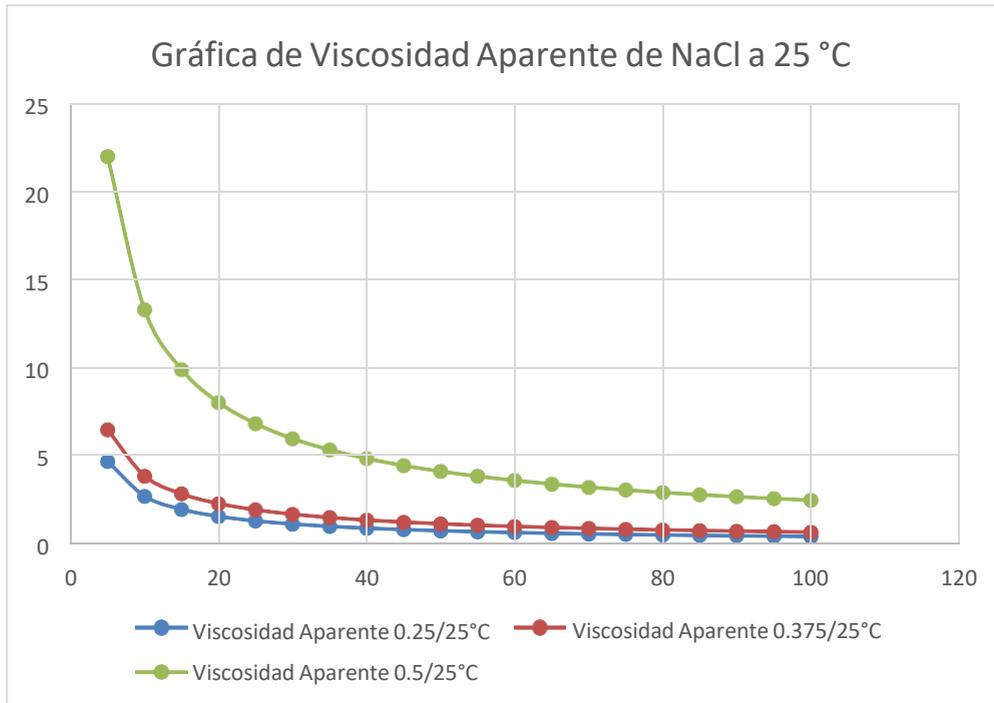
**- Influencia de la viscosidad con respecto a la concentración:**

Se presentan los reogramas isoterma (para 25 °C y 35°C), para la

evaluación de la viscosidad con respecto al aumento de la sal en LESS:

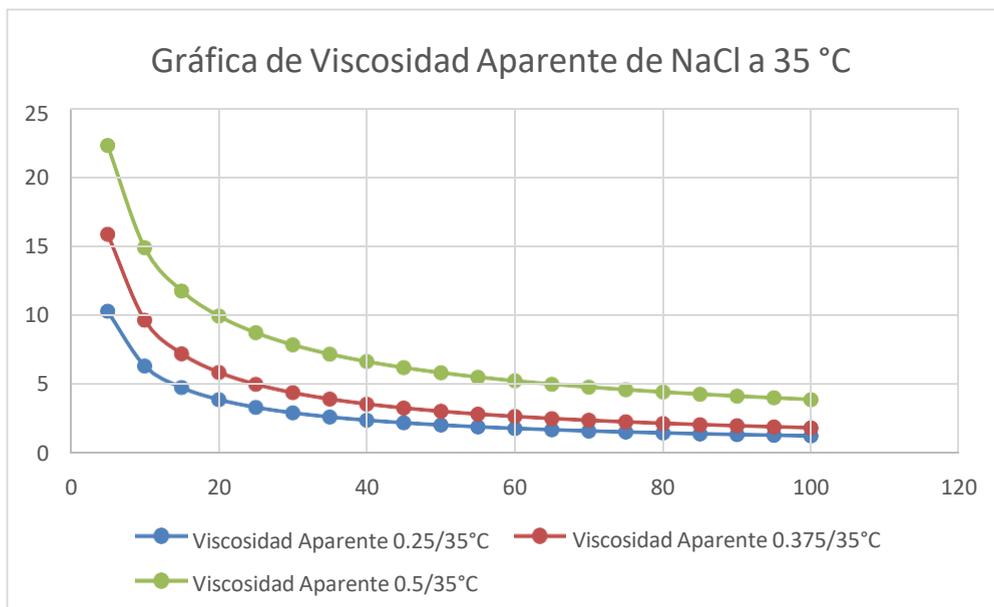
**Figura 41**

*Curvas de viscosidad aparente de sal a 25 °C a diferentes concentraciones de sal en lauril éter sulfato de sodio*



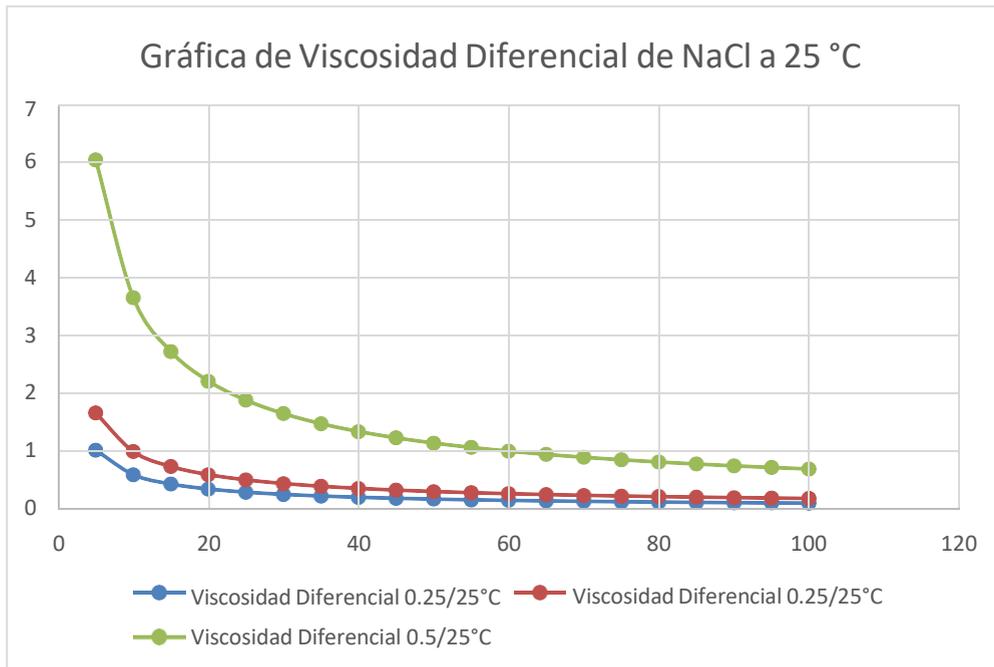
**Figura 42**

*Curvas de viscosidad aparente de sal a 35 °C a diferentes concentraciones de sal en lauril éter sulfato de sodio*



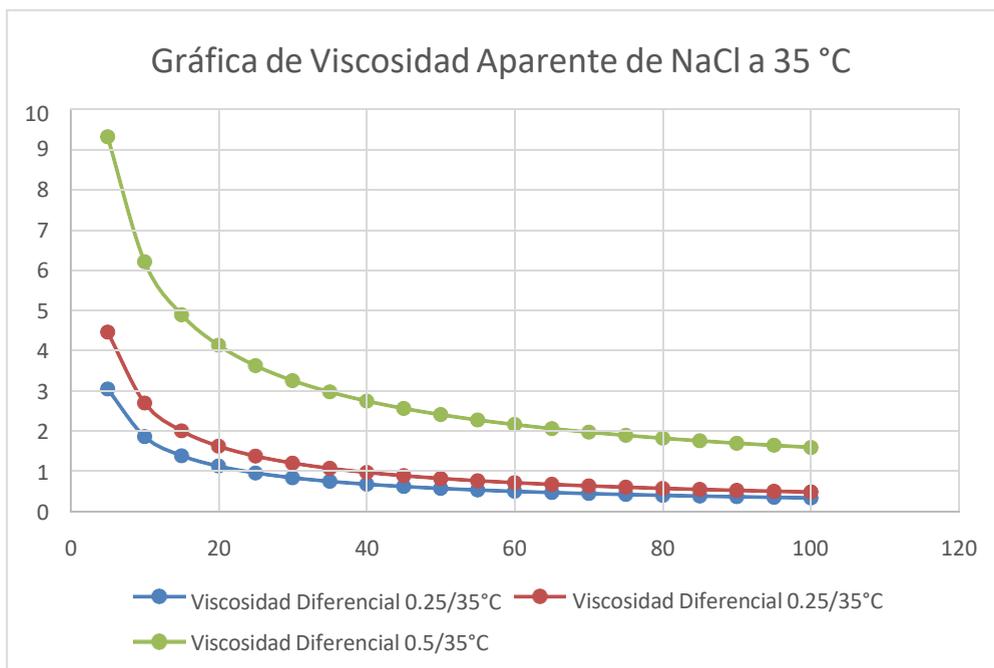
**Figura 43**

Curvas de viscosidad diferencial de sal a 25 °C a diferentes concentraciones de sal en lauril éter sulfato de sodio



**Figura 44**

Curvas de viscosidad diferencial de sal a 35 °C a diferentes concentraciones de sal en lauril éter sulfato de sodio



## **VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

### **6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados.**

Hipótesis general: El comportamiento reológico del lauril éter sulfato de sodio al 70% en bajas concentraciones de sal es pseudoplástico.

Los resultados obtenidos en los ensayos experimentales permiten confirmar nuestra hipótesis.

Siendo específicos, bajo los ensayos obtenidos hasta el cierre de este proyecto, se demuestra que los reogramas generados en base a los datos experimentales obtenidos tienden a un comportamiento exponencial, bajo la ecuación de Oswald de Waele, la cual cumple una vez realizado el modelado, manteniendo un coeficiente de determinación mayor a 0.9 y con un intervalo de confianza del 95%.

Hipótesis específica: El esfuerzo de corte del lauril éter sulfato de sodio al 70% en presencia de bajas concentraciones de sal tiene una relación directa - no lineal.

Los resultados obtenidos en los ensayos experimentales permiten confirmar esta hipótesis específica.

Hipótesis específica: La viscosidad del lauril éter sulfato de sodio al 70%, disminuye a medida que la temperatura y concentración de sal aumentan

En base a los ensayos experimentales, gráficas y modelos matemáticos, observamos que la viscosidad del lauril éter sulfato de sodio al 70% en bajas concentraciones de sal sigue la ecuación de Arrhenius, y que aumenta con respecto al aumento de la temperatura.

Así también, se observa que el aumento de concentración de sal en el lauril éter sulfato de sodio hace que la mezcla aumente su viscosidad.

### **6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares.**

En contraste con los estudios adjuntados en este trabajo de investigación, los resultados de Pojják, K. Bertalanits, E., Mészáros, R., confirman que la sal influencia en el comportamiento de un tensoactivo, aumentando el esfuerzo

cortante (Y por ende, disminuyendo la viscosidad) conforme aumenta la concentración de sal en el lauril éter sulfato de sodio al 70% (5).

Calero, N. y Ortega, indicaban que el comportamiento de sustancias tensoactivas debe tener un comportamiento pseudoplástico, lo cual se ha visto reflejado en los ensayos experimentales (7) (6).

### **6.3. Responsabilidad de ética de acuerdo con los reglamentos vigentes.**

Los autores de la tesis se responsabilizan por la originalidad del trabajo, reconociendo el aporte de autores de los antecedentes y otras fuentes de información realizando las citas y referencias bibliográficas, que dan los créditos a los autores. El trabajo se desarrolló de forma ética sin dañar a personas, preservando el medio ambiente.

## VII. CONCLUSIONES

En los reogramas mostrados en esta tesis se puede concluir que el lauril éter sulfato de sodio al 70% sigue un comportamiento pseudoplástico, característico de los tensos activos, aun así, se adicione un compuesto como sal a distinta concentración.

La energía de activación del lauril éter sulfato de sodio a 0.25% y 0.375% de sal son muy similares, con un valor promedio de 73 J/mol. Sin embargo, se observa una disminución a un valor de 26 J/mol para el lauril éter sulfato de sodio a 0.5%

Se concluye que la sal y la temperatura influyen en la viscosidad del lauril éter sulfato de sodio al 70%, aumentando su viscosidad conforme se incrementa la concentración de sal o temperatura del medio.

## VIII. RECOMENDACIONES

Experimentar con muestras de lauril éter de sulfato de sodio al 70% a distintas temperaturas para observar las variaciones del índice de consistencia y de flujo y modelar usando la ecuación del tipo Arrhenius.

Evitar trabajar con mezclas de diferentes concentraciones sin antes haber realizado la limpieza de los accesorios del equipo Rheolab QC.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1]. ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD. *Interim recommendations on obligatory hand hygiene against transmission of COVID-19*. Ginebra : s.n., 2020.
- [2]. JIMENEZ, J. *Impacto de la pandemia en las cadenas globales de valor [Trabajo fin de grado]*. Universidad Politécnica de Cartagena. 2022.
- [3]. 1000IDEASDENEGOCIOS.COM. [En línea]  
<https://www.1000ideasdenegocios.com/2014/07/guia-para-iniciar-un-negocio-fabricacion-productos-limpieza.html>.
- [4]. KANTAR. [En línea] 2021. <https://www.kantar.com/latin-america/inspiracion/retail/omnichannel-segunda-edicion>.
- [5]. POJJÁK, K., BERTALANITS, E. y MÉSZÁROS, R. *Effect of salt on the equilibrium and nonequilibrium features of polyelectrolyte/ surfactant association*. s.l. : Langmuir, 2011. 07437463.
- [6]. ORTEGA, M. *Comportamiento reológico de disoluciones acuosas de surfactantes comerciales no iónicos*. Universidad de Granada. Granada : s.n., 2009. [Tesis doctoral para optar el grado de Doctor en Ciencias y Tecnología de Medio Ambiente].
- [7]. CALERO, N. *Estudio reológico de formulaciones con tensoactivos catiónicos comerciales*. Universidad de Sevilla. Sevilla : s.n., 2017.
- [8]. HILGERT, E. *Formulación y manufactura de productos para la higiene personal y cosmética*. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima : s.n., 2012. [Tesis para optar el título de Licenciado en Química].
- [9]. LLOCLLA, T. *Modelos matemáticos de flujo no newtoniano que caracterizan muestras de shampoo para cabello*. Universidad Nacional del Callao. Callao : s.n., 2017. [Informe para optar grado de Ingeniero Químico].
- [10]. CARRASCO, L. *Fenómenos de transporte - Aplicación con métodos numéricos*. Lima : MACRO E.I.R.L., 2011. pág. 607. 9786123040109.
- [11]. BARNES, H., HUTTON, J. y WALTERS, K. *An introduction to rheology*.

- Ámsterdam : Elsevier Science B.V., 1989. 0444871403.
- [12]. MAESTRO, A. *Reología de espesantes celulósicos para pinturas al agua: modelización y mecanismo de espesamiento asociativo*. Universitat de Barcelona. Barcelona : s.n., 2003. [Tesis doctoral].
- [13]. GOODWIN, J. *Rheology for Chemists - An Introduction*. Cambridge : s.n., 2000. 0854048391.
- [14]. GIL, J. *Evaluación de modificadores reológicos en una formulación de shampoo como alternativa al uso de cloruro de sodio*. Universidad Politécnica Salesiana. 2018. [Proyecto de investigación y desarrollo previo a la obtención del Grado de magíster en Ciencias y Tecnologías cosméticas].
- [15]. GARCIA, R. y LUQUE, L. *Caracterización reológica del látex de la sangre de grado(crotón lechleri) en flujo de corte*. Universidad Nacional del Callao. Callao : s.n., 2022. [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Químico].
- [16]. SALAGER, J. *Surfactantes: Tipos y usos*. 2da. Universidad de los Andes : Mérida, 2002.
- [17]. DELEU, M. y PAQUOT, M. *From renewable vegetables resources to microorganisms: new trends in surfactants*. s.l. : Comptes Rendus Chimie, 2004. 16310748.
- [18]. BERJANO. *Temperature dependence of viscosity for sucrose laurate/ water micellar systems*. s.l. : Colloid Polym Sci., 1993. 14351536.
- [19]. HOFFMANN, B. y PLATZ, G. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*. 2001.
- [20]. ROMANOWSKI, P. y SCHUELLER, R. *Beginning cosmetic chemistry: Practical knowledge for the cosmetic industry*. s.l. : Illinois: Allured Business Media, 2009. 9781932633535.
- [21]. BUNGE, M. *La investigación científica, su estrategia y su filosofía*. 3era. Barcelona : Siglo XXI Editores S.A., 1969. 9682322251.
- [22]. HERNANDEZ, R. *Metodología de la Investigación*. 6ta. Mexico : Interamericana Editores S.A., 2017. 9781456223960.

- [23]. SOBRADO, A. *Modelos reológicos asociados al néctar mix papaya-piña*. Universidad Nacional del Callao. Callao : s.n., 2019. [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Químico].

## ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

**COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DEL LAURIL ÉTER SULFATO DE SODIO AL 70% EN PRESENCIA DE BAJAS CONCENTRACIONES DESAL**

Problema general	Objetivo General	Hipótesis General	Variables Dependientes	Dimensiones	Indicadores	Método
¿Cuál es el comportamiento reológico que presenta el lauril éter sulfato de sodio al 70% en bajas concentraciones de sal?	Determinar el comportamiento reológico del lauril éter sulfato de sodio al 70% en bajas concentraciones de sal	El comportamiento reológico del lauril éter sulfato de sodio al 70% en bajas concentraciones de sal es pseudoplástico.	Y1=Comportamiento reológico del lauril éter sulfato de sodio al 70% en presencia de sal en flujo de corte.	Esfuerzo cortante Viscosidad	Tensión de corte (Pa) Poises	Reométrico
Problemas específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	Variables Independientes	Dimensiones	Indicadores	Método
¿Cómo varía el esfuerzo de corte en el lauril éter sulfato de sodio al 70 % a bajas concentraciones de sal y diferentes temperaturas?	Determinar la variación del esfuerzo de corte en el lauril éter sulfato de sodio al 70 % a bajas concentraciones de sal.	El esfuerzo de corte del lauril éter sulfato de sodio al 70% en presencia de bajas concentraciones de sal tiene una relación directa - no lineal	X1= Concentración de sal	0.25; 0.375; 0.5	% p	Instrumental
¿Cómo varía la viscosidad en el lauril éter sulfato de sodio al 70 % a bajas concentraciones de sal y diferentes temperaturas?	Determinar la variación de la viscosidad en el lauril éter sulfato de sodio al 70 % a diferentes temperaturas.	La viscosidad del lauril éter sulfato de sodio al 70%, disminuye a medida que la temperatura y concentración de sal aumentan.	X2= Temperatura de la mezcla	25; 35	(°C) Programación en la cuba de baño maría	Instrumental

## Anexo 2: Datos obtenidos del reómetro

*A: Datos de la Velocidad de corte Vs Esfuerzo de corte del lauril éter sulfato de sodio a 0.25% a T= 25°C*

Punto	Velocidad de corte (1)	Velocidad de corte (2)	Velocidad de corte (3)	Velocidad de corte (4)	Velocidad de corte (Promedio)	Esfuerzo de Corte	Desviación Estándar
1	0.00296	0.00123	0.00118	0.00119	0.00164	2.99	0.000880265
2	0.00219	0.00239	0.00346	0.00361	0.0029125	3.98	0.000726011
3	0.00299	0.00196	0.00636	0.00408	0.0038475	4.48	0.001885442
4	0.00355	0.00335	0.00529	0.00615	0.004585	4.98	0.001359252
5	0.00664	0.00422	0.007	0.0121	0.00749	5.48	0.003311978
6	0.00753	0.0078	0.00667	0.0103	0.008075	5.97	0.001559626
7	0.0101	0.00656	0.00956	0.0147	0.01023	6.47	0.003362321
8	0.0189	0.0116	0.0111	0.0158	0.01435	6.97	0.003693688
9	0.0215	0.0169	0.0155	0.0234	0.019325	7.47	0.003734858
10	0.016	0.0146	0.0112	0.0324	0.01855	7.96	0.00945075
11	0.0132	0.0159	0.0172	0.0413	0.0219	8.46	0.013040194
12	0.0195	0.0299	0.0344	0.0517	0.033875	8.96	0.013421966
13	0.0402	0.0399	0.0358	0.0792	0.048775	9.46	0.020382407
14	0.0569	0.0505	0.0704	0.0756	0.06335	9.95	0.011640304
15	0.0524	0.0743	0.0671	0.099	0.0732	10.5	0.019465354
16	0.0834	0.078	0.0729	0.138	0.093075	10.9	0.030255289
17	0.076	0.107	0.105	0.164	0.113	11.4	0.036832956
18	0.141	0.178	0.116	0.165	0.15	11.9	0.027361774
19	0.219	0.221	0.215	0.303	0.2395	12.4	0.04240676
20	0.241	0.297	0.224	0.343	0.27625	12.9	0.054340746
21	0.336	0.386	0.287	0.421	0.3575	13.4	0.058529195
22	0.41	0.533	0.348	0.492	0.44575	13.9	0.082834675
23	0.613	0.699	0.484	0.636	0.608	14.4	0.090306884
24	0.82	0.959	0.559	0.756	0.7735	14.9	0.166221739
25	0.934	1.13	0.721	0.857	0.9105	15.4	0.170787392
26	1.12	1.31	0.842	1.03	1.0755	15.9	0.194561901
27	1.19	1.34	1.06	1.12	1.1775	16.4	0.120657919
28	1.26	1.36	1.36	1.36	1.335	16.9	0.05
29	1.31	1.47	1.76	1.71	1.5625	17.4	0.210614181
30	1.42	1.64	1.95	2.17	1.795	17.9	0.331310529
31	1.66	1.95	1.96	2.39	1.99	18.4	0.300776772
32	2.07	2.38	1.95	2.27	2.1675	18.9	0.19362765
33	2.69	2.71	2.05	2.3	2.4375	19.4	0.319934889
34	2.83	2.55	2.43	2.5	2.5775	19.9	0.175380539
35	2.64	2.56	3.11	3.18	2.8725	20.4	0.317634486

---

36	2.81	2.83	3.27	3.52	3.1075	20.9	0.347407062
37	3.56	3.62	3.09	3.31	3.395	21.4	0.243652758
38	4.09	3.57	3.42	3.53	3.6525	21.9	0.298482272
39	3.76	3.48	4.42	4.53	4.0475	22.4	0.50868294
40	4.31	4.27	4.17	4.29	4.26	22.9	0.062182527
41	5.3	5.08	4.39	4.57	4.835	23.4	0.426028168
42	4.67	4.54	5.72	5.9	5.2075	23.9	0.701587486
43	6.14	5.87	5.02	5.18	5.5525	24.4	0.537982342
44	5.79	5.85	6.21	6.64	6.1225	24.9	0.391695034
45	6.71	6.88	6.28	6.37	6.56	25.4	0.282488938
46	6.92	6.91	7.08	7.68	7.1475	25.9	0.363444173
47	8.19	8.54	7.14	7.29	7.79	26.4	0.681909085
48	7.82	7.83	8.67	8.91	8.3075	26.9	0.565707522
49	9.35	9.32	8.37	9.39	9.1075	27.4	0.492502115
50	10.6	10.4	9.38	9.77	10.0375	27.9	0.563227308
51	10.7	10.7	11.1	11	10.875	28.4	0.206155281
52	11.7	11.6	11.8	12.3	11.85	28.9	0.310912635
53	12.9	13	12.8	13.2	12.975	29.4	0.170782513
54	14.2	14.9	14	14.7	14.45	29.9	0.42031734
55	16.1	17.3	15.3	16.3	16.25	30.4	0.822597512
56	18.2	18.4	17	18.3	17.975	30.8	0.655108134
57	19.5	19.3	18.7	20.1	19.4	31.3	0.577350269
58	21.2	20.5	21.4	22.7	21.45	31.8	0.918331821

---

*B: Datos de la Velocidad de corte Vs Esfuerzo de corte del lauril éter sulfato de sodio a 0.25% a T= 35°C*

Punto	Velocidad de corte (1)	Velocidad de corte (2)	Velocidad de corte (3)	Esfuerzo de Corte (Promedio)	Velocidad de corte (Promedio)	Esfuerzo de Corte	Desviación Estándar
1	0.0377	0.0782	0.0695	0.0618	0.0618	18.4	0.021319709
2	0.0434	0.0713	0.0681	0.060933333	0.060933333	18.9	0.015268377
3	0.0437	0.0899	0.0866	0.0734	0.0734	19.4	0.025773824
4	0.0476	0.102	0.11	0.086533333	0.086533333	19.9	0.033953694
5	0.0866	0.117	0.11	0.104533333	0.104533333	20.4	0.015920218
6	0.101	0.148	0.132	0.127	0.127	20.9	0.023895606
7	0.113	0.176	0.135	0.141333333	0.141333333	21.4	0.031973948
8	0.157	0.242	0.218	0.205666667	0.205666667	21.9	0.043821608
9	0.21	0.232	0.248	0.23	0.23	22.4	0.019078784
10	0.247	0.31	0.293	0.283333333	0.283333333	22.9	0.032593455
11	0.297	0.347	0.333	0.325666667	0.325666667	23.4	0.025794056
12	0.345	0.416	0.384	0.381666667	0.381666667	23.9	0.035557465
13	0.417	0.472	0.462	0.450333333	0.450333333	24.4	0.029297326
14	0.49	0.548	0.511	0.516333333	0.516333333	24.9	0.029365513
15	0.55	0.542	0.568	0.553333333	0.553333333	25.4	0.013316656
16	0.579	0.615	0.651	0.615	0.615	25.9	0.036
17	0.671	0.68	0.692	0.681	0.681	26.4	0.010535654
18	0.712	0.732	0.748	0.730666667	0.730666667	26.9	0.018036999
19	0.739	0.782	0.831	0.784	0.784	27.4	0.046032597
20	0.801	0.803	0.89	0.831333333	0.831333333	27.9	0.050816664
21	0.828	0.904	0.921	0.884333333	0.884333333	28.4	0.049521039
22	0.868	0.971	0.987	0.942	0.942	28.9	0.06458328
23	0.877	1.08	1.11	1.022333333	1.022333333	29.4	0.126753041
24	0.976	1.16	1.26	1.132	1.132	29.9	0.144055545
25	1.02	1.27	1.29	1.193333333	1.193333333	30.4	0.150443788
26	1.12	1.34	1.37	1.276666667	1.276666667	30.8	0.136503968
27	1.23	1.39	1.32	1.313333333	1.313333333	31.3	0.080208063
28	1.34	1.34	1.36	1.346666667	1.346666667	31.8	0.011547005
29	1.41	1.39	1.37	1.39	1.39	32.3	0.02
30	1.43	1.4	1.43	1.42	1.42	32.8	0.017320508
31	1.42	1.44	1.45	1.436666667	1.436666667	33.3	0.015275252
32	1.44	1.49	1.58	1.503333333	1.503333333	33.8	0.070945989
33	1.43	1.62	1.72	1.59	1.59	34.3	0.147309199
34	1.46	1.77	1.84	1.69	1.69	34.8	0.202237484
35	1.54	1.85	1.81	1.733333333	1.733333333	35.3	0.168621865
36	1.65	1.81	1.78	1.746666667	1.746666667	35.8	0.085049005
37	1.77	1.82	1.77	1.786666667	1.786666667	36.3	0.028867513

---

38	1.8	1.85	1.78	1.81	1.81	36.8	0.036055513
39	1.74	1.93	1.89	1.853333333	1.853333333	37.3	0.100166528
40	1.7	2.09	2.06	1.95	1.95	37.8	0.217025344
41	1.75	2.32	2.19	2.086666667	2.086666667	38.3	0.298719489
42	1.79	2.28	2.12	2.063333333	2.063333333	38.8	0.249866631
43	1.96	2.29	2.07	2.106666667	2.106666667	39.3	0.168027775
44	2.14	2.33	2.07	2.18	2.18	39.8	0.13453624
45	2.2	2.44	2.16	2.266666667	2.266666667	40.3	0.151437556
46	2.11	2.71	2.36	2.393333333	2.393333333	40.8	0.301385689
47	2.11	2.79	2.5	2.466666667	2.466666667	41.3	0.34122329
48	2.16	2.71	2.39	2.42	2.42	41.8	0.276224546
49	2.34	2.75	2.42	2.503333333	2.503333333	42.3	0.217332311
50	2.59	3	2.48	2.69	2.69	42.8	0.274043792
51	2.51	3.33	2.74	2.86	2.86	43.3	0.42296572
52	2.43	3.16	2.91	2.833333333	2.833333333	43.8	0.370989667
53	2.46	3.17	2.78	2.803333333	2.803333333	44.3	0.355574652
54	2.63	3.39	2.8	2.94	2.94	44.8	0.398873414
55	2.99	3.75	2.93	3.223333333	3.223333333	45.3	0.457092259
56	2.88	3.58	3.3	3.253333333	3.253333333	45.8	0.352325607
57	2.87	3.63	3.23	3.243333333	3.243333333	46.3	0.380175398
58	2.99	4.03	3.17	3.396666667	3.396666667	46.8	0.555817716
59	3.39	3.99	3.3	3.56	3.56	47.3	0.375099987
60	3.39	4.01	3.7	3.7	3.7	47.8	0.31
61	3.38	4.37	3.58	3.776666667	3.776666667	48.3	0.523481932
62	3.57	4.4	3.5	3.823333333	3.823333333	48.8	0.500632933
63	4	4.31	3.84	4.05	4.05	49.3	0.238956063
64	3.81	4.83	4.08	4.24	4.24	49.8	0.52848841
65	3.82	4.77	3.96	4.183333333	4.183333333	50.3	0.512867754
66	4.4	4.72	4.21	4.443333333	4.443333333	50.7	0.257746646
67	4.33	5.29	4.55	4.723333333	4.723333333	51.2	0.502924779
68	4.28	5.06	4.32	4.553333333	4.553333333	51.7	0.439241771
69	4.81	5.45	4.64	4.966666667	4.966666667	52.2	0.427122153
70	4.65	5.28	4.93	4.953333333	4.953333333	52.7	0.315647483
71	4.74	5.28	4.74	4.92	4.92	53.2	0.311769145
72	5.25	5.87	5.27	5.463333333	5.463333333	53.7	0.352325607
73	4.9	5.69	5.25	5.28	5.28	54.2	0.395853508
74	5.31	6.54	5.46	5.77	5.77	54.7	0.671043963
75	5.46	6.28	5.82	5.853333333	5.853333333	55.2	0.411015004
76	5.56	6.91	5.73	6.066666667	6.066666667	55.7	0.735277725
77	6.19	6.61	6.44	6.413333333	6.413333333	56.2	0.211266025

---

*C: Datos de la Velocidad de corte Vs Esfuerzo de corte del lauril éter sulfato de sodio a 0.375 % a T= 25°C*

Punto	Velocidad de corte (1)	Velocidad de corte (2)	Velocidad de corte (3)	Velocidad de corte (4)	Velocidad de corte (Promedio)	Esfuerzo de Corte	Desviación Estándar
1	0.00058	0.000358	0.00028	0.000499	0.00042925	1	0.00013533
2	0.000117	0.000126	0.00018	0.000139	0.0001405	1.5	2.7839E-05
3	0.000366	0.00021	0.000148	0.000328	0.000263	1.99	0.00010144
4	0.00033	0.000322	0.00029	0.000387	0.00033225	2.49	4.0385E-05
5	0.000231	0.000407	0.000359	0.000539	0.000384	2.99	0.00012726
6	0.000491	0.000946	0.000681	0.00127	0.000847	3.49	0.00033814
7	0.000568	0.000888	0.00128	0.00132	0.001014	3.98	0.00035552
8	0.00121	0.00177	0.00131	0.00119	0.00137	4.48	0.00027178
9	0.00175	0.00155	0.00144	0.00254	0.00182	4.98	0.00049686
10	0.00205	0.00256	0.00264	0.00382	0.0027675	5.48	0.00074875
11	0.00229	0.00448	0.003	0.00706	0.0042075	5.97	0.00210918
12	0.00497	0.00503	0.00448	0.00671	0.0052975	6.47	0.00097336
13	0.00586	0.00574	0.00973	0.0079	0.0073075	6.97	0.00189489
14	0.00937	0.00601	0.0105	0.00813	0.0085025	7.47	0.00192301
15	0.0137	0.0109	0.00724	0.0113	0.010785	7.96	0.00266725
16	0.00939	0.0135	0.00932	0.0149	0.0117775	8.46	0.0028552
17	0.0126	0.0162	0.0111	0.0209	0.0152	8.96	0.00436119
18	0.0139	0.0142	0.0118	0.0214	0.015325	9.46	0.00418838
19	0.0227	0.0169	0.016	0.0301	0.021425	9.95	0.00650096
20	0.0321	0.0267	0.0234	0.0338	0.029	10.5	0.00480625
21	0.0409	0.0422	0.0252	0.0448	0.038275	10.9	0.00886618
22	0.0502	0.0449	0.0259	0.0371	0.039525	11.4	0.01055726
23	0.0883	0.0453	0.0322	0.041	0.0517	11.9	0.02500173
24	0.0855	0.0605	0.04	0.0622	0.06205	12.4	0.01860582
25	0.131	0.0607	0.0412	0.0871	0.08	12.9	0.03885589
26	0.253	0.0622	0.0613	0.102	0.119625	13.4	0.09091932
27	0.309	0.0836	0.096	0.123	0.1529	13.9	0.10535863
28	0.373	0.133	0.101	0.163	0.1925	14.4	0.12296748
29	0.503	0.126	0.103	0.179	0.22775	14.9	0.18623887
30	0.642	0.158	0.159	0.203	0.2905	15.4	0.23527077
31	0.805	0.205	0.196	0.298	0.376	15.9	0.28969294
32	0.939	0.288	0.241	0.319	0.44675	16.4	0.32972956
33	1.17	0.342	0.335	0.374	0.55525	16.9	0.41018482
34	1.29	0.392	0.344	0.453	0.61975	17.4	0.4490541
35	1.33	0.447	0.442	0.521	0.685	17.9	0.43151439
36	1.36	0.528	0.592	0.59	0.7675	18.4	0.39611572

---

37	1.39	0.596	0.709	0.673	0.842	18.9	0.36836124
38	1.38	0.644	0.841	0.732	0.89925	19.4	0.33047378
39	1.48	0.672	0.942	0.83	0.981	19.9	0.3506204
40	1.65	0.78	0.988	0.904	1.0805	20.4	0.38916106
41	1.94	0.837	1.02	1.08	1.21925	20.9	0.49148983
42	2.19	0.928	1.08	1.23	1.357	21.4	0.56885499
43	2.07	1.03	1.14	1.44	1.42	21.9	0.46669048
44	1.99	1.15	1.22	1.61	1.4925	22.4	0.38853357
45	2.01	1.31	1.35	1.62	1.5725	22.9	0.32252907
46	2.1	1.52	1.51	1.6	1.6825	23.4	0.28123241
47	2.4	1.67	1.77	1.63	1.8675	23.9	0.35984951
48	2.71	1.66	1.95	1.77	2.0225	24.4	0.47366479
49	2.59	1.71	1.99	1.94	2.0575	24.9	0.37535539
50	2.54	1.74	1.94	2.24	2.115	25.4	0.35
51	2.58	1.87	1.99	2.49	2.2325	25.9	0.35462421
52	2.95	2.07	2.08	2.36	2.365	26.4	0.41251263
53	3.22	2.43	2.38	2.38	2.6025	26.9	0.41234088
54	2.97	2.62	2.72	2.5	2.7025	27.4	0.19972898
55	3.01	2.51	2.63	2.9	2.7625	27.9	0.23200216
56	3.4	2.57	2.57	3.31	2.9625	28.4	0.45470687
57	3.79	2.87	2.7	3.1	3.115	28.9	0.4789224
58	3.47	3.49	3.14	3.1	3.3	29.4	0.20864643
59	3.47	3.38	3.5	3.48	3.4575	29.9	0.05315073
60	4.26	3.27	3.32	3.95	3.7	30.4	0.48490549
61	4.11	3.59	3.35	3.76	3.7025	30.8	0.31951787
62	4.06	4.32	4.02	3.87	4.0675	31.3	0.18714967
63	4.86	4.07	4.08	4.59	4.4	31.8	0.39115214
64	4.72	4.29	3.96	4.27	4.31	32.3	0.31230327
65	4.84	5.08	4.64	4.55	4.7775	32.8	0.23528352
66	5.76	4.75	4.66	5.42	5.1475	33.3	0.53074633
67	5.33	5.39	4.63	4.93	5.07	33.8	0.357398
68	6.49	5.57	5.61	5.75	5.855	34.3	0.43030997
69	6.07	5.68	5.16	5.67	5.645	34.8	0.37313983
70	7.18	6.59	5.83	5.98	6.395	35.3	0.61798058
71	6.88	6.39	6.02	6.36	6.4125	35.8	0.35396563
72	7.93	7.42	6.2	6.6	7.0375	36.3	0.78223505
73	7.71	7.73	6.53	6.93	7.225	36.8	0.59450259
74	8.34	7.92	6.94	7.61	7.7025	37.3	0.58982342
75	9.49	9.13	7.1	7.49	8.3025	37.8	1.18336737

---

*D: Datos de la Velocidad de corte Vs Esfuerzo de corte del lauril éter sulfato de sodio a 0.375 % a T= 35°C*

Punto	Velocidad de corte (1)	Velocidad de corte (2)	Velocidad de corte (3)	Velocidad de corte (4)	Velocidad de corte (5)	Velocidad de corte (Promedio)	Esfuerzo de Corte	Desviación Estándar
1	0.0206	0.0337	0.0817	0.0776	0.0647	0.05566	29.9	0.027169
2	0.0159	0.0365	0.0877	0.0796	0.0845	0.06084	30.4	0.032577
3	0.0194	0.045	0.0955	0.0949	0.114	0.07376	30.8	0.039752
4	0.0249	0.056	0.11	0.131	0.127	0.08978	31.3	0.047020
5	0.0265	0.0648	0.15	0.153	0.153	0.10946	31.8	0.059816
6	0.0341	0.0854	0.156	0.164	0.174	0.1227	32.3	0.060596
7	0.0437	0.0972	0.184	0.193	0.203	0.14418	32.8	0.070235
8	0.0456	0.0997	0.205	0.222	0.228	0.16006	33.3	0.082487
9	0.0504	0.115	0.234	0.239	0.26	0.17968	33.8	0.091947
10	0.0598	0.146	0.25	0.275	0.305	0.20716	34.3	0.101815
11	0.0716	0.152	0.277	0.307	0.315	0.22452	34.8	0.107688
12	0.0926	0.177	0.295	0.333	0.37	0.25352	35.3	0.115494
13	0.0989	0.19	0.342	0.37	0.407	0.28158	35.8	0.131299
14	0.101	0.218	0.349	0.404	0.448	0.304	36.3	0.142623
15	0.111	0.236	0.38	0.432	0.5	0.3318	36.8	0.156991
16	0.13	0.251	0.415	0.476	0.541	0.3626	37.3	0.168811
17	0.16	0.29	0.443	0.522	0.599	0.4028	37.8	0.177478
18	0.16	0.318	0.484	0.591	0.655	0.4416	38.3	0.202628
19	0.188	0.334	0.506	0.647	0.66	0.467	38.8	0.204144
20	0.218	0.37	0.555	0.7	0.725	0.5136	39.3	0.217456
21	0.208	0.395	0.573	0.742	0.748	0.5332	39.8	0.232473
22	0.258	0.439	0.583	0.782	0.753	0.563	40.3	0.219580
23	0.258	0.437	0.635	0.843	0.804	0.5954	40.8	0.247647
24	0.279	0.493	0.674	0.857	0.813	0.6232	41.3	0.239109
25	0.315	0.517	0.732	0.879	0.884	0.6654	41.8	0.246297
26	0.354	0.55	0.763	0.91	0.904	0.6962	42.3	0.240743
27	0.356	0.59	0.819	0.927	0.93	0.7244	42.8	0.248016
28	0.396	0.622	0.897	0.96	0.969	0.7688	43.3	0.251794
29	0.416	0.685	0.952	0.995	1.04	0.8176	43.8	0.263562
30	0.436	0.693	0.991	1.05	1.09	0.852	44.3	0.279958
31	0.466	0.783	1.02	1.09	1.16	0.9038	44.8	0.282874
32	0.491	0.8	1.04	1.16	1.22	0.9422	45.3	0.299155
33	0.533	0.845	1.05	1.23	1.28	0.9876	45.8	0.306245
34	0.576	0.882	1.07	1.31	1.27	1.0216	46.3	0.302186
35	0.61	0.886	1.1	1.37	1.29	1.0512	46.8	0.309430
36	0.65	0.915	1.12	1.37	1.3	1.071	47.3	0.294032
37	0.713	0.91	1.18	1.38	1.36	1.1086	47.8	0.290645

---

38	0.75	0.93	1.22	1.41	1.4	1.142	48.3	0.292865
39	0.794	0.968	1.3	1.44	1.44	1.1884	48.8	0.292910
40	0.81	1.01	1.38	1.47	1.52	1.238	49.3	0.311721
41	0.809	1.05	1.45	1.54	1.63	1.2958	49.8	0.350889
42	0.839	1.08	1.46	1.6	1.69	1.3338	50.3	0.361562
43	0.839	1.16	1.46	1.71	1.66	1.3658	50.7	0.365298
44	0.867	1.23	1.48	1.76	1.67	1.4014	51.2	0.361206
45	0.905	1.28	1.49	1.71	1.68	1.413	51.7	0.332106
46	0.933	1.33	1.53	1.76	1.72	1.4546	52.2	0.338002
47	0.961	1.34	1.61	1.77	1.78	1.4922	52.7	0.346123
48	0.972	1.33	1.69	1.83	1.86	1.5364	53.2	0.379361
49	1.03	1.33	1.74	1.93	1.95	1.596	53.7	0.402715
50	1.08	1.37	1.77	2.03	1.95	1.64	54.2	0.403608
51	1.15	1.41	1.74	2.05	1.93	1.656	54.7	0.372129
52	1.2	1.46	1.77	2.01	1.92	1.672	55.2	0.336556
53	1.23	1.54	1.78	2.03	1.96	1.708	55.7	0.327520
54	1.25	1.61	1.83	2.04	2.03	1.752	56.2	0.331089
55	1.26	1.65	1.91	2.13	2.15	1.82	56.7	0.372692
56	1.28	1.63	2.02	2.24	2.18	1.87	57.2	0.406571
57	1.3	1.63	2.01	2.26	2.14	1.868	57.7	0.395941
58	1.34	1.66	1.97	2.24	2.14	1.87	58.2	0.369052
59	1.38	1.68	1.98	2.24	2.15	1.886	58.7	0.354372
60	1.47	1.77	2	2.26	2.23	1.946	59.2	0.331556
61	1.52	1.87	2.09	2.37	2.33	2.036	59.7	0.351681
62	1.56	1.94	2.2	2.49	2.35	2.108	60.2	0.367926
63	1.59	1.93	2.24	2.53	2.28	2.114	60.7	0.362256
64	1.58	1.92	2.17	2.48	2.3	2.09	61.2	0.350570
65	1.58	1.9	2.17	2.47	2.34	2.092	61.7	0.356889
66	1.61	1.94	2.22	2.54	2.47	2.156	62.2	0.385655
67	1.66	2.06	2.3	2.62	2.54	2.236	62.7	0.389461
68	1.74	2.15	2.39	2.6	2.49	2.274	63.2	0.341657
69	1.84	2.21	2.43	2.56	2.45	2.298	63.7	0.285779
70	1.89	2.16	2.41	2.57	2.49	2.304	64.2	0.277812
71	1.88	2.14	2.4	2.64	2.63	2.338	64.7	0.327597
72	1.87	2.19	2.48	2.74	2.72	2.4	65.2	0.370607
73	1.9	2.31	2.61	2.74	2.65	2.442	65.7	0.343322
74	1.93	2.41	2.65	2.7	2.63	2.464	66.2	0.318559
75	2.03	2.44	2.61	2.7	2.66	2.488	66.7	0.274535
76	2.13	2.38	2.63	2.81	2.78	2.546	67.2	0.288149

---

*E: Datos de la Velocidad de corte Vs Esfuerzo de corte del lauril éter sulfato de sodio a 0.5% a T= 25°C*

Punto	Velocidad de corte (1)	Velocidad de corte (2)	Velocidad de corte (3)	Velocidad de corte (4)	Velocidad de corte (Promedio)	Esfuerzo de Corte	Desviación Estándar
1	0.0147	0.0344	0.0576	0.0686	0.043825	34.8	0.02408767
2	0.0122	0.0387	0.07	0.0735	0.0486	35.3	0.02887294
3	0.0186	0.0365	0.0783	0.086	0.05485	35.8	0.03251159
4	0.018	0.0466	0.088	0.0943	0.061725	36.3	0.0360192
5	0.0249	0.0519	0.0933	0.112	0.070525	36.8	0.03944366
6	0.0268	0.0677	0.116	0.116	0.081625	37.3	0.04306185
7	0.0316	0.0785	0.117	0.116	0.085775	37.8	0.04031711
8	0.0394	0.0762	0.138	0.151	0.10115	38.3	0.05253097
9	0.0454	0.0938	0.151	0.164	0.11355	38.8	0.05471803
10	0.0527	0.111	0.167	0.182	0.128175	39.3	0.05886699
11	0.0648	0.124	0.165	0.188	0.13545	39.8	0.05402848
12	0.0719	0.12	0.192	0.212	0.148975	40.3	0.06481617
13	0.0833	0.149	0.216	0.225	0.168325	40.8	0.06604965
14	0.0964	0.184	0.219	0.236	0.18385	41.3	0.06218968
15	0.103	0.168	0.234	0.248	0.18825	41.8	0.06668521
16	0.129	0.193	0.253	0.269	0.211	42.3	0.06370767
17	0.137	0.209	0.257	0.292	0.22375	42.8	0.06709881
18	0.15	0.218	0.276	0.322	0.2415	43.3	0.07437518
19	0.159	0.268	0.301	0.32	0.262	43.8	0.07194906
20	0.185	0.254	0.319	0.349	0.27675	44.3	0.07289433
21	0.198	0.29	0.322	0.359	0.29225	44.8	0.06886884
22	0.208	0.3	0.343	0.395	0.3115	45.3	0.07918123
23	0.234	0.323	0.363	0.4	0.33	45.8	0.07130685
24	0.239	0.348	0.35	0.431	0.342	46.3	0.07880355
25	0.259	0.361	0.376	0.458	0.3635	46.8	0.08167619
26	0.265	0.373	0.391	0.459	0.372	47.3	0.08037413
27	0.273	0.373	0.422	0.489	0.38925	47.8	0.09092259
28	0.308	0.417	0.42	0.512	0.41425	48.3	0.0834361
29	0.3	0.419	0.441	0.535	0.42375	48.8	0.09662772
30	0.325	0.418	0.468	0.55	0.44025	49.3	0.09415015
31	0.317	0.417	0.458	0.566	0.4395	49.8	0.10304853
32	0.34	0.443	0.501	0.566	0.4625	50.3	0.09588361
33	0.35	0.451	0.515	0.572	0.472	50.7	0.09517353
34	0.344	0.459	0.548	0.583	0.4835	51.2	0.10664739
35	0.384	0.475	0.559	0.586	0.501	51.7	0.09120307
36	0.378	0.483	0.573	0.62	0.5135	52.2	0.10672863
37	0.397	0.509	0.603	0.627	0.534	52.7	0.10456896

---

38	0.407	0.512	0.62	0.631	0.5425	53.2	0.10508568
39	0.432	0.521	0.626	0.636	0.55375	53.7	0.09640323
40	0.421	0.544	0.651	0.667	0.57075	54.2	0.11379038
41	0.449	0.558	0.666	0.68	0.58825	54.7	0.10765493
42	0.444	0.563	0.653	0.676	0.584	55.2	0.10530274
43	0.452	0.596	0.667	0.707	0.6055	55.7	0.11215614
44	0.488	0.619	0.664	0.737	0.627	56.2	0.10464862
45	0.491	0.634	0.695	0.758	0.6445	56.7	0.11417092
46	0.508	0.662	0.69	0.778	0.6595	57.2	0.11244406
47	0.522	0.674	0.715	0.822	0.68325	57.7	0.12429367
48	0.537	0.695	0.705	0.817	0.6885	58.2	0.11515063
49	0.547	0.687	0.73	0.838	0.7005	58.7	0.12044501
50	0.58	0.734	0.742	0.861	0.72925	59.2	0.11520814
51	0.578	0.74	0.76	0.844	0.7305	59.7	0.11120402
52	0.594	0.743	0.774	0.856	0.74175	60.2	0.10942996
53	0.603	0.733	0.815	0.866	0.75425	60.7	0.1147559
54	0.615	0.753	0.846	0.883	0.77425	61.2	0.11942466
55	0.633	0.772	0.865	0.907	0.79425	61.7	0.12140119
56	0.641	0.773	0.883	0.907	0.801	62.2	0.12157851
57	0.635	0.788	0.911	0.935	0.81725	62.7	0.13750727
58	0.637	0.789	0.925	0.94	0.82275	63.2	0.14123827
59	0.644	0.818	0.901	0.983	0.8365	63.7	0.14493792
60	0.66	0.81	0.925	1	0.84875	64.2	0.14812017
61	0.668	0.848	0.935	1.04	0.87275	64.7	0.1574619
62	0.679	0.862	0.937	1.05	0.882	65.2	0.15583966
63	0.709	0.893	0.949	1.08	0.90775	65.7	0.15393803
64	0.711	0.924	0.965	1.07	0.9175	66.2	0.15077246
65	0.703	0.934	0.985	1.08	0.9255	66.7	0.16019675
66	0.743	0.959	1.01	1.07	0.9455	67.2	0.1424184
67	0.756	0.964	1.04	1.1	0.965	67.7	0.15003555
68	0.772	0.982	1.07	1.11	0.9835	68.2	0.15079677
69	0.813	0.973	1.09	1.12	0.999	68.7	0.1392767
70	0.819	0.992	1.12	1.15	1.02025	69.2	0.15064832
71	0.836	0.994	1.11	1.18	1.03	69.7	0.15036844
72	0.849	1.02	1.12	1.2	1.04725	70.2	0.15129524
73	0.843	1.04	1.13	1.24	1.06325	70.6	0.16807414
74	0.847	1.06	1.15	1.26	1.07925	71.1	0.1751064
75	0.848	1.07	1.17	1.29	1.0945	71.6	0.18733482
76	0.871	1.1	1.17	1.28	1.10525	72.1	0.1728494
77	0.874	1.14	1.18	1.29	1.121	72.6	0.17645774

---

*F: Datos de la Velocidad de corte Vs Esfuerzo de corte del lauril éter sulfato de sodio a 0.5% a T= 35°C*

Punto	Velocidad de corte (1)	Velocidad de corte (2)	Velocidad de corte (3)	Velocidad de corte (4)	Velocidad de corte (Promedio)	Esfuerzo de Corte	Desviación Estándar
1	0.0258	0.0406	0.0414	0.0622	0.0425	29.9	0.0149644
2	0.0334	0.0423	0.0444	0.0792	0.049825	30.4	0.02015546
3	0.044	0.0548	0.0495	0.0703	0.05465	30.8	0.01132681
4	0.0498	0.0619	0.0629	0.0837	0.064575	31.3	0.01407157
5	0.0545	0.0717	0.0751	0.105	0.076575	31.8	0.02098593
6	0.0637	0.0803	0.0867	0.113	0.085925	32.3	0.02048778
7	0.0817	0.0919	0.0943	0.14	0.101975	32.8	0.02593188
8	0.0894	0.12	0.113	0.15	0.1181	33.3	0.02497279
9	0.107	0.127	0.129	0.153	0.129	33.8	0.0188326
10	0.103	0.136	0.141	0.176	0.139	34.3	0.02987753
11	0.125	0.149	0.155	0.188	0.15425	34.8	0.02596632
12	0.149	0.181	0.178	0.219	0.18175	35.3	0.02872136
13	0.164	0.188	0.21	0.253	0.20375	35.8	0.03782746
14	0.187	0.219	0.2	0.258	0.216	36.3	0.03093003
15	0.19	0.228	0.254	0.281	0.23825	36.8	0.03876747
16	0.221	0.241	0.276	0.31	0.262	37.3	0.03925133
17	0.246	0.277	0.305	0.339	0.29175	37.8	0.03966001
18	0.262	0.299	0.33	0.358	0.31225	38.3	0.04126641
19	0.298	0.32	0.37	0.391	0.34475	38.8	0.04310742
20	0.312	0.347	0.387	0.392	0.3595	39.3	0.03752777
21	0.347	0.361	0.399	0.437	0.386	39.8	0.04048045
22	0.368	0.396	0.427	0.47	0.41525	40.3	0.0437369
23	0.387	0.415	0.467	0.485	0.4385	40.8	0.04538355
24	0.432	0.453	0.5	0.501	0.4715	41.3	0.03456877
25	0.463	0.484	0.53	0.521	0.4995	41.8	0.03143777
26	0.479	0.499	0.565	0.558	0.52525	42.3	0.04274245
27	0.512	0.54	0.576	0.591	0.55475	42.8	0.03564057
28	0.567	0.577	0.586	0.592	0.5805	43.3	0.01090871
29	0.598	0.598	0.598	0.639	0.60825	43.8	0.0205
30	0.634	0.637	0.614	0.673	0.6395	44.3	0.02455606
31	0.643	0.653	0.615	0.701	0.653	44.8	0.03581434
32	0.653	0.681	0.65	0.737	0.68025	45.3	0.04032679
33	0.688	0.699	0.667	0.775	0.70725	45.8	0.04707706
34	0.695	0.714	0.698	0.798	0.72625	46.3	0.04855495
35	0.727	0.732	0.723	0.788	0.7425	46.8	0.03055596
36	0.742	0.759	0.731	0.794	0.7565	47.3	0.02752575
37	0.757	0.781	0.758	0.806	0.7755	47.8	0.02315887

---

38	0.796	0.818	0.822	0.839	0.81875	48.3	0.01768945
39	0.811	0.816	0.844	0.841	0.828	48.8	0.01691153
40	0.827	0.844	0.889	0.876	0.859	49.3	0.02850731
41	0.866	0.879	0.916	0.882	0.88575	49.8	0.02132878
42	0.909	0.897	0.962	0.902	0.9175	50.3	0.03007214
43	0.944	0.953	0.998	0.956	0.96275	50.7	0.02404683
44	1.01	0.983	1.01	1.01	1.00325	51.2	0.0135
45	1.05	1.02	1.02	1.05	1.035	51.7	0.01732051
46	1.08	1.05	1.03	1.11	1.0675	52.2	0.035
47	1.1	1.08	1.03	1.14	1.0875	52.7	0.04573474
48	1.1	1.09	1.08	1.14	1.1025	53.2	0.02629956
49	1.11	1.1	1.08	1.16	1.1125	53.7	0.0340343
50	1.13	1.12	1.12	1.16	1.1325	54.2	0.01892969
51	1.15	1.14	1.14	1.19	1.155	54.7	0.02380476
52	1.17	1.16	1.18	1.21	1.18	55.2	0.02160247
53	1.21	1.19	1.24	1.21	1.2125	55.7	0.02061553
54	1.26	1.24	1.28	1.24	1.255	56.2	0.01914854
55	1.3	1.27	1.31	1.3	1.295	56.7	0.01732051
56	1.35	1.32	1.3	1.34	1.3275	57.2	0.02217356
57	1.37	1.35	1.3	1.38	1.35	57.7	0.03559026
58	1.39	1.38	1.32	1.41	1.375	58.2	0.03872983
59	1.39	1.35	1.34	1.41	1.3725	58.7	0.03304038
60	1.39	1.37	1.35	1.42	1.3825	59.2	0.02986079
61	1.39	1.37	1.39	1.43	1.395	59.7	0.02516611
62	1.42	1.39	1.44	1.44	1.4225	60.2	0.02362908
63	1.44	1.41	1.5	1.45	1.45	60.7	0.03741657
64	1.5	1.48	1.5	1.5	1.495	61.2	0.01
65	1.53	1.53	1.5	1.55	1.5275	61.7	0.02061553
66	1.55	1.54	1.5	1.58	1.5425	62.2	0.03304038
67	1.54	1.56	1.5	1.59	1.5475	62.7	0.03774917
68	1.53	1.53	1.5	1.56	1.53	63.2	0.0244949
69	1.54	1.53	1.53	1.57	1.5425	63.7	0.01892969
70	1.56	1.54	1.57	1.57	1.56	64.2	0.01414214
71	1.57	1.55	1.63	1.6	1.5875	64.7	0.035
72	1.62	1.58	1.65	1.63	1.62	65.2	0.0294392
73	1.66	1.64	1.67	1.69	1.665	65.7	0.02081666
74	1.68	1.66	1.65	1.72	1.6775	66.2	0.03095696
75	1.68	1.66	1.64	1.74	1.68	66.7	0.04320494
76	1.64	1.66	1.65	1.72	1.6675	67.2	0.03593976
77	1.65	1.66	1.64	1.71	1.665	67.7	0.03109126

---

Anexo 3: Certificado de calidad del lauril éter sulfato de sodio



**NINGBO PANGS CHEM CO.,LTD.**

FLOOR 21, BUILDING NO.11, XINTIANDI, NO.689 SHIJI ROAD, NINGBO, CHINA

**CERTIFICATE OF ANALYSIS**

---

**TO:**

SG QUIMICOS DEL PERU S.A.C.

**WE HEREBY GUARANTEE THAT THE ANALYSIS OF THE SAMPLE DRAWN FROM THE LOT IS AS FOLLOWS:**

<b>COMMODITY:</b>	SODIUM LAURYL ETHER SULFATE
<b>INVOICE NO:</b>	NFTZ2023164
<b>LOT NO.</b>	JIA230509-4
<b>MANUFACTURE DATE:</b>	2023/5/9
<b>EXPIRY DATE:</b>	2025/5/8

**THE RESULTS OF ANALYSIS:**

<b>PROPERTY</b>	<b>SPECIFIED LIMIT</b>	<b>RESULT</b>
APPEARANCE	white or light yellow gel cream	PASS
ACTIVE MATTER CONTENT %	70±2	70.2
UNSULFATED MATTER CONTENT %	3.0 Max	1.6
SODIUM SULFATE %	2.0 Max	0.3
COLOR (5% A.M,HAZEN)	10 Max	4
PH VALUE (1% AQ. SOLUTION )	7.0-9.5	9.4
DIOXANE (PPM)	30 Max	25

For and on behalf of  
NINGBO PANGS CHEM CO.,LTD  
宁波庞氏化工有限公司

Authorized Signature(s)