



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA



ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

Departamento de Ingeniería Civil, de Materiales y Fabricación

Área de Conocimiento Ingeniería de los Procesos de Fabricación

TRABAJO FIN DE GRADO

**ESTUDIO EXPERIMENTAL DE PROPIEDADES TÉRMICAS Y DE FLUJO DE
ÓXIDO DE SILICIO EN ACEITE DE GIRASOL Y ACEITE DE COCO COMO
FLUIDOS BASE, PARA SU USO COMO REFRIGERANTE-LUBRICANTE EN
PROCESOS DE TALADRADO**

Grado en Ingeniería de Diseño Industrial y Desarrollo del Producto

Autor: Miriam Rodríguez Lara

Tutor: Jesús Javier Jiménez Galea

Cotutor: Ana Isabel Gómez Merino

MÁLAGA, Enero de 2.024



AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, me gustaría agradecer a mi tutor, Jesús Javier Jiménez Galea y mi cotutora Ana Isabel Gómez Merino, por su tiempo y dedicación a este proyecto, por compartir su conocimiento y orientarme durante todo este proceso. Asimismo, a todos los miembros del Área de Reología por ayudarme cuando me he encontrado con alguna dificultad y transmitirme su pasión por la investigación.

Agradecer también a mis padres, Mariví y Fernando por su paciencia y cariño durante el desarrollo de este proyecto. Por haberme inculcado que puedo conseguir lo que me proponga y darme la oportunidad de tener la educación que he deseado en todo momento. A mi hermano Fernando, por ser un ejemplo de superación y enseñarme que todo lo que haga debe ser con pasión.

Finalmente dar las gracias a todas las personas que me han acompañado durante estos años de universidad, a los que me han apoyado, siempre animándome a seguir. Gracias por compartir asignaturas y experiencias que hacen esta etapa inolvidable.

Gracias

RESUMEN

Los fluidos de corte son sustancias que se utilizan para mejorar el rendimiento y la calidad de los procesos de mecanizado. Los fluidos de corte convencionales son derivados del petróleo, tóxicos, y generan gran cantidad de residuos. En este proyecto se presenta una alternativa, los fluidos de corte vegetales, los cuales son biodegradables y respetuosos con el medio ambiente, permitiendo así reducir el impacto y mejorar la salud y seguridad de los operarios.

Se ha llevado a cabo un estudio de la conductividad térmica y de la viscosidad en cizalla continua en suspensiones de sílice hidrófila A200: 0,01, 0,02 0,03 y 0,04 v/v en el fluido base formado por la mezcla aceite de coco-aceite de girasol en la proporción 1:1. En todas las suspensiones y en el fluido base se ha evaluado la influencia de la temperatura y de la concentración de partícula en la conductividad térmica y en la viscosidad. En este parámetro, también se ha analizado la influencia de la velocidad de deformación por cizalla. Para finalizar este estudio se han aplicado modelos matemáticos lineales para una mejor interpretación de los resultados experimentales obtenidos.

La conductividad térmica de las suspensiones ha aumentado con la concentración de partícula y se ha reducido con la temperatura tras el cambio de fase, entre 25 °C y 90 °C. Entre 5 °C y 20 °C se ha producido un notable incremento de la conductividad térmica durante el cambio de fase.

La viscosidad de las suspensiones ha aumentado con la concentración de partícula, y ha disminuido con la temperatura y con la velocidad de deformación en cizalla continua. A velocidades de deformación superiores a 1000 s⁻¹ se ha encontrado un comportamiento Newtoniano en todas las muestras, y una notable disminución de la viscosidad de todas las suspensiones (fluido refluidizante), lo cual ha facilitado la capacidad como lubricante-refrigerante de estas sustancias en su utilización como fluidos de corte en procesos de taladrado.

Finalmente, se hicieron pruebas de taller con el taladro con todas las muestras y se tomaron fotografías termográficas. Parte del calor generado por la acción mecánica del taladro ha sido absorbido por las suspensiones produciendo un descenso de la temperatura de entre 10°C y 14°C respecto al taladro en seco. Del análisis de las propiedades térmicas y de flujo anteriormente expuestas se ha concluido que el mejor refrigerante-lubricante para su uso en los procesos de taladro es el compuesto formado por 50% Aceite de coco, 50% Aceite de girasol y 3% de óxido de silicio.

ABSTRACT

Cutting fluids are used to improve the performance and quality of machining processes. Conventional cutting fluids are petroleum-derived, toxic, and generate waste. In this project, an alternative is presented, vegetable cutting fluids, which are biodegradable and respectful of the environment, thus reducing the impact and improving the health and safety of operators.

A study of thermal conductivity and viscosity has been carried out in A200 hydrophilic silica suspensions: 0.01, 0.02, 0.03 and 0.04 v/v in the base fluid formed by the coconut oil-sunflower oil mixture at 1:1. All suspensions and the base fluid, have been evaluated the influence of temperature and particle concentration on thermal conductivity and viscosity. The influence of the shear rate has also been analyzed. To complete this study, linear mathematical models have been applied to interpretate the experimental results obtained.

The thermal conductivity of the suspensions has increased with particle concentration and decreased with temperature after the phase change, between 25 °C and 90 °C. Between 5 °C and 20 °C there has been a notable increase in thermal conductivity during the phase change.

The viscosity of the suspensions has increased with particle concentration, decreased with temperature and with continuous share rates. At strain share rates over 1000 s⁻¹, a Newtonian behavior is presented in all the samples, and a notable decrease in the viscosity of all suspensions (rheofluidizing fluid), which facilitates the capacity of these substances to be lubricant-coolant in drilling processes.

Finally, workshop tests were carried out with the drill using all the samples and thermographic photographs were taken. Part of the heat consequence of the mechanical action of the drill has been absorbed by the suspensions, producing a drop in temperature of between 10°C and 14°C compared to the dry drill. The analysis of the thermal and flow properties described above, it has been concluded with the idea that best coolant-lubricant for use in drilling processes is the suspension composed by 50% coconut oil, 50% sunflower oil and 3% silicon oxide.

Palabras clave: Aceite de coco, Aceite refinado de girasol, Óxido de silicio, Reología, Fluido de corte, Conductividad térmica, Viscosidad, Taladrado, Cambio de fase.

Keywords: Coconut oil, Refined sunflower oil, Silicon oxide, Rheology, Cutting fluids, Thermal conductivity, Viscosity, Drilling, Phase change

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curvas de flujo para diferentes tipos de fluidos. Fuente: Original	21
Figura 2. Deformación de los fluidos no-Newtonianos en función del valor de la fuerza o del tiempo que es aplicada. Fuente: Original.	22
Figura 3. Esquema del método MQL. Fuente: Original.....	24
Figura 4. Estructura molecular de los triglicéridos. Fuente: Ramírez Vivoni, Roberto & Vivoni Alonso, Alberto (2014).	25
Figura 5. Bote de aceite de coco utilizado para las muestras. Fuente: Original.....	30
Figura 6. Tipos de CO y sus características más relevantes. Fuente: Original	30
Figura 7. Muestra de aceite de coco. (A) Fase líquida. (B) Fase sólida. Fuente: Original.....	32
Figura 8. Botella de aceite de girasol empleada para las muestras. Fuente: Original.	33
Figura 9. Aceite de girasol en su fase líquida. Fuente: Original	34
Figura 10. Representación gráfica de la densidad del aceite de girasol puro en función de la temperatura. Fuente Original.....	35
Figura 11. Representación gráfica del ajuste lineal de la densidad del aceite de coco puro en función de la temperatura termodinámica. Fuente: Original.....	36
Figura 12. Representación gráfica del ajuste lineal del coeficiente de dilatación térmica en función de la temperatura termodinámica. Fuente: Original.....	37
Figura 13. Muestra de óxido de silicio, A200. Fuente: Original.....	38
Figura 14. Microscopía SEM del polvo de sílice A200. Fuente: Original	39
Figura 15. Micropipetas utilizadas durante el estudio. Fuente: Original.	40
Figura 16. Rueda para ajustar el volumen de la micropipeta. Fuente: Original.....	41
Figura 17. Balanza de precisión. (A) Apagada. (B) Encendida. Fuente: Original.....	42
Figura 18. Baño termostático marca Huber, vacío. Fuente: Original.....	42
Figura 19. Baño termostático marca Huber, lleno. Fuente: Original.	43
Figura 20. Maletín del KD2 Pro Decagon Devices. (A) Maletín. (B) Elementos utilizados. Fuente: Original.	45
Figura 21. Preparación del KD 2 para tomar datos experimentales. Fuente: Original.....	48
Figura 22. Reómetro Gemini con cada parte detallada en la Tabla 8. Fuente: Original.	49
Figura 23. Geometrías del Reómetro. Fuente: Original.	52
Figura 24. Geometrías utilizadas en el estudio. (A) Vertical. (B) Horizontal. Fuente: Original.	52
Figura 25. Reómetro Haake RheoStress 600 y sus componentes. Fuente: Original.	53
Figura 26. (A) Plato serrado. (B) Cono serrado. Fuente: Original.....	55
Figura 27. (A) Cámara termográfica de perfil. (B) Cámara termográfica de frente. Fuente: Original.	56
Figura 28. A) Disposición de las poleas en función de la velocidad escogida. B) Configuración en la posición 1. Fuente: Original.	56
Figura 29. A) Taladro ERLO CR18. B) Mesa de trabajo en forma de "T". Fuente: Original....	57
Figura 30. Dimensiones de la placa utilizada para las pruebas con el taladro. Fuente: Original.	57
Figura 31. A) Caja de brocas. B) Broca utilizada en el experimento. Fuente: Original.....	58
Figura 32. Esquema de la preparación del fluido base. Fuente: Original.	60
Figura 33. Muestras de fluido base en diferentes proporciones. Fuente: Original.....	60
Figura 34. Muestras de fluido base con óxido de silicio a diferentes proporciones. Fuente: Original.	62

Figura 35. Septum del vial. Fuente: Original.	63
Figura 36. A) Sonda encajada en el soporte. B) Instrumento colocado para introducir la muestra a medir. Fuente: Original.	64
Figura 37. Vial dentro del baño termostático. Fuente: Original.	64
Figura 38. Picnómetro. Fuente: Original.	66
Figura 39. Disposición de los cilindros en el reómetro Gemini. Fuente: Original.	67
Figura 40. Disposición del cono-plato en el reómetro Haake. Fuente: Original.	68
Figura 41. Comportamiento del fluido durante el barrido de temperatura a velocidad de cizalla y transferencia de calor constantes. Fuente: Original.	69
Figura 42. Condiciones de trabajo del reómetro durante las curvas de flujo. Fuente: Original.	70
Figura 43. Broca colocada en el taladro. Fuente: Original.	72
Figura 44. Fluido depositado sobre la placa de acero. Fuente: Original.	72
Figura 45. Representación gráfica de la conductividad térmica de los fluidos base. Fuente: Original.	75
Figura 46. Conductividad térmica de las suspensiones y del fluido base en función de la temperatura. Fuente: Original.	76
Figura 47. Ajuste lineal de la conductividad relativa frente a la temperatura de los nanofluidos. Fuente: Original.	78
Figura 48. Representación gráfica de la conductividad térmica frente a la fracción en volumen de óxido de silicio. Fuente: Original.	79
Figura 49. Representación gráfica del ajuste lineal de la conductividad relativa frente a la fracción en volumen. Fuente: Original.	81
Figura 50. Representación gráfica de la pendiente frente a la temperatura. Fuente: Original. ...	82
Figura 51. Curva viscosidad-temperatura para el fluido base. Fuente: Original.	83
Figura 52. Curva de viscosidad-temperatura para la suspensión con fracción en volumen del 1% de A200. Fuente: Original.	83
Figura 53. Curva de viscosidad-temperatura para la suspensión con fracción en volumen del 2% de A200. Fuente: Original.	84
Figura 54. Curva de viscosidad-temperatura para la suspensión con fracción en volumen del 3% de A200. Fuente: Original.	84
Figura 55. Curva de viscosidad-temperatura para la suspensión con fracción en volumen del 4% de A200. Fuente: Original.	85
Figura 56. Temperaturas iniciales y finales del cambio de fase para todas las muestras durante la cristalización. Fuente: Original.	86
Figura 57. Temperaturas iniciales y finales del cambio de fase para todas las muestras durante la fusión. Fuente: Original.	86
Figura 58. Curva de flujo en función de la temperatura del fluido base. Fuente: Original.	87
Figura 59. Curva de flujo en función de la temperatura de la suspensión al 1% de A200. Fuente: Original.	88
Figura 60. Curva de flujo en función de la temperatura de la suspensión al 2% de A200. Fuente: Original.	88
Figura 61. Curva de flujo en función de la temperatura de la suspensión al 3% de A200. Fuente: Original.	89
Figura 62. Curva de flujo en función de la temperatura de la suspensión al 4% de A200. Fuente: Original.	89
Figura 63. Curva de flujo en función de la concentración a 14°C. Fuente: Original.	91
Figura 64. Curva de flujo en función de la concentración a 16°C. Fuente: Original.	91
Figura 65. Curva de flujo en función de la concentración a 18°C. Fuente: Original.	92

Figura 66. Curva de flujo en función de la concentración a 20°C. Fuente: Original.	92
Figura 67. Curva de flujo en función de la concentración a 22°C. Fuente: Original.	93
Figura 68. Curva de flujo en función de la concentración a 24°C. Fuente: Original.	93
Figura 69. Curva de flujo en función de la concentración a 26°C. Fuente: Original.	94
Figura 70. Curva de flujo en función de la concentración a 28°C. Fuente: Original.	94
Figura 71. Curva de flujo en función de la concentración a 30°C. Fuente: Original.	95
Figura 72. Curva de flujo en función de la concentración a 35°C. Fuente: Original.	95
Figura 73. Representación lineal de todas las muestras a diferentes temperaturas con una velocidad de cizalla de $1200s^{-1}$. Fuente: Original.	96
Figura 74. Representación gráfica del ajuste lineal de la viscosidad frente a la fracción en volumen. Fuente: Original.	98
Figura 75. Imagen térmica a los 15 segundos durante la prueba en seco. Temperatura máxima de 69°C. Fuente: Original.	99
Figura 76. Imagen térmica a los 30 segundos durante la prueba en seco. Temperatura máxima de 78°C. Fuente: Original.	99
Figura 77. Imagen térmica a los 45 segundos durante la prueba en seco. Temperatura máxima de 75°C. Fuente: Original.	99
Figura 78. Imagen térmica a los 60 segundos durante la prueba en seco. Temperatura máxima de 70°C. Fuente: Original.	100
Figura 79. Representación gráfica del perfil de temperaturas durante la prueba de taladro en seco. Fuente: Original.	100
Figura 80. Evolución de las temperaturas durante la prueba de taladro en seco. Fuente: Original.	101
Figura 81. Imagen térmica a los 15 segundos durante la prueba con el fluido base. Temperatura máxima 72°C. Fuente: Original.	101
Figura 82. Imagen térmica a los 30 segundos durante la prueba con el fluido base. Temperatura máxima 68°C. Fuente: Original.	102
Figura 83. Imagen térmica a los 45 segundos durante la prueba con el fluido base. Temperatura máxima 58°C Fuente: Original.	102
Figura 84. Imagen térmica a los 60 segundos durante la prueba con el fluido base. Temperatura máxima 55°C. Fuente: Original.	102
Figura 85. Representación gráfica del perfil de temperaturas durante la prueba de taladro con el fluido base. Fuente: Original.	103
Figura 86. Evolución de las temperaturas durante la prueba de taladro con el fluido base. Fuente: Original.	103
Figura 87. Imagen térmica a los 15 segundos durante la prueba con AC50AG50 + 1% A200. Temperatura máxima 69°C. Fuente: Original.	104
Figura 88. Imagen térmica a los 30 segundos durante la prueba con AC50AG50 + 1% A200. Temperatura máxima 68°C. Fuente: Original.	104
Figura 89. Imagen térmica a los 45 segundos durante la prueba con AC50AG50 + 1% A200. Temperatura máxima 64°C Fuente: Original.	104
Figura 90. Imagen térmica a los 60 segundos durante la prueba con AC50AG50 + 1% A200. Temperatura máxima 56°C .Fuente: Original.	105
Figura 91. Representación gráfica del perfil de temperaturas durante la prueba de taladro con AC50AG50 + 1% A200. Fuente: Original.	105
Figura 92. Evolución de las temperaturas durante la prueba de taladro con AC50AG50 + 1% A200. Fuente: Original.	106

Figura 93. Imagen térmica a los 15 segundos durante la prueba con AC50AG50 + 2% A200. Temperatura máxima 57°C. Fuente: Original.	106
Figura 94. Imagen térmica a los 30 segundos durante la prueba con AC50AG50 + 2% A200. Temperatura máxima 69°C Fuente: Original.	107
Figura 95. Imagen térmica a los 45 segundos durante la prueba con AC50AG50 + 2% A200. Temperatura máxima 68°C. Fuente: Original.	107
Figura 96. Imagen térmica a los 60 segundos durante la prueba con AC50AG50 + 2% A200. Temperatura máxima 63°C. Fuente: Original.	107
Figura 97. Representación gráfica del perfil de temperaturas durante la prueba de taladro con AC50AG50 + 2% A200. Fuente: Original.	108
Figura 98. Evolución de las temperaturas durante la prueba de taladro con AC50AG50 + 2% A200. Fuente: Original.	108
Figura 99. Imagen térmica a los 15 segundos durante la prueba con AC50AG50 + 3% A200. Temperatura máxima 56°C. Fuente: Original.	109
Figura 100. Imagen térmica a los 30 segundos durante la prueba con AC50AG50 + 3% A200. Temperatura máxima 59°C. Fuente: Original.	109
Figura 101. Imagen térmica a los 45 segundos durante la prueba con AC50AG50 + 3% A200. Temperatura máxima 57°C. Fuente: Original.	109
Figura 102. Imagen térmica a los 60 segundos durante la prueba con AC50AG50 + 3% A200. Temperatura máxima 59°C. Fuente: Original.	110
Figura 103. Representación gráfica del perfil de temperaturas durante la prueba de taladro con AC50AG50 + 3% A200. Fuente: Original.	110
Figura 104. Evolución de las temperaturas durante la prueba de taladro con AC50AG50 + 3% A200. Fuente: Original.	111
Figura 105. Imagen térmica a los 15 segundos durante la prueba con AC50AG50 + 4% A200. Temperatura máxima 61°C. Fuente: Original.	111
Figura 106. Imagen térmica a los 30 segundos durante la prueba con AC50AG50 + 4% A200. Temperatura máxima 66°C. Fuente: Original.	112
Figura 107. Imagen térmica a los 45 segundos durante la prueba con AC50AG50 + 4% A200. Temperatura máxima 69°C. Fuente: Original.	112
Figura 108. Imagen térmica a los 60 segundos durante la prueba con AC50AG50 + 4% A200. Temperatura máxima 65°C. Fuente: Original.	112
Figura 109. Representación gráfica del perfil de temperaturas durante la prueba de taladro con AC50AG50 + 4% A200. Fuente: Original.	113
Figura 110. Evolución de las temperaturas durante la prueba de taladro con AC50AG50 + 4% A200. Fuente: Original.	113
Figura 111. Media de la evolución de las temperaturas durante las pruebas de taladro. Fuente: Original.	114

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición aproximada del coco según las diferentes referencias. Fuente: Dubán et al., 2020.....	29
Tabla 2. Información nutricional del aceite de coco de la muestra. Fuente: Mercadona. (2024).	31
Tabla 3. Composición proximal del aceite de girasol. Fuente: Goyal et al. (2018).	33
Tabla 4. Información nutricional del aceite de girasol. Fuente: Mercadona. (2024).....	34
Tabla 5. Ficha técnica del baño termostático. Fuente: Huber (2024).....	44
Tabla 6. Ficha técnica del KD 2 Pro Decagon Devices. Fuente: High Tech Service S.A.C. (2024)	47
Tabla 7. Sensores del KD 2 Pro Decagon Devices. Fuente: High Tech Service S.A.C. (2024). ..	48
Tabla 8. Reómetro Gemini y sus elementos respecto a la imagen. Fuente: Original	50
Tabla 9. Ficha técnica del Reómetro. Fuente: Malvern. (2009).....	51
Tabla 10. Reómetro Haake y elementos complementarios. Fuente: Original.	54
Tabla 11. Especificaciones del reómetro Haake RheoStress 600. Fuente: Thermo Scientific (2008).	54
Tabla 12. Cantidades en ml de los fluidos base para la preparación de las muestras. Fuente: Original.	59
Tabla 13. Volúmenes de cada sustancia para la preparación de las muestras. Fuente: Original.	61
Tabla 14. Expresiones matemáticas de la conductividad frente a la temperatura para muestra. Fuente: Original.	78
Tabla 15. Expresiones matemáticas de la conductividad frente a la concentración para cada muestra. Fuente: Original.	81
Tabla 16. Expresiones obtenidas por el ajuste lineal de la viscosidad frente a la fracción en volumen. Fuente: Original.....	98
Tabla 17. Valores de las medias de la evolución de temperaturas durante las pruebas de taladro. Fuente: Original.	115
Tabla 18. Valores constantes utilizados para el cálculo de las concentraciones de las muestras. Fuente: Original.	123
Tabla 19. Incertidumbre del experimento 1. Fuente: Original.	128
Tabla 20. Incertidumbre del experimento 2. Fuente: Original.	129
Tabla 21. Incertidumbre del experimento 3. Fuente: Original.	130
Tabla 22. Incertidumbre del experimento 4. Fuente: Original.	131
Tabla 23. Incertidumbre del experimento 5. Fuente: Original.	133
Tabla 24. Incertidumbre del experimento 6. Fuente: Original.	134
Tabla 25. Incertidumbre del experimento 6. Fuente: Original.	135
Tabla 26. Incertidumbre del experimento 8. Fuente: Original.	137
Tabla 27. Incertidumbre del experimento 9. Fuente: Original.	138
Tabla 28. Datos de la conductividad térmica del aceite de coco puro a 5°C. Fuente: Original.	138
Tabla 29. Datos de la conductividad térmica del aceite de coco puro a 10°C. Fuente: Original.	139
Tabla 30. Datos de la conductividad térmica del aceite de coco puro a 15°C. Fuente: Original.	139
Tabla 31. Datos de la conductividad térmica del aceite de coco puro a 20°C. Fuente: Original.	139

Tabla 32. Datos de la conductividad térmica del aceite de coco puro a 25°C. Fuente: Original.	140
Tabla 33. Datos de la conductividad térmica del aceite de coco puro a 30°C. Fuente: Original.	140
Tabla 34. Datos de la conductividad térmica del aceite de coco puro a 35°C. Fuente: Original.	140
Tabla 35. Datos de la conductividad térmica del aceite de coco puro a 40°C. Fuente: Original.	141
Tabla 36. Datos de la conductividad térmica del aceite de coco puro a 45°C. Fuente: Original.	141
Tabla 37. Datos de la conductividad térmica del aceite de coco puro a 60°C. Fuente: Original.	141
Tabla 38. Datos de la conductividad térmica del 90% aceite de coco y 10% aceite de girasol a 5°C. Fuente: Original.	142
Tabla 39. Datos de la conductividad térmica del 90% aceite de coco y 10% aceite de girasol a 10°C. Fuente: Original.	142
Tabla 40. Datos de la conductividad térmica del 90% aceite de coco y 10% aceite de girasol a 15°C. Fuente: Original.	143
Tabla 41. Datos de la conductividad térmica del 90% aceite de coco y 10% aceite de girasol a 20°C. Fuente: Original.	143
Tabla 42. Datos de la conductividad térmica del 90% aceite de coco y 10% aceite de girasol a 25°C. Fuente: Original.	143
Tabla 43. Datos de la conductividad térmica del 90% aceite de coco y 10% aceite de girasol a 30°C. Fuente: Original.	144
Tabla 44. Datos de la conductividad térmica del 90% aceite de coco y 10% aceite de girasol a 35°C. Fuente: Original.	144
Tabla 45. Datos de la conductividad térmica del 90% aceite de coco y 10% aceite de girasol a 40°C. Fuente: Original.	144
Tabla 46. Datos de la conductividad térmica del 90% aceite de coco y 10% aceite de girasol a 45°C. Fuente: Original.	145
Tabla 47. Datos de la conductividad térmica del 90% aceite de coco y 10% aceite de girasol a 60°C. Fuente: Original.	145
Tabla 48. Datos de la conductividad térmica del 90% aceite de coco y 10% aceite de girasol a 90°C. Fuente: Original.	145
Tabla 49. Datos de la conductividad térmica del 50% aceite de coco y 50% aceite de girasol a 5°C. Fuente: Original.	146
Tabla 50. Datos de la conductividad térmica del 50% aceite de coco y 50% aceite de girasol a 10°C. Fuente: Original.	146
Tabla 51. Datos de la conductividad térmica del 50% aceite de coco y 50% aceite de girasol a 15°C. Fuente: Original.	147
Tabla 52. Datos de la conductividad térmica del 50% aceite de coco y 50% aceite de girasol a 20°C. Fuente: Original.	147
Tabla 53. Datos de la conductividad térmica del 50% aceite de coco y 50% aceite de girasol a 25°C. Fuente: Original.	147
Tabla 54. Datos de la conductividad térmica del 50% aceite de coco y 50% aceite de girasol a 30°C. Fuente: Original.	148
Tabla 55. Datos de la conductividad térmica del 50% aceite de coco y 50% aceite de girasol a 35°C. Fuente: Original.	148

Tabla 56. Datos de la conductividad térmica del 50% aceite de coco y 50% aceite de girasol a 40°C. Fuente: Original.....	148
Tabla 57. Datos de la conductividad térmica del 50% aceite de coco y 50% aceite de girasol a 45°C. Fuente: Original.....	149
Tabla 58. Datos de la conductividad térmica del 50% aceite de coco y 50% aceite de girasol a 60°C. Fuente: Original.....	149
Tabla 59. Datos de la conductividad térmica del 50% aceite de coco y 50% aceite de girasol a 90°C. Fuente: Original.....	149
Tabla 60. Datos de la conductividad térmica del 10% aceite de coco y 90% aceite de girasol a 5°C. Fuente: Original.....	150
Tabla 61. Datos de la conductividad térmica del 10% aceite de coco y 90% aceite de girasol a 10°C. Fuente: Original.....	150
Tabla 62. Datos de la conductividad térmica del 10% aceite de coco y 90% aceite de girasol a 15°C. Fuente: Original.....	151
Tabla 63. Datos de la conductividad térmica del 10% aceite de coco y 90% aceite de girasol a 20°C. Fuente: Original.....	151
Tabla 64. Datos de la conductividad térmica del 10% aceite de coco y 90% aceite de girasol a 25°C. Fuente: Original.....	151
Tabla 65. Datos de la conductividad térmica del 10% aceite de coco y 90% aceite de girasol a 30°C. Fuente: Original.....	152
Tabla 66. Datos de la conductividad térmica del 10% aceite de coco y 90% aceite de girasol a 35°C. Fuente: Original.....	152
Tabla 67. Datos de la conductividad térmica del 10% aceite de coco y 90% aceite de girasol a 40°C. Fuente: Original.....	152
Tabla 68. Datos de la conductividad térmica del 10% aceite de coco y 90% aceite de girasol a 45°C. Fuente: Original.....	153
Tabla 69. Datos de la conductividad térmica del 10% aceite de coco y 90% aceite de girasol a 60°C. Fuente: Original.....	153
Tabla 70. Datos de la conductividad térmica del 10% aceite de coco y 90% aceite de girasol a 90°C. Fuente: Original.....	153
Tabla 71. Datos de la conductividad térmica del aceite de girasol a 5°C. Fuente: Original....	154
Tabla 72. Datos de la conductividad térmica del aceite de girasol a 10°C. Fuente: Original... 154	154
Tabla 73. Datos de la conductividad térmica del aceite de girasol a 15°C. Fuente: Original... 155	155
Tabla 74. Datos de la conductividad térmica del aceite de girasol a 20°C. 155	155
Tabla 75. Datos de la conductividad térmica del aceite de girasol a 25°C. Fuente: Original.. 155	155
Tabla 76. Datos de la conductividad térmica del aceite de girasol a 30°C. Fuente: Original... 156	156
Tabla 77. Datos de la conductividad térmica del aceite de girasol a 35°C.Fuente: Original.... 156	156
Tabla 78. Datos de la conductividad térmica del aceite de girasol a 40°C. Fuente: Original... 156	156
Tabla 79. Datos de la conductividad térmica del aceite de girasol a 45°C. Fuente: Original... 157	157
Tabla 80. Datos de la conductividad térmica del aceite de girasol a 60°C. Fuente: Original... 157	157
Tabla 81. Datos de la conductividad térmica del aceite de girasol a 90°C. Fuente: Original... 157	157
Tabla 82. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 1% de A200 a 5°C. Fuente: Original. 158	158
Tabla 83. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 1% de A200 a 10°C. Fuente: Original. 158	158
Tabla 84. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 1% de A200 a 15°C. Fuente: Original. 159	159

Tabla 85. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 1% de A200 a 20°C. Fuente: Original.	159
Tabla 86. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 1% de A200 a 25°C. Fuente: Original.	159
Tabla 87. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 1% de A200 a 30°C. Fuente: Original.	160
Tabla 88. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 1% de A200 a 35°C. Fuente: Original.	160
Tabla 89. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 1% de A200 a 40°C. Fuente: Original.	160
Tabla 90. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 1% de A200 a 45°C. Fuente: Original.	161
Tabla 91. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 1% de A200 a 60°C. Fuente: Original.	161
Tabla 92. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 1% de A200 a 90°C. Fuente: Original.	161
Tabla 93. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 2% de A200 a 5°C. Fuente: Original.	162
Tabla 94. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 2% de A200 a 10°C. Fuente: Original.	162
Tabla 95. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 2% de A200 a 15°C. Fuente: Original.	163
Tabla 96. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 2% de A200 a 20°C.	163
Tabla 97. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 2% de A200 a 25°C. Fuente: Original.	163
Tabla 98. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 2% de A200 a 30°C. Fuente: Original.	164
Tabla 99. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 2% de A200 a 35°C. Fuente: Original.	164
Tabla 100. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 2% de A200 a 40°C.	164
Tabla 101. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 2% de A200 a 45°C.	165
Tabla 102. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 2% de A200 a 60°C.	165
Tabla 103. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 2% de A200 a 90°C. Fuente: Original.	165
Tabla 104. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 3% de A200 a 5°C. Fuente: Original.	166
Tabla 105. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 3% de A200 a 10°C. Fuente: Original.	166
Tabla 106. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 3% de A200 a 15°C.	167
Tabla 107. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 3% de A200 a 20°C.	167
Tabla 108. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 3% de A200 a 25°C. Fuente: Original.	167

Tabla 109. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 3% de A200 a 30°C. Fuente: Original.	168
Tabla 110. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 3% de A200 a 35°C. Fuente: Original.	168
Tabla 111. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 3% de A200 a 40°C. Fuente: Original.	168
Tabla 112. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 3% de A200 a 45°C. Fuente: Original.	169
Tabla 113. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 3% de A200 a 60°C. Fuente: Original.	169
Tabla 114. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 3% de A200 a 90°C. Fuente: Original.	169
Tabla 115. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 4% de A200 a 5°C. Fuente: Original.	170
Tabla 116. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 4% de A200 a 10°C. Fuente: Original.	170
Tabla 117. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 4% de A200 a 15°C. Fuente: Original.	171
Tabla 118. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 4% de A200 a 20°C. Fuente: Original.	171
Tabla 119. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 4% de A200 a 25°C. Fuente: Original.	171
Tabla 120. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 3% de A200 a 30°C. Fuente: Original.	172
Tabla 121. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 4% de A200 a 35°C. Fuente: Original.	172
Tabla 122. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 4% de A200 a 40°C. Fuente: Original.	172
Tabla 123. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 4% de A200 a 45°C. Fuente: Original.	173
Tabla 124. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 4% de A200 a 60°C. Fuente: Original.	173
Tabla 125. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 4% de A200 a 90°C. Fuente: Original.	173
Tabla 126. Datos de la conductividad térmica relativa para el ajuste lineal de la suspensión al 1% de A200. Fuente: Original.	176
Tabla 127. Datos de la conductividad térmica relativa para el ajuste lineal de la suspensión al 1% de A200. Fuente: Original.	176
Tabla 128. Datos de la conductividad térmica relativa para el ajuste lineal de la suspensión al % de A200. Fuente: Original.	176
Tabla 129. Datos de la conductividad térmica relativa para el ajuste lineal de la suspensión al 4 % de A200. Fuente: Original.	177
Tabla 130. Ajuste lineal de la conductividad térmica frente a la temperatura. Fuente: Original.	177
Tabla 131. Datos de la conductividad térmica relativa para el ajuste lineal a los 35°C. Fuente: Original.	178
Tabla 132. Datos de la conductividad térmica relativa para el ajuste lineal a los 40°C. Fuente: Original.	178

Tabla 133. Valores de la conductividad térmica relativa para el ajuste lineal a los 45°C. Fuente: Original.	178
Tabla 134. Valores de la conductividad térmica relativa para el ajuste lineal a los 60°C. Fuente: Original.	179
Tabla 135. Valores de la conductividad térmica relativa para el ajuste lineal a los 90°C. Fuente: Original.	179
Tabla 136. Ajuste lineal de la conductividad térmica frente a la fracción en volumen. Fuente: Original.	179
Tabla 137. Datos de viscosidad para el aceite de coco 50% y aceite de girasol 50% durante el barrido de temperatura a 5s-1, 0,5°C/min, desde los 35 a los 10°C. Fuente: Original.	182
Tabla 138. Datos de viscosidad para el aceite de coco 50%, aceite de girasol 50% y 1% de A200 durante el barrido de temperatura a 5s-1, 0,5°C/min, desde los 35 a los 10°C.	184
Tabla 139. Datos de viscosidad para el aceite de coco 50%, aceite de girasol 50% y 2% de A200 durante el barrido de temperatura a 5s-1, 0,5°C/min, desde los 35 a los 10°C. Fuente: Original.	186
Tabla 140. Datos de viscosidad para el aceite de coco 50%, aceite de girasol 50% y 3% de A200 durante el barrido de temperatura a 5s-1, 0,5°C/min, desde los 37 a los -2°C. Fuente: Original.	187
Tabla 141. Datos de viscosidad para el aceite de coco 50%, aceite de girasol 50% y 4% de A200 durante el barrido de temperatura a 5s-1, 0,5°C/min, desde los 37 a los 5°C- Fuente: Original.	188
Tabla 142. Curva de flujo de todas las suspensiones y el fluido base a 35°C. Fuente: Original.	189
Tabla 143. Curva de flujo de todas las suspensiones y el fluido base a 30°C. Fuente: Original.	190
Tabla 144. Curva de flujo de todas las suspensiones y el fluido base a 28°C. Fuente: Original.	191
Tabla 145. Curva de flujo de todas las suspensiones y el fluido base a 26°C. Fuente: Original.	192
Tabla 146. Curva de flujo de todas las suspensiones y el fluido base a 24°C. Fuente: Original.	193
Tabla 147. Curva de flujo de todas las suspensiones y el fluido base a 22°C. Fuente: Original.	194
Tabla 148. Curva de flujo de todas las suspensiones y el fluido base a 20°C. Fuente: Original.	195
Tabla 149. Curva de flujo de todas las suspensiones y el fluido base a 18°C. Fuente: Original.	196
Tabla 150. Curva de flujo de todas las suspensiones y el fluido base a 16°C. Fuente: Original.	197
Tabla 151. Curva de flujo de todas las suspensiones y el fluido base a 14°C. Fuente: Original.	198
Tabla 152. Valores de la viscosidad relativa para el ajuste lineal a los 35°C. Fuente: Original.	199
Tabla 153. Valores de la viscosidad relativa para el ajuste lineal a los 30°C. Fuente: Original.	199
Tabla 154. Valores de la viscosidad relativa para el ajuste lineal a los 28°C. Fuente: Original.	199



Tabla 155. Valores de la viscosidad relativa para el ajuste lineal a los 26°C. Fuente: Original.	200
Tabla 156. Valores de la viscosidad relativa para el ajuste lineal a los 24°C. Fuente: Original.	200
Tabla 157. Valores de la viscosidad relativa para el ajuste lineal a los 22°C. Fuente: Original.	200
Tabla 158. Valores de la viscosidad relativa para el ajuste lineal a los 20°C. Fuente: Original.	201
Tabla 159. Valores de la viscosidad relativa para el ajuste lineal a los 18°C. Fuente: Original.	201
Tabla 160. Valores de la viscosidad relativa para el ajuste lineal a los 16°C. Fuente: Original.	201
Tabla 161. Ajuste lineal de la conductividad térmica frente a la fracción en volumen. Fuente: Original.	202

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	19
1.1. Introducción	19
1.2. Antecedentes	23
1.3. Justificación del trabajo	26
1.4. Objetivos	28
2. MATERIALES	29
2.1. Aceite de coco	29
2.2. Aceite de girasol	33
2.3. Óxido de silicio hidrofílico-A200	37
3. INSTRUMENTOS	40
3.1. Micropipetas	40
3.2. Balanza de precisión	41
3.3. Baño termostático	42
3.4. KD2 Pro Decagon Devices	44
3.5. Reómetro	48
3.5.1. Reómetro Genini Bohlin	49
3.5.2. Reómetro Haake RheoStress 600	53
3.6. Cámara termográfica	55
3.7. Taladro ERLO CR18	56
4. MÉTODOS EXPERIMENTALES	59
4.1. Preparación de las muestras	59
4.2. Medida de la conductividad térmica	62
4.3. Medida de la dilatación	65
4.4. Medida de la viscosidad	67
4.5. Imágenes termográficas	71
5. RESULTADOS EXPERIMENTALES	74
5.1. Conductividad térmica	74
5.1.1. Conductividad térmica en función de la temperatura	76
5.1.2. Conductividad térmica en función de la fracción en volumen	79
5.2. Estudio de la viscosidad	82
5.2.1. Viscosidad frente a la temperatura	82



5.2.2.	Curvas de flujo o curvas viscosidad-velocidad de cizalla	86
5.3.	PRUEBAS DE TALADRO.....	99
5.3.1.	Prueba de taladro en seco.....	99
5.2.2.	Pruebas de taladro con el fluido base (AC50AG50).....	101
5.2.3.	Pruebas de taladro con AC50AG50 +1% A200.....	104
5.3.4.	Pruebas de taladro con AC50AG50 + 2% A200.....	106
5.3.5.	Pruebas de taladro con AC50AG50 + 3% A200.....	109
5.3.6.	Pruebas de taladro con AC50AG50 + 4% A200.....	111
5.3.7.	Comparación entre todas las pruebas de taladro.....	114
6.	CONCLUSIONES.....	116
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	118
8.	ANEXOS.....	123
	ANEXO A. CÁLCULO Y PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS.....	123
	ANEXO B. CÁLCULO DE CONDUCTIVIDADES TÉRMICAS.....	126
	<i>B.I. Cálculo de la incertidumbre.....</i>	126
	<i>B.III. Resultados numéricos</i>	138
	ANEXO C. AJUSTES LINEALES PARA LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA.....	174
	<i>C.I. Ajuste lineal de la conductividad térmica relativa frente a la temperatura</i>	175
	<i>C.II. Ajuste lineal de la conductividad térmica relativa frente a la fracción en volumen</i>	177
	ANEXO D. CÁLCULO DE LA VISCOSIDAD.....	180
	<i>D.I. Barridos de temperatura</i>	180
	<i>D.II. Curvas de flujo.....</i>	188
	ANEXO E. AJUSTES LINEALES PARA LA VISCOSIDAD.....	198
	<i>E.I. Ajuste lineal para la viscosidad relativa frente a la concentración</i>	199



NOMENCLATURA

AC: Aceite de coco

AG: Aceite de girasol

A200: Óxido de silicio

k: Conductividad térmica

k_{rel}: Conductividad térmica relativa

η: Viscosidad dinámica

γ: Velocidad de cizalla

MQL: Mínimo fluido de corte

β: Coeficiente de dilatación

φ: Concentración (%)

v_c: Velocidad de corte

NF: Nanofluido

FB: Fluido base

NPs: Nanopartículas

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1. Introducción

Actualmente, el mecanizado desempeña un papel imprescindible en la industria, siendo uno de los objetivos principales la eficiencia y optimización de la elaboración de productos mediante estos procesos. Para lograr la transformación de un recurso básico en un producto final, se requiere el uso de maquinaria. En el caso de este proyecto, a través de la aplicación de fuerzas de corte, se obtiene la forma final deseada. Para conseguir esa eficiencia anteriormente mencionada es necesario el estudio de todos los agentes influyentes en esta actividad.

Una de las consecuencias de estas fuerzas de corte es el rozamiento y la creación de virutas. Para conseguir el buen funcionamiento de los equipos y reducir esta generación de calor consecuencia del rozamiento son necesarios los lubricantes y refrigerantes. Por esta razón, este proyecto se ha basado en el estudio de los fluidos y su comportamiento, con el fin de conseguir su aplicación en los procesos industriales de mecanizado. Los fluidos son capaces de adaptar su forma a cualquier recipiente que los contenga, consiguiendo fluir y deformarse fácilmente. Estas características hacen que este tipo de materiales sean de gran ayuda durante los procesos industriales.

Los flujos usados en el ámbito de mecanizado son los denominados ‘fluidos de corte’. Estas sustancias son capaces de mejorar el proceso de corte, incrementando incluso la calidad de las piezas obtenidas. Los fluidos de corte sirven como lubricantes y refrigerantes, por esta razón son capaces de ahorrar energía, reduciendo el tiempo y la fuerza de mecanizado. También tienen propiedades anticorrosivas y protegen de la oxidación eliminando las virutas de la zona de corte. Así también consiguen proteger y mantener limpia la superficie de la pieza y, por tanto, las herramientas de corte.

La Reología es ‘la ciencia del flujo y la deformación’. Tiene su origen durante el siglo XX. La producción de polímeros demostró que estos materiales presentaban unos comportamientos extraños. La ecuación de los fluidos Newtonianos ya no era capaz de explicar el flujo ordinario de los materiales. Este suceso generó la necesidad de crear una nueva disciplina que definiese estos comportamientos. Fue inventada por E.C. Bingham en 1928 y un año después se creó la Sociedad Americana de Reología. Estudia las

propiedades mecánicas de gases, líquidos plásticos, materiales cristalinos y otros. (*Rubio-Hernández, 2022*).

Esta ciencia es utilizada por numerosas empresas de las industrias cosmética, agroalimentaria, farmacéutica, etc. El conocimiento de las propiedades reológicas de los alimentos es de gran utilidad por la cantidad de aplicaciones que tienen, entre ellas están:

- **Diseño de maquinaria y desarrollo de procesos en ingeniería:** Gracias a las propiedades reológicas, de flujo y deformación de los alimentos, es posible calcular y calibrar equipos como bombas, turbinas, taques de almacenamiento, cintas transportadoras, tuberías o pulverizadores, para manejar más fácilmente los alimentos. Esto se lleva a cabo estudiando la cantidad de movimiento, el calor y la energía. La viscosidad de las materias primas es de gran ayuda para definir con exactitud las características necesarias de los equipos y procesos para llevar a cabo cada tarea.
- **Recopilar datos sobre su estructura:** Un análisis reológico de un material puede definir qué tipo de distribución tiene, así como su estructura macromolecular. Esto puede ser de gran ayuda para prever qué tipo de cambios experimentará durante los procesos de fabricación. Además, permite entender el comportamiento del material dependiendo de las condiciones en las que se encuentre, o incluso el producto final.
- **Control de calidad:** El estudio reológico tiene como finalidad controlar si el proceso productivo funciona de correctamente, a la vez que acepta o no las materias primas. Para llevar a cabo dicho control se tienen en cuenta las propiedades físicas y estructura, así como su viscosidad del material, para controlar el proceso y los productos finales.
- **Evaluación sensorial:** Mediante los datos reológicos obtenidos se pueden modificar procesos de elaboración o incluso la textura de algunos alimentos.
- **Desarrollo de productos:** Gracias a las propiedades reológicas se puede desarrollar un producto final siguiendo la demanda del mercado y de los consumidores.

El campo dedicado a la Reología no incluye a los fluidos Newtonianos dentro de su estudio, ya que estos forman parte de la mecánica de fluidos. La investigación de esta rama de la física explica las propiedades viscoelásticas de los fluidos de corte. Esto lo hace con parámetros como la viscosidad, el esfuerzo cortante y el índice de fluidez. Son propiedades muy importantes a la hora de penetrar en la zona de corte y lubricación. (*Rubio-Hernández, 2022*).

Cuando se estudian estas propiedades de los materiales es importante cerciorarse de a qué clase de flujo pertenece. En un fluido newtoniano la relación entre la fuerza aplicada y la velocidad de flujo es lineal. Puede fluir, aunque el esfuerzo al que esté sometido sea muy pequeño. La relación entre la fuerza aplicada y la velocidad de flujo es lineal. El mejor ejemplo de fluido Newtoniano es el agua, su viscosidad no cambia, independientemente de que esté en reposo o fluyendo. En cambio, en un fluido no-Newtoniano la viscosidad depende del esfuerzo al que está sometido, y no solo de la temperatura y la presión.

Por tanto, la Reología se ocupa de los fluidos no-Newtonianos. Dichos materiales pueden presentar comportamientos de líquido y de sólido. Se estudian los sólidos que muestran un comportamiento viscoso, es decir, sólidos viscoelásticos, así como los líquidos, que pueden mostrar un comportamiento elástico, líquidos viscoelásticos, o de líquidos viscosos.

En la *Figura 1* se muestra uno de los ensayos más comunes dentro de este campo, la curva de flujo. Es una representación gráfica de la relación entre el esfuerzo cortante de cizalla y la velocidad de corte del fluido.

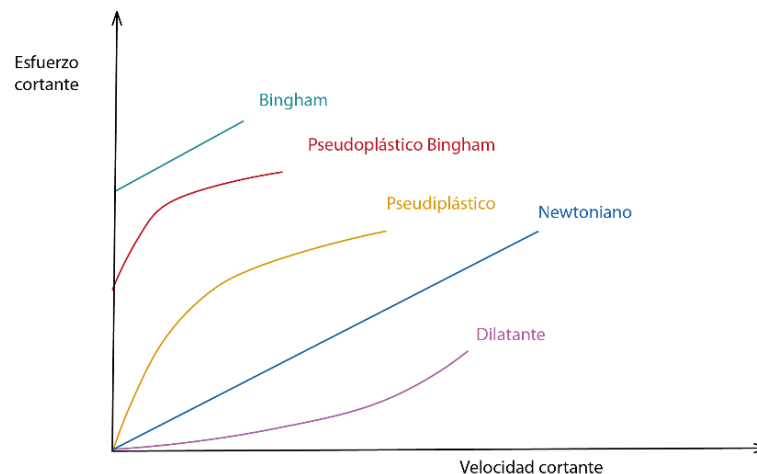


Figura 1. Curvas de flujo para diferentes tipos de fluidos. Fuente: Original

Dentro de los fluidos no-Newtonianos pueden aparecer diferentes comportamientos:

- Viscosos no-lineales: Estos son capaces de disipar toda la energía que se les cede. La viscosidad es dependiente de la velocidad de deformación o de la fuerza que se les aplique.
- Viscoelásticos: El material tiene un comportamiento elástico y viscoso de forma simultánea, dependiendo su actividad predominante, del tiempo de respuesta característico del material (tiempo de relajación) y de la intensidad de la deformación que se le aplique.

Al clasificar un material como líquido o sólido hay que tener en cuenta varios factores como la intensidad o la duración de las fuerzas que son aplicadas a dicho material. Los líquidos viscosos no lineales dependen de la velocidad de deformación, sin embargo, los líquidos viscosos dependientes del tiempo varían según el instante en el que se mida (tiempo al que estén expuestos a dicha deformación). En la *Figura 2* se muestra gráficamente el comportamiento de los fluidos dependiendo de qué tipo de líquido viscoso sea.

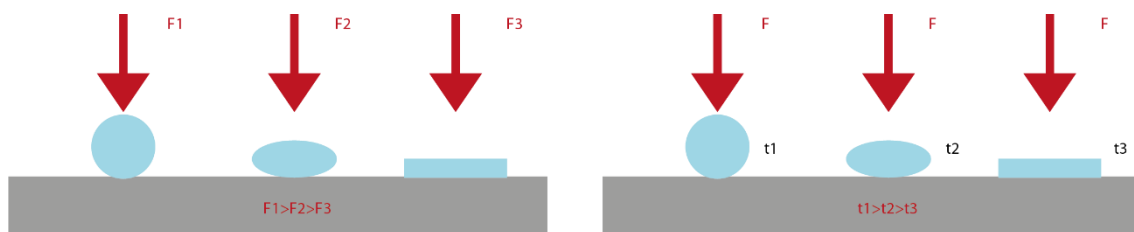


Figura 2. Deformación de los fluidos no-Newtonianos en función del valor de la fuerza o del tiempo que es aplicada.

Fuente: Original.

Dentro de la fabricación industrial, el uso de refrigerantes-lubricantes juega un papel muy importante. Las propiedades reológicas, y más en concreto el estudio de la viscosidad, así como la conductividad térmica definen a la perfección qué clase de función puede cumplir un fluido. Las principales funciones de un lubricante consisten en disipar el calor en las partes más críticas del equipo, y proteger la superficie metálica de la corrosión y de la fricción creando una capa protectora entre la pieza y la máquina.

Para conseguir la mejor elección de materiales se estudiará a fondo la conductividad térmica de los fluidos, es decir, la resistencia que opone el material a transferir el calor a otra capa a diferente temperatura. Cuanto mayor sea su conductividad, más facilidad tendrá para transferir el calor. También se recopilarán datos de la viscosidad, que mide la resistencia que opone el fluido a ser desplazado entre sus diferentes capas.

1.2. Antecedentes

Los nanofluidos son mezclas de fluidos base y partículas de dimensiones nanométricas (100 nanómetros). El desarrollo de estas sustancias se debe a que los fluidos poseen una capacidad térmica significativamente inferior a la de los sólidos. Por lo tanto, al añadirle partículas sólidas a los fluidos mejoran las propiedades térmicas y la eficiencia en la transferencia de calor. (*Vieira et al., 2017*).

En la práctica, la investigación de los nanofluidos y sus aplicaciones requieren un gran desarrollo, ya que los resultados obtenidos son muy variados. Sin embargo, hay ciertos factores que afectan más a su comportamiento y a la forma que tienen de transferir el calor. Estas son tamaño, forma y concentración en volumen de las nanopartículas suspendidas en el fluido base, así como la temperatura, conductividad térmica y comportamiento de flujo del propio fluido. (*Vieira et al., 2017*).

La mayoría de los fluidos de corte que se comercializan son derivados del petróleo. Esto conlleva la contaminación de los recursos naturales como pueden ser el agua, el aire, los suelos e incluso los propios alimentos que ingerimos. Esta es una de las razones por las que se han llevado a cabo investigaciones en busca de alternativas ecológicas, centradas en el uso de aceites vegetales como lubricantes-refrigerantes. En 2007 se observó un aumento del 3% en el uso de este tipo de fluidos en Estados Unidos, demostrando así que estas sustancias son viables para su uso como fluidos de corte. (*Shashidhara & Jayaram, 2010*).

Además de la acción contaminante de este tipo de fluidos, los lubricantes pueden suponer hasta el 17% de los gastos de producción en la industria, siendo el coste de eliminación de éstos mayor incluso que el del petróleo. (*Shashidhara & Jayaram, 2010*).

Para reducir el impacto negativo de los lubricantes-refrigerantes se proponen varias alternativas:

- Mecanizado en seco o “Dry machining”
- Mecanizado asistido por aire comprimido
- Mecanizado a alta velocidad (MAV)
- Sistema de mínimo fluido de corte o “Minimal Quantity Lubricant” (MQL)
- Aceites vegetales

El método convencional de mecanizado denominado de “inundación por chorro” consiste en aplicar una gran cantidad de fluido sobre la zona de corte, disminuyendo la temperatura y reduciendo el rozamiento entre la herramienta y la pieza. Para evitar este derroche de fluido se ideó el método basado en la mínima cantidad de lubricante (MQL). Esta técnica se basa en la utilización de una cantidad muy pequeña de aceite (menos de 50 ml/h) para lubricar-refrigerar. Mediante unos conductos internos el aire comprimido y el aceite se mezclan y se lanzan a la superficie utilizando una boquilla. Así se reduce el consumo y el impacto ambiental. Además de estas cualidades tiene otras ventajas como mejorar la calidad de la pieza o alargar la vida de la herramienta.

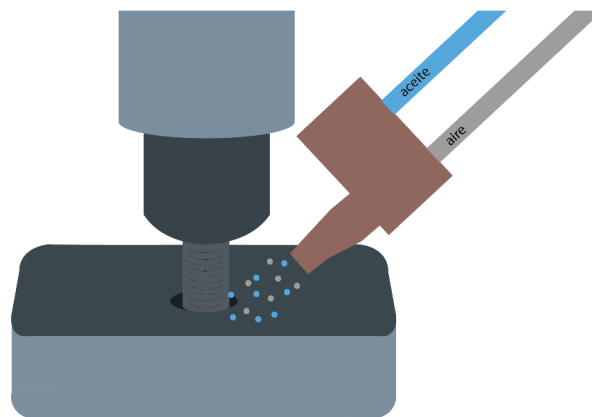


Figura 3. Esquema del método MQL. Fuente: Original.

En la *Figura 3* se muestra gráficamente como se lleva a cabo el método citado anteriormente. Este método enfría menos que el método tradicional, por esta razón es utilizado para el mecanizado de metales blandos, ya que durante la mecanización de metales duros se generan temperaturas muy altas, aunque sí que garantiza una buena

lubricación y la eliminación de viruta aumenta debido a la presión del aire comprimido. (*Attanasio et al. 2006*). Gracias a esto se consigue reducir hasta un 95% del consumo de aceite frente al método de inundación. (*López de Lacalle et al. 2006*). La efectividad de este método ha sido estudiada con diferentes tipos de aceites vegetales, lubricantes sintéticos, etc. (*Paturi et al. 2016*) (*Uysal et al. 2015*).

Los aceites vegetales han sido utilizados durante miles de años, pudiéndonos remontar incluso a Egipto, Grecia o Roma. A lo largo de los años, su uso se ha extendido en diversas áreas hasta la actualidad, donde muchas industrias han adoptado esta alternativa debido a las restricciones medioambientales, aumentando su popularidad cada vez más.

Este tipo de aceites tienen una estructura química basada en los triglicéridos, como se muestra en la *Figura 4*. Tienen como base una molécula de glicerol esterificada con tres moléculas de ácidos grasos (saturados o insaturados). Estos ácidos son los encargados de definir las propiedades físicas y químicas del aceite y son clave para este proceso, ya que gracias a su polaridad genera películas moleculares. (*Afonso et al. 2023*).

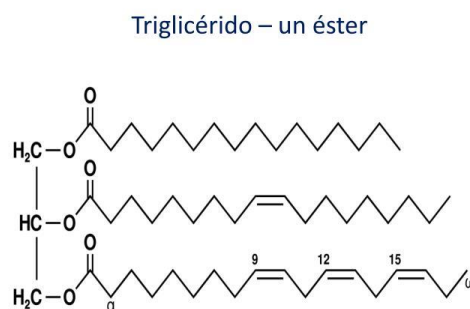


Figura 4. Estructura molecular de los triglicéridos. Fuente: Ramírez-Vivoni & Vivoni-Alonso, 2014.

A estos aceites se les añaden aditivos o nanopartículas para crear lubricantes. La elección entre aditivos o nanopartículas es de gran importancia ya que pueden modificar el desarrollo del mecanizado. Las nanopartículas más comunes pueden ser el grafeno, nanotubos de carbono y alúmina. (*Afonso et al. 2023*).

1.3. Justificación del trabajo

Como se ha mencionado previamente los aceites lubricantes y refrigerantes actuales tienen gran impacto ambiental y económico, ya que generan gran cantidad de residuos y necesitan un mantenimiento constante. Además, son bien conocidos los efectos de los fluidos de corte en la salud del operario, por lo que en las últimas décadas ha crecido el interés de encontrar alternativas para disminuir o atenuar estos inconvenientes. Por esta razón se buscan fluidos de corte ecológicos y eficientes, que sean capaces de reducir la emisión de sustancias contaminantes y tóxicas y, el consumo energético. Recientemente, los fluidos de corte han incluido nanopartículas (NPs) en su composición. El uso de nano-aditivos en forma de NPs es altamente eficiente debido a su alta actividad química y biológica. Las NPs dispersas en un fluido (nanofluido), pueden penetrar fácilmente entre las superficies de fricción. Estos llamados nano-lubricantes han acaparado mucho la atención en las técnicas de mecanizado dentro de los procesos de fabricación. Diversas investigaciones (*Ganvir et al., 2017; Adil et al., 2023*) han propuesto NPs como aditivos para fluidos de corte en varios procesos de maquinado tales como: taladrado, torneado, fresado y brochado, entre otros. Los objetivos son:

- Reducción de la fricción y el consumo de energía.
- Mejora de la transferencia de calor lejos del área de corte.
- Mayor resistencia frente al ataque de bacterias y hongos.
- Menor fuerza de corte.
- Menor rugosidad de la superficie de la pieza de trabajo
- Mayor vida útil de las herramientas de corte.

Se estima que el desarrollo futuro del mecanizado se encamina al área de las nanopartículas. Las futuras investigaciones científicas, enfocadas al objetivo principal del desarrollo de una producción sostenible, deben incluir métodos de enfriamiento en procesos de mecanizado basados en el desarrollo de modelos complejos de suspensiones de nanopartículas estables; así como, estudiar la influencia del tamaño de partícula, concentración y composición de sólido, etc. entre otras, en las propiedades tribológicas y de transferencia de calor (*Ganvir et al., 2017, Wang et al. 2020*).

El aceite de coco (AC), es un producto natural, ampliamente conocido por su versatilidad y su capacidad de adaptación a múltiples aplicaciones. Sus usos varían desde la elaboración de alimentos hasta la industria cosmética, así como lubricantes en procesos de mecanizado. El aceite de coco se puede utilizar, puro como fluido base, o bien una mezcla de aceites vegetales con buenas propiedades lubricantes y buena estabilidad frente a la oxidación, para permitir su reciclado y posterior reutilización como fluidos de corte. Esto dependerá del uso que se le quiera dar al fluido lubricante-refrigerante, el tipo de material, la velocidad de corte, acabado superficial, profundidad de corte, etc. A su vez, el aceite de girasol posee buenas propiedades lubricantes y de estabilidad frente a la oxidación.

En este trabajo se propone una alternativa de fluidos de corte que conserve el medio ambiente, los nanofluidos, preparados con un fluido base consistente en una mezcla de aceites vegetales miscibles en el que se dispersan nanopartículas (partículas de tamaño inferior a los 100 nm) hasta formar una suspensión coloidal estable. Los fluidos elegidos para este proyecto han sido una mezcla entre aceite de coco y aceite de girasol en la proporción 1:1, a la que se adiciona polvo de óxido de silicio hidrófilo A200. Todas estas sustancias son naturales, renovables y biodegradables.

El aceite de coco experimenta un cambio de fase a temperaturas entre 20-22°C y el aceite de girasol a -17°C. La mezcla: aceite de coco y aceite de girasol en la proporción 1:1 solidifica próximo a los 5°C. La adición de partículas de sílice también modifica sus propiedades térmicas y de flujo (*Cortés et al. 2020*). Por tanto, para encontrar la composición más adecuada del nanofluido para su utilización en procesos de taladrado es imprescindible llevar a cabo un estudio de las propiedades térmicas y reológicas (comportamiento de flujo) del fluido base y las distintas suspensiones obtenidas al dispersar en éste las partículas de sílice A200.

1.4. Objetivos

Este estudio tiene como objetivo principal diseñar un fluido de corte mezclando dos aceites vegetales, aceite de coco (AC) y aceite de girasol (AG), en distintas proporciones. Tras realizar un análisis de sus conductividades térmicas a diferentes temperaturas en un rango de 5-90°C se añaden nanopartículas de óxido de silicio A200 al fluido base formado por 50% Aceite de coco y 50% Aceite de girasol (proporciones en volumen), con el objetivo de mejorar las propiedades térmicas y de flujo de este fluido base, generando así diversos nanofluidos. Se debe llevar a cabo un análisis de las conductividades térmicas y propiedades de flujo de dichos nanofluidos, y encontrar la composición óptima del fluido de corte para su aplicación a procesos de taladrado. El óxido de silicio se añade en diferentes concentraciones: 0,01, 0,02, 0,03 y 0,04 (proporciones en volumen).

Con este objetivo principal, los objetivos específicos del trabajo son los siguientes:

- Determinación de la conductividad térmica de las diferentes muestras, con distintas concentraciones de nanopartícula, en un amplio intervalo de temperaturas, a distintas temperaturas, teniendo en cuenta la fracción en volumen de cada fluido base y de las concentraciones de nanopartículas.
- Evaluación de las propiedades de flujo mediante curvas de viscosidad en función de la velocidad de deformación por cizalla y de la temperatura.
- Análisis de la microestructura de las suspensiones mediante micrografía óptica de luz polarizada.
- Aplicación de los nanofluidos, cuyas propiedades térmicas y de flujo sean adecuadas, a procesos de taladrado. La evaluación de la temperatura alcanzada durante dicho proceso de mecanizado se llevará a cabo haciendo uso de una cámara termográfica.

2. MATERIALES

Como se ha mencionado en el apartado anterior, el diseño de las muestras para el estudio ha sido realizado con una serie de materiales, aceite de coco, aceite de girasol y el óxido de silicio (A200). A continuación se van a detallar estos elementos.

2.1. Aceite de coco

El aceite de coco es un aceite vegetal que se extrae de la pulpa o carne de los Cocos de nucífera. Además del aceite, este fruto también ofrece una amplia variedad de productos como agua de coco, azúcar de coco, proteína de coco, savia de coco, entre otros muchos.

COMPOSICIÓN APROXIMADA DEL COCO						
Humedad (%)	Grasa (%)	Fibra (%)	Carbohidratos (%)	Proteína (%)	Ceniza (%)	Referencias
47.30	35.50	9.00	12 puntos 60	3.60	1.10	<i>ICBF & UNAL, 2018</i>
42.20	37.00	14.30	12.30	7.50	10	<i>Zaragoza, 2018</i>
46.60	36.00	10.50	3 puntos 70	3.20	-	<i>Moreiras et al, 2013</i>
47.00	33.50	9.00	6.22	3.90	0.97	<i>ANSES, 2017</i>
46.90	33.49	9.00	15.23	3.33	-	<i>USDA, 2019</i>

Tabla 1. Composición aproximada del coco según las diferentes referencias. Fuente: Dubán et al., 2020.

En la *Tabla 1* se muestra la composición aproximada del coco, es decir, un análisis de los porcentajes de humedad, grasa, fibra, cenizas, carbohidratos solubles y proteína en los alimentos.

Para este estudio se ha utilizado el aceite de coco virgen, de alta calidad, de la marca comercial Hacendado, mostrado en la *Figura 5*.



Figura 5. Bote de aceite de coco utilizado para las muestras. Fuente: Original

El aceite de coco virgen se produce mediante una variedad de métodos, y su composición puede variar según el método de extracción e incluso por la zona geográfica de la materia prima. Sin embargo, para ser considerado como aceite virgen, debe ser producido sin calentar. En la [Figura 6](#) se pueden ver los tipos de aceites de coco que podemos encontrar:

TIPOS DE ACEITE DE COCO	
ACEITE VIRGEN	ACEITE REFINADO
Extraído por procesamiento húmedo con medios mecánicos, sin refinamiento químico y sin tratamientos térmicos.	Extraído por procesamiento seco a altas temperaturas con refinamiento químico y neutralizado
Contiene ácidos grasos en cadena media	Contiene ácidos grasos en cadena media
Incoloro, aroma ácido, sabor dulce y a nuez	Amarillo, sin aroma, ligero y sabor salado.

Figura 6. Tipos de CO y sus características más relevantes. Fuente: Original

Se puede estimar el porcentaje aproximado de cada componente de este fluido. Está compuesto en su mayoría por ácidos grasos saturados de cadena media (MCFA), siendo estos el 80 o 90% del total de su composición. Otros ácidos grasos que aparecen son:

- Ácido láurico en un 45%
- Ácido mirístico en un 17 %
- Ácido palmítico en un 9 %

Los componentes ácidos grasos del aceite de coco son siempre los mismos, sin embargo, dependiendo de su zona climática su proporción puede cambiar aumentando o disminuyendo. (*Marina et al., 2009; Deen et al., 2021*).

Además de estas sustancias, el aceite de coco está compuesto por numerosas vitaminas, minerales y antioxidantes, y en menor cantidad, por ácidos grasos monoinsaturados y ácidos grasos poliinsaturados. (*Boemeke, 2015*).

La composición exacta del aceite de coco utilizado en esta investigación se muestra en la *Tabla 2* para 100g de sustancia. Está formado por un 94.5% de grasas saturadas y tiene una densidad de $0,9015 \pm 0,0015 \text{ g/cm}^3$.

INFORMACIÓN NUTRICIONAL	
Valores medios	Por 100 g
Valores energéticos / Energía	3700 kJ / 900 kcal
Grasas / Lípidos	100 g
de los cuales saturados	94,5 g
Hidratos de carbono	0g
de los cuales saturados	0g
Proteínas	0g
Sal	0g

Tabla 2. Información nutricional del aceite de coco de la muestra. Fuente: Mercadona. (2024).

Como se ha mencionado anteriormente el aceite de coco tiene diferentes métodos de extracción, de los cuales se pueden obtener los dos tipos de aceites, virgen y refinado. (*Marina et al., 2009*) ;(*Narayanankutty, Illam, & Raghavamenon, 2018*).

- Extracción en frío: La leche de coco se enfría a una temperatura entre 2 y 8°C, se separa el aceite y se recoge mediante un centrifugado. Este es el método más barato y simple.

- Extracción en caliente: La leche de coco se calienta hasta los 100°C. El aceite se separa de la leche y se recoge mediante un filtro.
- Extracción húmeda: Es el método menos contaminante, ya que apenas utiliza energía, además de económico. Consiste en la emulsión de la leche de coco, primero con la fuerza gravitacional, segundo con la floculación y por último los glóbulos se fusionan.
- Fermentación: Se fermenta el azúcar de la leche mediante el uso de cultivos bacterianos (*Lactobacillus plantarum*) y se genera una emulsión, liberando así el aceite.
- Enzimática: Se rompen las paredes celulares de los carbohidratos utilizando enzimas (α -amilasa). El aceite de coco se encuentra dentro de esas células, por lo que al romperse se libera.

El aceite de coco se puede encontrar en estado líquido o sólido, dependiendo de la temperatura a la que se encuentre. Alcanza su fase líquida a los 23°C. Esto quiere decir que la viscosidad del fluido depende de su temperatura, que cuanto mayor sea, menos viscoso será, y tendrá más facilidad de penetración. Al ser un fluido no newtoniano su viscosidad también depende de la velocidad de cizalla. A mayor fuerza aplicada, mayor viscosidad. Durante su cambio de fase no se alteran sus propiedades físicas ni químicas. Como se observa en la *Figura 7.A*, su aspecto a temperaturas mayores a 20-22°C es transparente o amarillento (fase líquida), y por debajo de los 22°C se empieza a cristalizar mostrando un aspecto blanco y sólido (*Figura 7.B*).

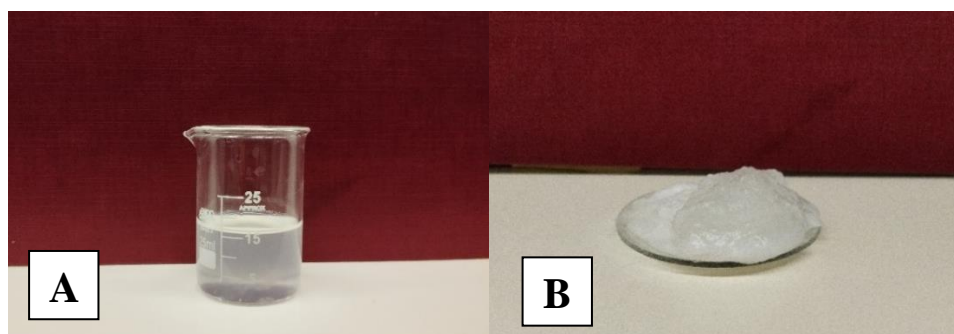


Figura 7. Muestra de aceite de coco. (A) Fase líquida. (B) Fase sólida. Fuente: Original.

Debido a su alto contenido de ácidos grasos insaturados, se convierte en un fluido con una baja viscosidad y alta fluidez, esto lo convierte en un material apto para ser estudiado en este ámbito.

2.2. Aceite de girasol

El aceite de girasol se obtiene de la planta *Helianthus annuus* (girasol). Se extrae presionando las semillas del girasol y se refina y, como resultado se obtiene un aceite con un alto contenido en ácidos grasos insaturados. En su composición hay aproximadamente un 15% de ácidos grasos saturados y un 85% de ácidos grasos insaturados.

En la *Tabla 3* se muestra la composición aproximada del aceite de girasol (AG).

COMPOSICIÓN PROXIMAL DEL ACEITE DE GIRASOL					
Humedad	Grasa	Proteína	Fibra	Ceniza	Referencias
(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	
48,11	26,28	5,25	0,92	0,65	<i>(Goyal et al., 2018)</i>

Tabla 3. Composición proximal del aceite de girasol. Fuente: Goyal et al. (2018).

Gracias a su composición este posee unas propiedades reológicas muy buenas, que dependen sobre todo de la temperatura, presión y tiempo. Esto lo hace una sustancia ampliamente utilizada en sectores industriales como el alimentario, el cosmético o el farmacéutico. Es renovable, biodegradable y fácil de obtener.

El aceite de girasol usado en este proyecto es el aceite de girasol de la marca Hacendado, que se muestra en la *Figura 8*.



Figura 8. Botella de aceite de girasol empleada para las muestras. Fuente: Original.

El aceite está compuesto en su mayoría por ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados, que son los que le proporcionan buenas propiedades de flujo y lubricantes.

En la *Tabla 4* se muestra la información nutricional aceite de girasol utilizado para este estudio para una cantidad de 100 g.

INFORMACIÓN NUTRICIONAL	
Valores medios	Por 100 g
Valores energéticos / Energía	3397 kJ / 826 kcal
Grasas	92 g
de las cuales saturadas	7,3 g
monoinsaturadas	50 g
poliinsaturadas	34,3 g
Hidratos de carbono	0g
de los cuales azúcares	0g
Proteínas	0g
Sal	0g

Tabla 4. Información nutricional del aceite de girasol. Fuente: Mercadona. (2024).

Como se ha mencionado anteriormente, la temperatura es uno de los principales factores que pueden afectar al aceite de girasol. En un estudio realizado entre los -50 y los 50°C se puede observar que el aceite de girasol tiene su punto de fluidez a los -17°C, esto quiere decir que antes de llegar a esta temperatura, el fluido se encuentra en estado sólido. Conforme va aumentando la temperatura, este se vuelve menos viscoso. (*Jayadas & Nair, 2006*). En la *Figura 9* se puede observar una muestra de aceite de girasol en su fase líquida, a temperatura ambiente (25°C).



Figura 9. Aceite de girasol en su fase líquida. Fuente: Original

Durante los métodos experimentales, que se explicaran posteriormente, se calculó el coeficiente de dilatación, así como la densidad del aceite de girasol. Primero se calculó la variación de la densidad (ρ) en función de la temperatura a la que se encuentre el fluido. Este experimento demostró que cuanto menor sea la temperatura de este, mayor será su densidad. En la *Figura 10* se muestra como varía su valor.

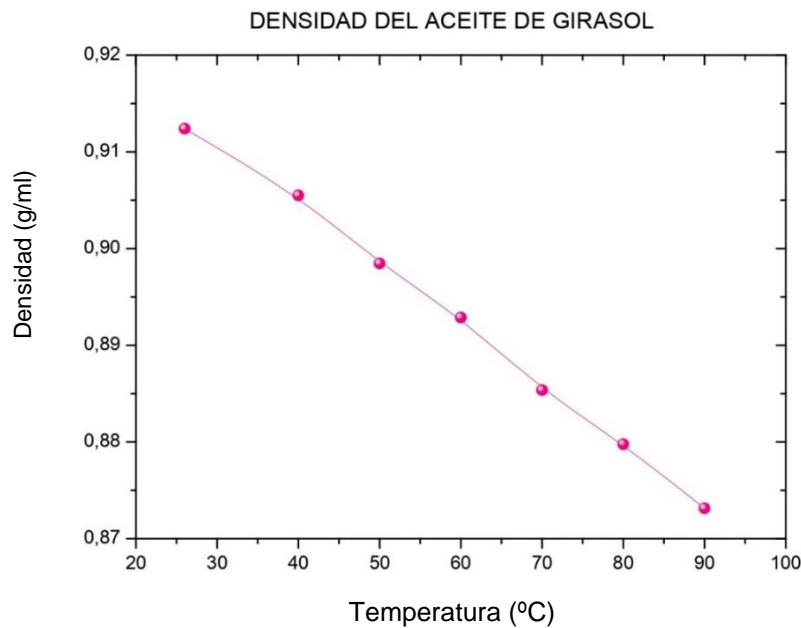


Figura 10. Representación gráfica de la densidad del aceite de girasol puro en función de la temperatura. Fuente Original.

Tras recopilar estos datos para unas temperaturas determinadas, se realizó un ajuste lineal, para conseguir una relación lineal entre todos estos datos. La densidad de relacionó con la temperatura aplicando la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{m}{V} = 1,099 - C_{\rho,T} \cdot T \quad (1)$$

ρ = densidad del fluido

$C_{\rho,T}$ = coeficiente de proporcionalidad para la temperatura

T = temperatura termodinámica

En la *Figura 11* se muestra la representación gráfica de la *Ecuación 1*.

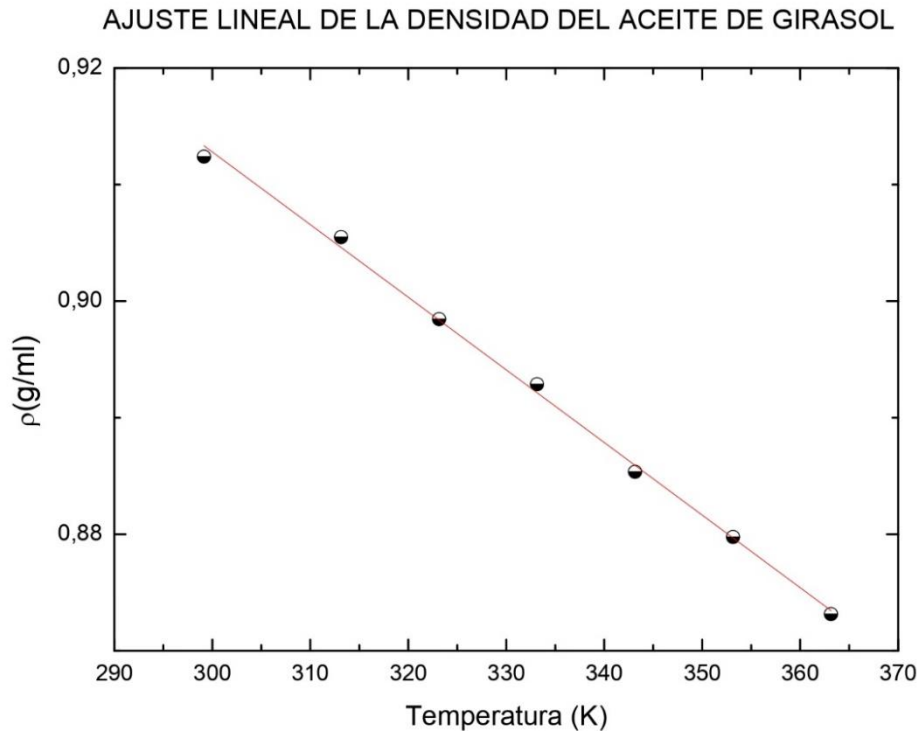


Figura 11. Representación gráfica del ajuste lineal de la densidad del aceite de coco puro en función de la temperatura termodinámica. Fuente: Original.

Finalmente, tras obtener todos los datos sobre la densidad y calcular los datos del coeficiente de dilatación en cada punto, se le realizó un ajuste lineal obteniendo así la siguiente relación:

$$\beta = \frac{\Delta V / V_0}{\Delta T} = \frac{\Delta m / m_0}{\Delta T} = \frac{C_{\Delta m, m_0}}{\Delta T}$$

$$\beta = -0,005 + C_{m, m_0} \cdot T \quad (2)$$

β = coeficiente de dilatación

$C_{\Delta m, m_0}$ = coeficiente de proporcionalidad para la masa

$$T = \text{temperatura } (^{\circ}\text{C})$$

En la siguiente figura (*Figura 12*) se muestra la representación gráfica de la ecuación anterior (*Ecuación 2*). En ella se puede observar que, a diferencia de la densidad, cuanto mayor es la temperatura, mayor es la dilatación del aceite de girasol.

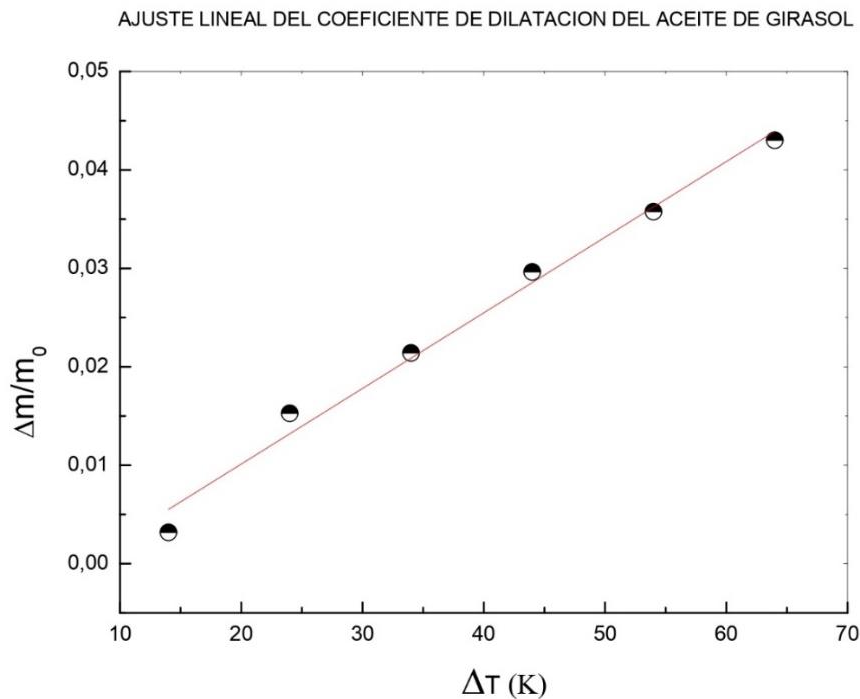


Figura 12. Representación gráfica del ajuste lineal del coeficiente de dilatación térmica en función de la temperatura termodinámica. Fuente: Original.

2.3. Óxido de silicio hidrofílico-A200

Este producto es fabricado por Evonik Industries. Es el Aerosil® A200 (sílice hidrofílica coloidal), nanopartículas que se caracterizan por su forma amorfa y por no tener una estructura cristalina. El tamaño de una partícula puede variar entre los 7 y los 40 nm, y se obtiene a partir de unas partículas de SiCl_4 (Tetracloruro de Silicio), que mediante un proceso de hidrólisis a altas temperaturas (utilizando una llama de gas), produce sílice en forma de polvo blanco. (*Huaman, 2021*).

Durante el proceso en la cámara de combustión las partículas primarias de sílice chocan entre ellas llegando a fusionarse. Así se forman agregados, que acaban formando partículas más grandes y pesadas con una estructura fractal (aglomerados) de SiO_2 .

El tamaño de partícula junto con las propiedades superficiales del óxido de silicio puede variar dependiendo de la temperatura o el tiempo de combustión en la cámara durante el proceso de síntesis.

Este material presenta un comportamiento hidrófilo, es decir, tiene una afinidad con el agua. (*García, 1999*). Las partículas de A200 se sienten atraídas y tienden a unirse al agua. Sin embargo, las partículas hidrófilas son también lipóforas, lo que significa que no se sienten atraídas por las grasas, por lo que no se mezclan con estas.

La *Figura 13* muestra el aspecto del óxido de silicio. Su apariencia esponjosa se debe a la formación de aglomerados mencionada anteriormente.

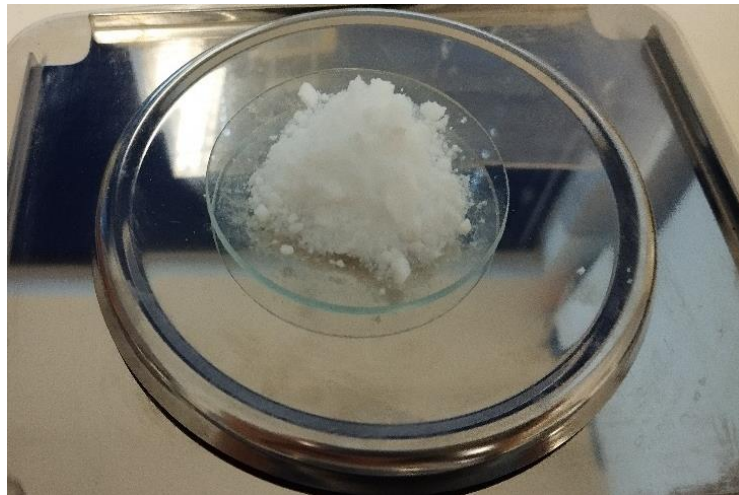


Figura 13. Muestra de óxido de silicio, A200. Fuente: Original

Se han capturado imágenes que muestran la estructura y composición de este material. Para esto se ha utilizado microscopía electrónica de barrido (Scanning Electron Microscopy, SEM). En la *Figura 14* se presenta la estructura de la superficie del A200 aumentando a diferentes escalas, utilizando el método SEM. En esta imagen se pueden observar diferentes partículas en forma de esfera formando las estructuras antes mencionadas (aglomerado), ramificaciones fractales. (*Shin y Banerjee, 2011*).

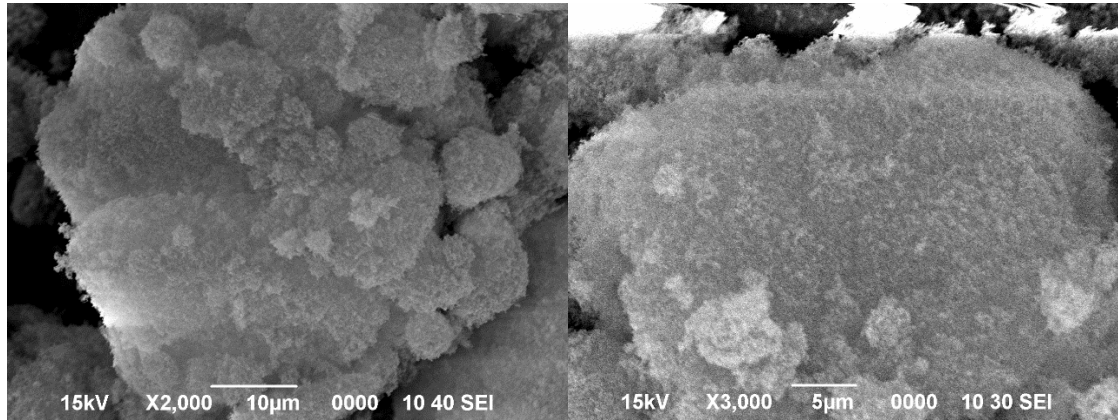


Figura 14. Microscopía SEM del polvo de sílice A200. Fuente: Original

3. INSTRUMENTOS

Para llevar a cabo tanto las muestras como la investigación sobre estas, se han utilizado una serie de instrumentos pertenecientes al Departamento de Reología y Electrocinética de la Universidad de Málaga. A continuación, se van a describir los instrumentos más relevantes para este proyecto.

3.1. Micropipetas

Las micropipetas son un material de laboratorio que permite absorber y transportar una determinada cantidad de líquido de forma precisa. Dependiendo del volumen con el que se pretenda trabajar estas podrán variar entre diferentes modelos. Los más comunes son p20, p200, p1000.

Este instrumento ofrece gran precisión, ya que es capaz de medir volúmenes muy pequeños. Además, las puntas de plástico dispuestas en el extremo del instrumento, son desechables, evitando así la aparición de impurezas durante este proceso de preparación.

En la *Figura 15* se muestran las diferentes micropipetas de la marca Gilson que se utilizaron en este estudio.



Figura 15. Micropipetas utilizadas durante el estudio. Fuente: Original.

El modo de empleo de estas es el siguiente. En la parte superior se ajusta el volumen con el que se pretende trabajar, como se muestra en la *Figura 16*. Se presiona el botón superior hasta el primer toque y, se introduce la punta de la micropipeta en el fluido que se va a transferir. Esta acción hay que llevarla a cabo sin llegar a tocar el fondo del recipiente, para evitar la aparición de burbujas de aire que puedan alterar el volumen de sustancia. A continuación, se deja de presionar el botón lentamente hasta completar el volumen de la pipeta. Finalmente, se vuelve a presionar hasta expulsar el fluido en su totalidad.



Figura 16. Rueda para ajustar el volumen de la micropipeta. Fuente: Original.

3.2. Balanza de precisión

La balanza de precisión es un instrumento capaz de medir pesos muy precisos, hasta las milésimas, es decir, miligramos. Esto es de gran ayuda a la hora pesar exactamente la cantidad necesaria de óxido de silicio para la realización de las muestras.

La balanza es de la marca Cobos, modelo CB Complet, como se puede observar en la *Figura 17.A*, apagada y sin nada en su interior, y la *Figura 17.B*, ya en funcionamiento.

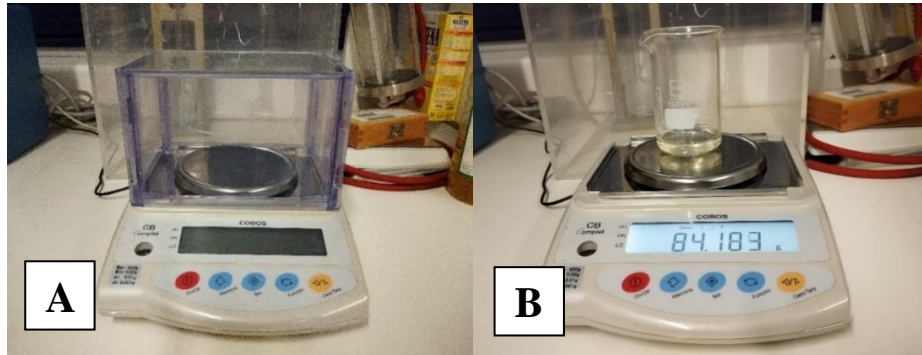


Figura 17. Balanza de precisión. (A) Apagada. (B) Encendida. Fuente: Original.

El material a pesar se coloca sobre un plato de 180x160mm de forma directa o indirecta (utilizando un recipiente). Antes de esto hay que asegurarse de que el resultado parte de 0.00 kg. Para ello se utiliza la función tarar. Esto también se emplea para desprejar el peso del recipiente, en el caso de que se use.

Las balanzas de precisión tienen un rango que varía entre 1 y 2 kg, siendo el más común de 0 a 500 g. Su resolución se clasifica en 1g, 0,1g, 0,01g y 0,001g.

3.3. Baño termostático

El baño termostático se utiliza para mantener a temperatura constante durante el periodo de tiempo que sea necesario, una determinada solución. El instrumento permite tanto enfriar como calentar.



Figura 18. Baño termostático marca Huber, vacío. Fuente: Original

En la *Figura 18* se muestra el baño utilizado para este estudio en concreto. Es de la marca Huber, de acero inoxidable (ya que soporta hasta 200°C), aunque también existen de otros materiales como policarbonato (soporta temperaturas de hasta 100°C). Su capacidad puede variar entre los 6 y los 25 litros.

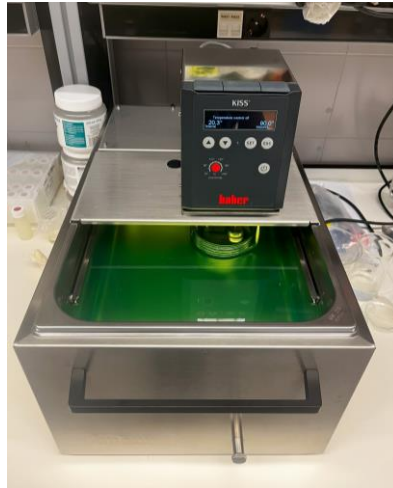


Figura 19. Baño termostático marca Huber, lleno. Fuente: Original.

En la *Figura 19* se observa un líquido de color verde en el interior del baño termostático. Esto se debe a que contiene anticongelante, permitiendo así que se puedan alcanzar temperaturas muy bajas.

Esta investigación se ha llevado a cabo en un barrido de temperaturas entre los 5 y los 90°C. Para conseguir estas temperaturas, el instrumento consta de una bomba que proporciona la temperatura deseada, a la vez que mezcla el fluido de forma homogénea (consigue una termorregulación).

En la *Tabla 5* se muestra la ficha técnica de este instrumento.

FICHA TÉCNICA DEL BAÑO TERMOSTÁTICO	
Modelo HUBER	KISS 208b
Temperatura con refrigeración por agua (°C)	25 ... 200
Temperatura con unidad de refrigeración (°C)	-30 ... 200
Constancia de temperatura (°C)	± 0.05
Potencia calorífica (kW)	1.5 – 2.1
Capacidad de suministro de la bomba de presión máx.	14 l/min; 0,25 bar
Capacidad de aspiración de la bomba de presión máx.	10,5 l/min; 0,17 bar
Características de la bomba	Bomba de presión y aspiración, velocidad no regulable.
Volumen del baño (l)	7.5
Volumen de llenado mín (l)	4
Apertura / Profundidad (mm)	230 x 127 / 150
Conexión a la red	200 – 240V 1~/2~ 50/60 Hz

Tabla 5. Ficha técnica del baño termostático. Fuente: Huber (2024).

3.4. KD2 Pro Decagon Devices

El KD2 Pro es un instrumento empleado para estudiar y medir propiedades térmicas. Utiliza el método de la fuente de calor de la línea transitoria para medir la conductividad térmica, la difusividad, la resistividad y el calor específico. Para esto usa un dispositivo de mano y una serie de sensores térmicos que se introducen en los materiales.

El dispositivo de mano es un controlador que mediante el método de mínimos cuadrados no lineales ajusta los datos de temperatura y tiempo. Los datos de la conductividad térmica los proporciona dentro del rango de $\pm 10\%$.

En la *Figura 20.A* se muestra el dispositivo utilizado en este estudio, además de los complementos de este. En la *Figura 20.B* se encuentran los componentes utilizados exactamente para esta investigación (El sensor y la máquina de medición).

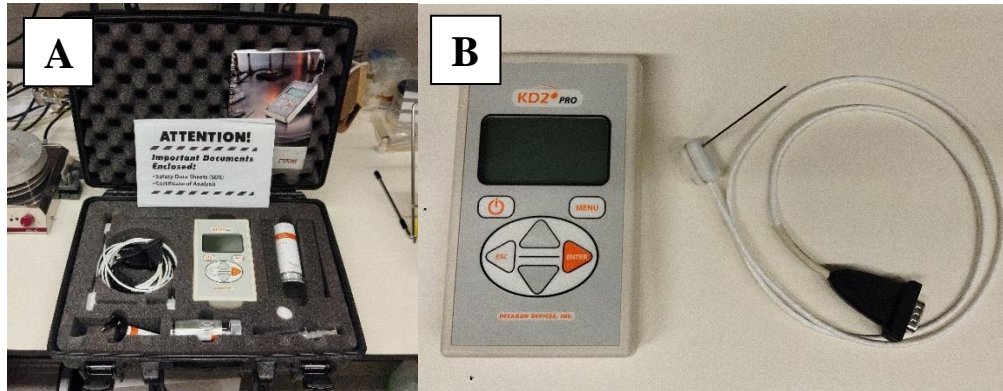


Figura 20. Maletín del KD2 Pro Decagon Devices. (A) Maletín. (B) Elementos utilizados. Fuente: Original.

Este instrumento viene equipado con una serie de sensores, entre los que se pueden distinguir dos tipos:

1. Aguja única: se utilizan para medir la conductividad térmica y la resistividad.
2. Aguja dual: se utilizan para medir la conductividad térmica, la resistividad, la capacidad calorífica específica volumétrica y la difusividad.

Los sensores que se pueden encontrar son los siguientes:





- KS-1: Sensor de aguja pequeña (diámetro de 1.3 mm y 6 cm de largo). Mide la resistencia y la conductividad térmica. Está diseñado para medir materiales líquidos y aislantes, aunque es buena elección para materiales granulares.
- TR-1: Sensor de gran tamaño (diámetro de 2.4 mm y 10 cm de largo). Mide la resistividad y la conductividad térmica. Este, al contrario que el KS-1, está diseñado para suelos y materiales granulares.
- SH-1: Sensor de aguja doble. Mide la volumétrica del calor, la resistividad, la conductividad, la capacidad y la difusividad térmicas. No se recomienda utilizarlo con líquidos, sin embargo, es muy compatible con los sólidos y materiales granulares.
- RK-1: Sensor de una única aguja gruesa (diámetro de 3.9 mm y 6 cm de largo). Mide la conductividad y la resistividad térmica. Útil para materiales duros (roca).

En la [Tabla 6](#) vienen representadas las características de este instrumento, es decir, su Ficha técnica. En la [Tabla 7](#) se muestra la ficha técnica de los sensores expuestos anteriormente.

FICHA TÉCNICA DEL KD 2 PRO DECAGON DEVICES	
Exactitud	± 5 a ± 10 % Conductividad / Resistencia térmica
	± 10 % Calor específico
	± 10 % de difusividad térmica
Velocidad de medición	1, 2, 5 y 10 minutos
	Los tiempos de lectura dependen del tipo de medición (consultar el manual del usuario para más información)
Almacenamiento de datos	4.095 lecturas, memoria flash
Cumplimiento de las normas	Norma ASTM D5334-08 y Norma IEEE 442-1981
Entorno operativo de los sensores	-50°C a 150°C
Fuente de la batería	4AA
Modo de lectura automática	Se pueden recopilar datos desatendidos a intervalos definidos por el usuario en el modo de lectura automática.
Tipo	Microcontrolador de 16 bits de ultra bajo consumo con convertidor A / D de 24 bits
Monitor	Pantalla de cristal líquido (LCD) de 7.5 x 4 cm
Dimensiones del caso	15.5 x 9 x 3.5 cm
Accesorios incluidos	Sensor de conductividad / resistividad térmica KS-1 (líquidos)
	Sensor de conductividad / resistividad térmica TR-1 (sólidos)
	SH-1 Difusor térmico de doble aguja y sensor de calor específico (sólidos)
	Manual del usuario
	Estuche de transporte Pelican
	Pie de lectura
	Estándares de verificación de rendimiento
	Grasa térmica
	Broca para perforar orificios piloto en materiales
	Perno piloto concreto
	KD2 Pro-utilidad de descarga
Cable RS232	
Calibración	Cada KD2 Pro viene calibrado de fábrica e incluye estándares de verificación de rendimiento

Rango de mediciones	K: 0.02 a 4 Wm ⁻¹ C ⁻¹
	D: 0.1 a 1.0 mm ² s ⁻¹
	R: 0.25 a 50 mC W ⁻¹
	C: 0.5 a 4 MJ m ⁻³ C ⁻¹ *La
	Precisión y rango de medición varían con el tipo de sensor

Tabla 6. Ficha técnica del KD 2 Pro Decagon Devices. Fuente: High Tech Service S.A.C. (2024)

SENSORES				
Sensor				
	TR-1	RK-1	KS-1	SH-1
Lectura	5 minutos	10 minutos	60 segundos	2 minutos
Precisión	Conductividad: ±10% 0.2-4 W/mK ±0.02 W/mK 0.01-0.2 W/mK	Conductividad: ±10% 0.2-6 W/mK ±0.02 W/mK 0.1-0.2 W/mK	Conductividad: ±5% 0.2-2 W/mK ±0.01 W/mK 0.02-0.2 W/mK	Conductividad: ±10% 0.2-2 W/mK ±0.01 W/mK 0.02-0.2 W/mK
				Difusividad: ±10% ≈0.1 W/mK Calor específico: ±10% ≈0.1 W/mK
Rangos	K: 0.1 a 4 W/mK	K: 0.1 a 6 W/mK	K: 0.02 a 2 W/mK	K: 0.02 a 2 W/mK
	R: 25 a cm °C / W 1000	R: 17 a 1000 cm °C / W	R: 50 a 5000 cm °C / W	R: 50 a 5000 cm °C / W
				D: 0.1 a 1 mm ² /s
				c: 0.5 a 4 MJ/m ³ K
Entorno	-50 a 150 °C	-50 a 150 °C	-50 a 150 °C	-50 a 150 °C
Dimensiones	L: 10 cm	L: 6 cm	L: 6 cm	L: 30 mm

	D: 2.4 mm	D: 3.9 mm	D: 1.27 mm	D: 1.30 mm
Tamaño de la muestra	El tamaño de la muestra depende de las propiedades térmicas del material que se está probando. En general, un radio de 2 cm de material de muestra alrededor de la(s) aguja(s) es suficiente para muestras con conductividades térmicas de alrededor de 0,5 W/mK. Las muestras con menor conductividad se pueden probar con un tamaño de muestra más pequeño. Las muestras con una conductividad más alta requerirán una muestra más grande para evitar efectos de contorno			

Tabla 7. Sensores del KD 2 Pro Decagon Devices. Fuente: High Tech Service S.A.C. (2024).

Para este proyecto ha sido utilizado el sensor KS-1 ya que es el que más se ajusta a los parámetros necesarios, además de que se trata de un líquido.

En la *Figura 21* se puede observar el KD2 Pro preparado para realizar una medición.

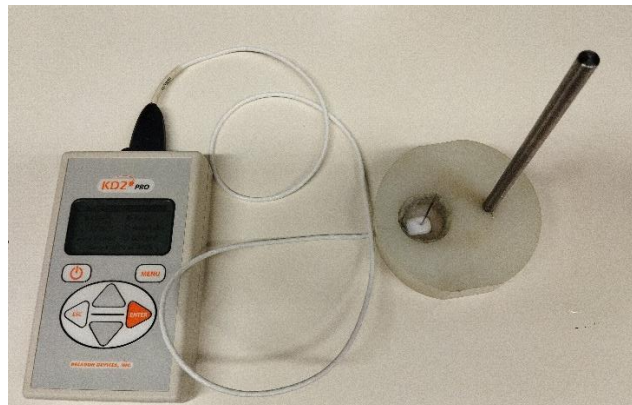


Figura 21. Preparación del KD 2 para tomar datos experimentales. Fuente: Original.

3.5. Reómetro

El Reómetro es un instrumento utilizado para estudiar el comportamiento de materiales que se encuentran bajo la acción de fuerzas externas. Analiza la relación que existe entre la deformación y el esfuerzo, consiguiendo medir parámetros como la viscosidad, entre otros.

Para este estudio en concreto se han utilizado dos reómetros, el reómetro Gemini, de la marca Bohlin y el reómetro Haake RheoStress 600.

3.5.1. Reómetro Genini Bohlin

Este es capaz de medir materiales fluidos y sólidos. Algunas propiedades pueden ser:

- Aire de alta resolución sin igual diseño y rendimiento de los rodamientos.
- Rango de control del par continuo entre 3 nNm y 200 nNm.
- Cojinetes y motores de baja inercia.
- Sensibilidad alta (0.001 N) y baja conformidad. Medición de fuerza normal axialmente simétrica sobre todo el rango de par.
- Unidad de control de temperatura Peltier integrada electrónica, componiendo un reómetro íntegro y compacto.

El reómetro lleva incluidos una serie de elementos que lo complementan y ayudan a funcionar correctamente. Este es el caso del Peltier que utilizando un baño de agua mantiene la temperatura (tiene un error de 0.1°C). Además de esto, con la ayuda de un software informático se puede llevar un control del ensayo, recogiendo datos y comunicándolos al usuario.

En la *Figura 22* se muestran los diferentes elementos que componen este instrumento, y han sido utilizados para esta investigación.

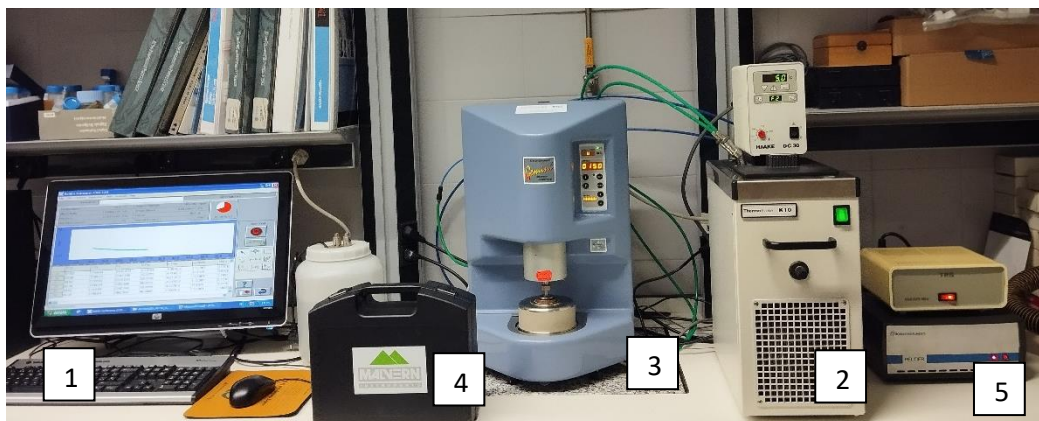


Figura 22. Reómetro Gemini con cada parte detallada en la Tabla 8. Fuente: Original.

En la *Tabla 8* se muestran los instrumentos representados en la imagen anterior.

REÓMETRO Y ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS	
NÚMERO DE REFERENCIA	ELEMENTOS
1	Software informático
2	Baño de agua
3	Reómetro Gemini Bohilin
4	Maletín de accesorios
5	Unidad de control de temperatura Peltier

Tabla 8. Reómetro Gemini y sus elementos respecto a la imagen. Fuente: Original

En la siguiente tabla (*Tabla 9*) se adjunta la ficha técnica proporcionada por el fabricante.

FICHA TÉCNICA		
ANÁLISIS REOLÓGICO INTEGRAL		
Rango Par	Gemini II 200	0.05 μNm a 200 mNm en viscosimetría de tensión y velocidad controlada
		0.05 μNm a 200 mNm en oscilaciones controladas de tensión y deformación
Resolución de par	Mejor que 1 nNm	
Resolución de posición	50 nrad	
Rango de frecuencia	1 μHz a 150Hz	
Rango de velocidad controlado (modo CR)	0.01 mrads^{-1} a 600 rads^{-1}	
Rango de medición de fuerza normal N1	0.001N a 20N (50N opcional)	
Cambio de paso en la tensión	< 10ms	
Rango de temperatura (depende del control utilizado)	-150°C a 550°C A continuación se explican cada una de las temperaturas de control	
Circulador de fluidos	-40 °C a 250 °C	
ETO (opción de temperatura extendida)	-15 °C a 300 °C	
Horno	Ambiente a 450 °C	
Plato Peltier	-30 °C a 200 °C	

Cilindro Peltier	-20 °C a 180 °C
Opción Peltier universal- Cilindro coaxial o cono/geometría de plato ETC (celda de temperatura extendida)	Ambiente a 550 °C
ETC con LTU (unidad de baja temperatura) opcional	-150 °C a 550 °C
Voltaje funcionamiento nominal	110 o 220 V
Tamaño (con plato Peltier)	52 cm (H) x 33 cm (W) x 37 cm (D)
Peso (con plato Peltier)	28 kg

Tabla 9. Ficha técnica del Reómetro. Fuente: Malvern. (2009)

A continuación, se van a exponer los accesorios que han sido incorporados al reómetro para la realización de esta investigación.

1. Sistema de medición de doble ranura: Se emplea para ensayos con gran resolución de torque, principalmente en líquidos de viscosidad baja. Un ejemplo muy bueno puede ser el agua.
2. Aspas y geometrías de husillo: Muy útiles para las pruebas de muestras con un tamaño de partícula mayor que 0.1 mm y que son propensas a sedimentarse.
3. Sistemas de medición platos-paralelos: Son convenientes para sólidos blandos, geles, pastas o fusiones.
4. Sistema de cilindros concéntricos: Utilizados en ensayos de líquidos con densidad baja, aunque también pueden ser usados con otro tipo de fluidos como viscosos o viscoelásticos.
5. Sistema de medición cono-plato: Es conveniente para todos los fluidos, sin embargo, en las dispersiones está limitado a partículas menores de 10 μm .

A continuación, en la *Figura 23*, se muestran las diferentes geometrías disponibles para este reómetro. La elegida para el desarrollo de este estudio fue “círculos concéntricos”, señalada en la imagen.



Figura 23. Geometrías del Reómetro. Fuente: Original.

Este sistema fue elegido ya que este tipo de forma es el que mejor se adapta a sustancias menos viscosas, es decir, el fluido base y las suspensiones al 1 y 2% de óxido de silicio. Esto es debido a que su geometría envolvente previene que las muestras más fluidas se aceleren repentinamente hacia el exterior de instrumento. En la [Figura 24.A y 24.B](#) se puede observar más próximamente el accesorio.

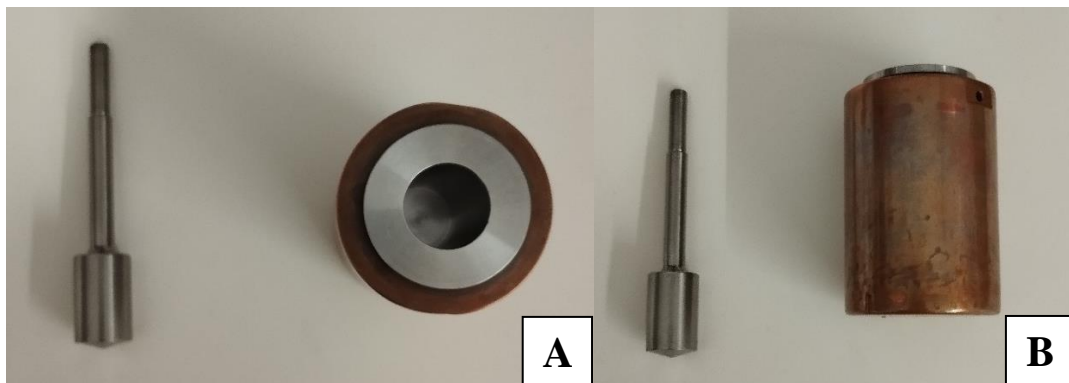


Figura 24. Geometrías utilizadas en el estudio. (A) Vertical. (B) Horizontal. Fuente: Original.

Ambos objetos coinciden a la perfección ya que uno funciona dentro del otro, es decir, son círculos concéntricos.

3.5.2. Reómetro Haake RheoStress 600

Este instrumento es de gran precisión, se utiliza en diferentes modos, estos son control de velocidad, control de esfuerzo y control deformación, esto brinda la posibilidad de realizar numerosos experimentos reológicos. Algunas de sus propiedades son:

- Contiene un cojinete de aire de cuarta generación.
- Procesador digital (DSP).
- Bucles de control digital adaptativo para mediciones en CS, CR y CD de rotación y oscilación.
- Sistema de elevación automático que garantiza la correcta colocación de las geometrías.

Además del reómetro se complementa con una serie de elementos que contribuyen a su funcionamiento. El control de temperatura Peltier junto con un baño de agua permite alcanzar temperaturas de hasta 500°C. También cuenta con un software informático con el que se lleva el control de los experimentos.

En la [Figura 25](#) se muestran los diferentes elementos que componen el reómetro.

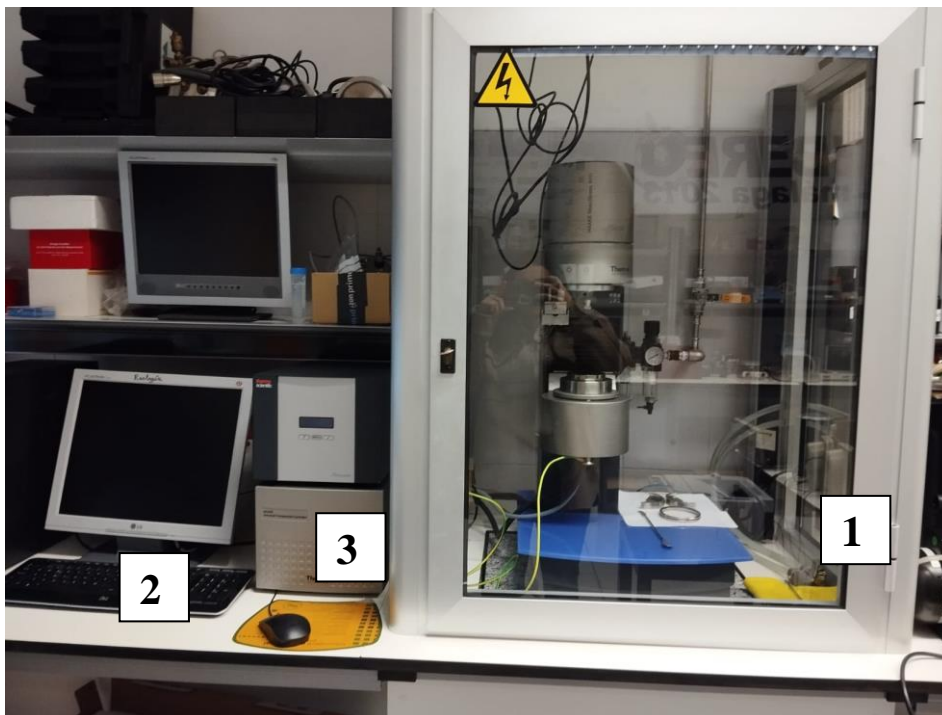


Figura 25. Reómetro Haake RheoStress 600 y sus componentes. Fuente: Original.

En la *Tabla 10* se muestran los instrumentos representados en la imagen anterior.

REÓMETRO Y ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS	
1	Reómetro RheoStress 600
2	Software
3	Unidad de control Peltier

Tabla 10. Reómetro Haake y elementos complementarios. Fuente: Original.

En la siguiente tabla (*Tabla 11*) se encuentran las especificaciones del dispositivo.

ESPECIFICACIONES DEL REÓMETRO	
Resolución angular (μ rad)	0.3
Velocidad de rotación CR-mode (min^{-1})	0.025-1200
Velocidad de rotación CS-mode (min^{-1})	0.001-1200
Par motor (mNm)	0.0005-100
Frecuencia de oscilación (Hz)	0.00001 – 100
Multionda (Hz)	0.01-10
Ángulo de rotación($^{\circ}$)	360
Tipo de rodamiento	Cojinete de aire
Tipo de motor	Motor de copa de arrastre
Alto cizallamiento (opcional)	0.025-3200 rpm
Sistema de cilindros de fluido térmico TCL/Z	-20 – 200 $^{\circ}$ C
Sistema de cono y placa de fluido térmico TCL/P	-20 – 200 $^{\circ}$ C
Sistema de cono y placa calentado eléctricamente TCE/P	-20 – 250 $^{\circ}$ C, 350 $^{\circ}$ C
Sistema de cono y placa controlado por Peltier TCP/P	-40 – 180 $^{\circ}$ C

Tabla 11. Especificaciones del reómetro Haake RheoStress 600. Fuente: Thermo Scientific (2008).

Este instrumento cuenta con numerosas geometrías entre las que elegir dependiendo del fluido a estudiar:

- Plato-cono
- Plato-plato
- Doble hueco
- Doble cono

Para este proyecto se ha utilizado la geometría cono-plato serrado como se muestra en la [Figura 26.A](#) y [Figura 26.B](#).

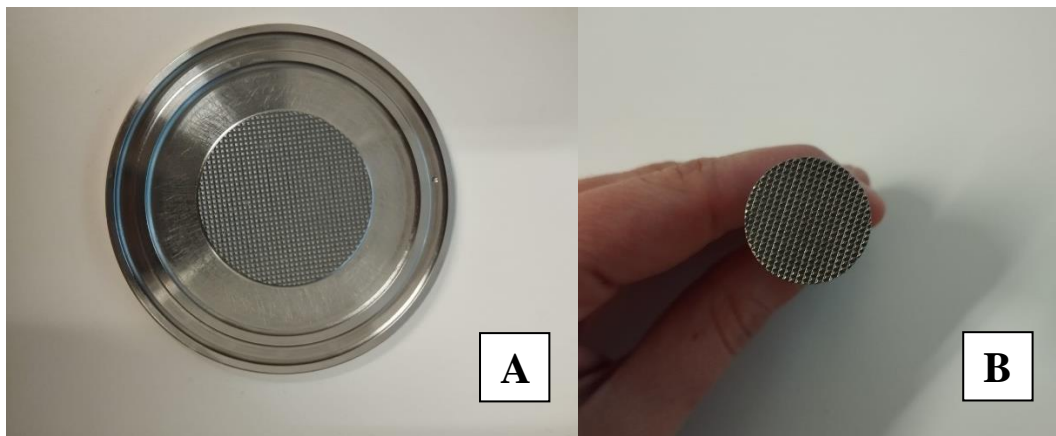


Figura 26. (A) Plato serrado. (B) Cono serrado. Fuente: Original.

Esta geometría fue elegida ya que es la que mejor demostró funcionar con las sustancias más viscosas, es decir, el fluido base y las suspensiones al 2 y 3% de óxido de silicio. Esto se debe a que su forma dentada permite acceder a toda la capa de fluido evitando un deslizamiento sobre sí mismo.

3.6. Cámara termográfica

Es un instrumento capaz de analizar la temperatura de las imágenes que toma. El dispositivo utilizado para este proyecto es la cámara termográfica Testo 872s. Cuenta con una resolución de infrarrojos de 320 x 240 píxeles y, una sensibilidad térmica de 0,05°C. Es capaz de mostrar temperatura en un rango de -30 a 100°C, detectando automáticamente

los puntos fríos y calientes. Para visualizar de forma precisa un punto, esta lleva integrado un marcador láser. En la *Figura 27.A* y *Figura 27.B* se puede observar esta cámara termográfica.



Figura 27. (A) Cámara termográfica de perfil. (B) Cámara termográfica de frente. Fuente: Original.

Los datos recopilados en las imágenes comparten por USB o Wifi desde su memoria interna.

3.7. Taladro ERLO CR18

El taladro utilizado para las pruebas del fluido ha sido el taladro ERLO CR18, fabricado por la empresa ERLO. Consta de un motor eléctrico de 1,5 CV, que cuenta con dos velocidades, 750 rpm y 1500 rpm. En la *Figura 28.A* se puede observar ambas indicadas en el lateral del taladro, junto con la configuración de las poleas que llevan a cabo la transmisión, que variará en función de la velocidad que se pretenda utilizar (*Figura 28.B*).

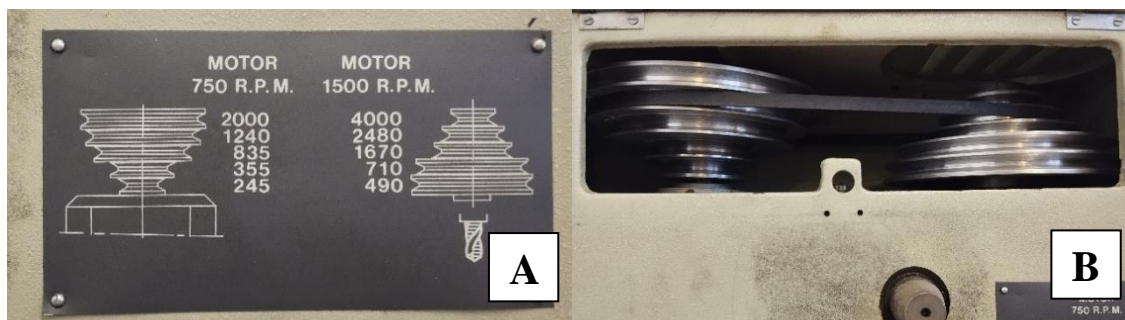


Figura 28. A) Disposición de las poleas en función de la velocidad escogida. B) Configuración en la posición 1.

Fuente: Original.

El taladro tiene una mesa de trabajo con las ranuras en forma de “T” que permite fijar el material a tratar. La columna es de acero fundido y se maneja de forma manual. También permite inclinar el cabezal de este, llegando hasta los 45 grados. En las *Figura 29.A* y *Figura 29.B* se muestran las imágenes de este taladro.



Figura 29. A) Taladro ERLO CR18. B) Mesa de trabajo en forma de "T". Fuente: Original.

Las placas empleadas para estas pruebas de taller tenían unas dimensiones de 28 x 25 cm y 10,75 mm de espesor, como se indica en la *Figura 30*. El material fue acero estructural no aleado S275JR.

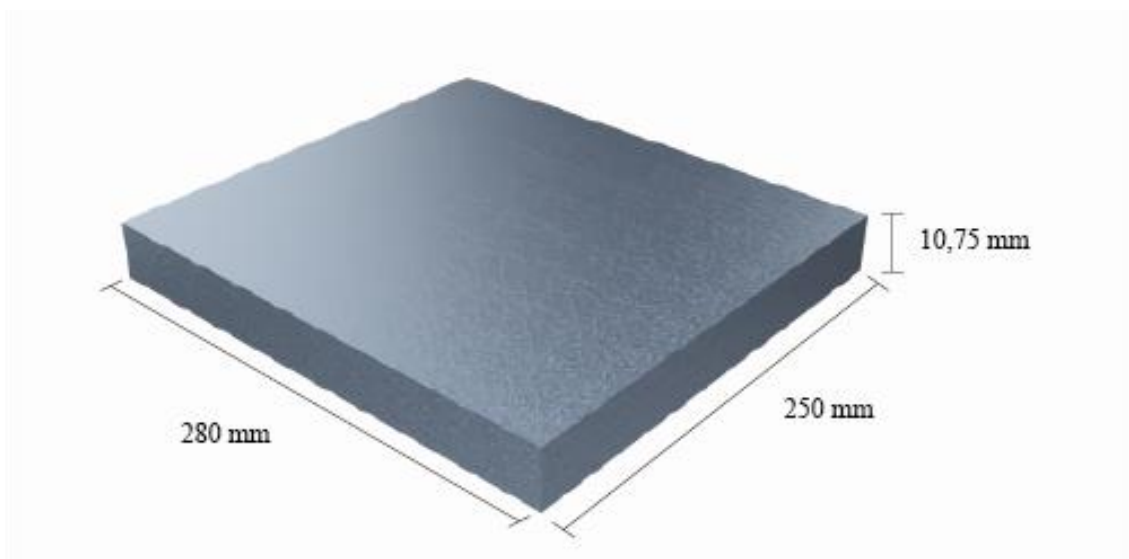


Figura 30. Dimensiones de la placa utilizada para las pruebas con el taladro. Fuente: Original.

Se utilizó la broca mostrada en la *Figura 31.B*, de la marca Metalworks (*Figura 31.A*). Esta fue elegida en base a las especificaciones, en función del material a perforar. Fue la broca del tipo M2 y calidad HSS, con un ángulo de 118 grados y un diámetro de 5 mm (*Figura 31.B*).

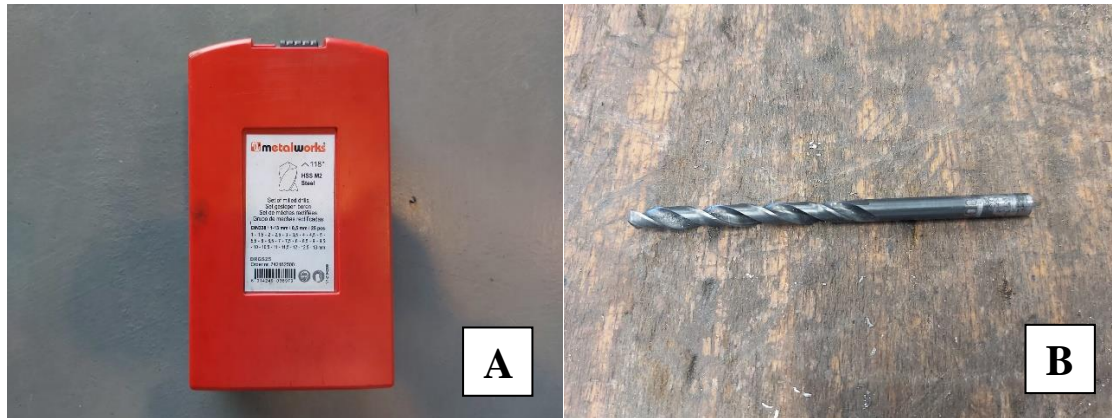


Figura 31. A) Caja de brocas. B) Broca utilizada en el experimento. Fuente: Original.

4. MÉTODOS EXPERIMENTALES

En este apartado se explica cómo se han obtenido y preparado las muestras, además de los pasos que se han seguido para la toma de datos de la conductividad térmica y la viscosidad aparente.

4.1. Preparación de las muestras

Para llevar a cabo este proyecto se utilizaron los tres materiales descritos en el apartado anterior. Las muestras se elaboraron siguiendo una serie de pasos.

Primero se elaboró el fluido base del nanofluido, compuesto por aceite de coco y aceite de girasol. Se escogieron las proporciones en volumen a estudiar del fluido sin añadirle nanopartículas. Se fabricaron las siguientes muestras:

- Aceite de girasol puro (AG100)
- 10% Aceite de coco y 90% Aceite de girasol (AC10AG90)
- 50% Aceite de coco y 50% Aceite de girasol (AC50AG50)
- 90% Aceite de coco y 10% Aceite de girasol (AC90AG10)
- Aceite de coco puro (AC100)

Para cada muestra fue necesario calcular la cantidad de cada sustancia, teniendo en cuenta los porcentajes escogidos.

Se calentó el aceite de coco en el microondas a una temperatura superior a 25°C, para poder manipularlo fácilmente y, utilizando la micropipeta de 10 ml se depositó la cantidad necesaria en cada muestra como se muestra en la *Tabla 12*. Una vez estuvo preparado el aceite de coco, se añadió aceite de girasol mediante el mismo procedimiento.

CANTIDADES DE FLUIDO PARA LAS MUESTRAS			
Muestra	Aceite de coco (ml)	Aceite de girasol (ml)	Total (ml)
AG100	0	40	40
AC10AG90	4	36	40
AC50AG50	20	20	40
AC90AG10	36	4	40
AC100	40	0	40

Tabla 12. Cantidades en ml de los fluidos base para la preparación de las muestras. Fuente: Original.

Finalmente fueron sometidas a un baño de ultrasonido a temperatura ambiente para garantizar la fusión de ambas sustancias.

Las muestras se dejaron reposar durante más de 12 horas antes de empezar a recopilar datos sobre estas.

En la *Figura 32* se puede observar un esquema de cómo se realizó este proceso.

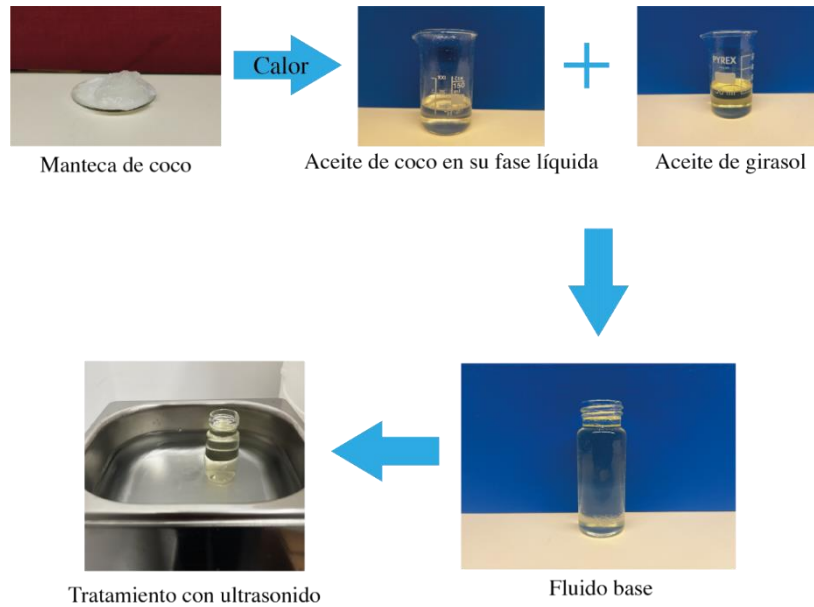


Figura 32. Esquema de la preparación del fluido base. Fuente: Original.

Tras la realización de todas las muestras en su fase líquida, el resultado fue el mostrado en la *Figura 33*.

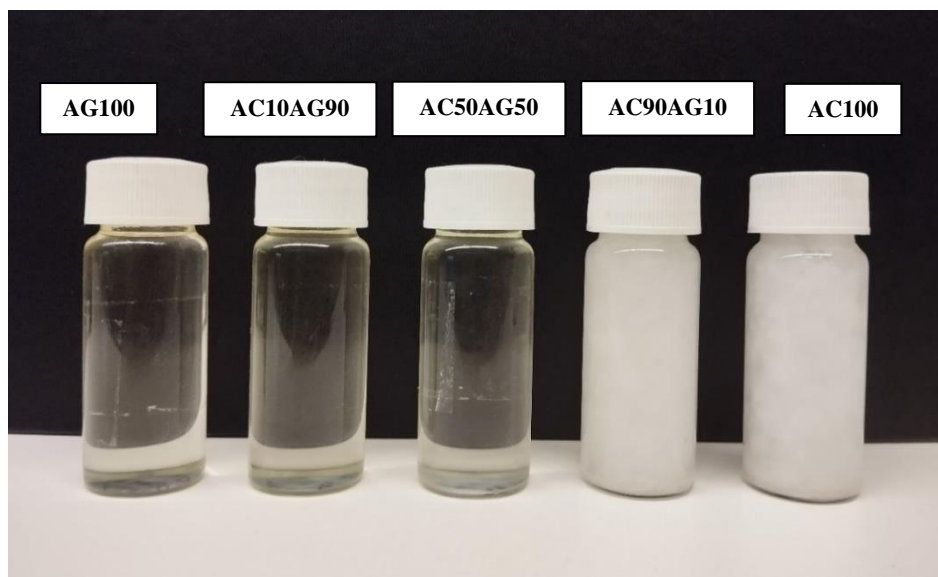


Figura 33. Muestras de fluido base en diferentes proporciones. Fuente: Original.

Una vez elaboradas las muestras de la fase líquida, se pasó a la preparación de las suspensiones. Tras un estudio de la conductividad térmica de cada muestra de base líquida se escogió la muestra AC50AG50 por ser la que mejor respondió a este experimento. Para su elaboración se volvió a realizar el fluido base, pero esta vez teniendo en cuenta las diferentes concentraciones de óxido de silicio (A200). Se calcularon las concentraciones de cada sustancia en porcentaje de nanopartículas en volumen (Φ). Esta es la relación entre el volumen de sólido (partículas de óxido de silicio) y el volumen total de suspensión. Se utilizó la siguiente expresión:

$$\Phi = \frac{V_{A200}}{V_{total}} \quad (3)$$

El volumen de sólido se calculó a través de la densidad aparente:

$$V_{A200} = \frac{m_{A200}}{\rho_{A200}} \quad (4)$$

Siendo la densidad aparente del óxido de silicio A200 la siguiente:

$$\rho_{A200} = 2,31875 \text{ g/ml}$$

El volumen total de la suspensión es:

$$V_{total} = 40 \text{ ml}$$

En el *Anexo A* se encuentran todos los cálculos realizados para cada una de las muestras.

En la *Tabla 13* se muestra el volumen de cada una de las sustancias para cada suspensión:

VOLÚMENES POR SUSPENSIÓN					
Φ	m_{A200} (gr.)	V_{A200} (ml)	V_{AC} (ml)	V_{AG} (ml)	V_{total} (ml)
0.01 (1%)	0.9275	0.4	19.8	19.8	40
0.02 (2%)	1.855	0.8	19.6	19.6	40
0.03 (3%)	2.783	1.2	19.4	19.4	40
0.04 (4%)	3.71	1.6	19.2	19.2	40

Tabla 13. Volúmenes de cada sustancia para la preparación de las muestras. Fuente: Original.

Los gramos de óxido de silicio A200 se midieron en la balanza de precisión, y se añadieron al fluido base. Se mezcló y se siguió el mismo procedimiento que en la preparación de las muestras anteriores.

En la *Figura 34* se pueden observar las diferentes muestras en sus respectivos viales:

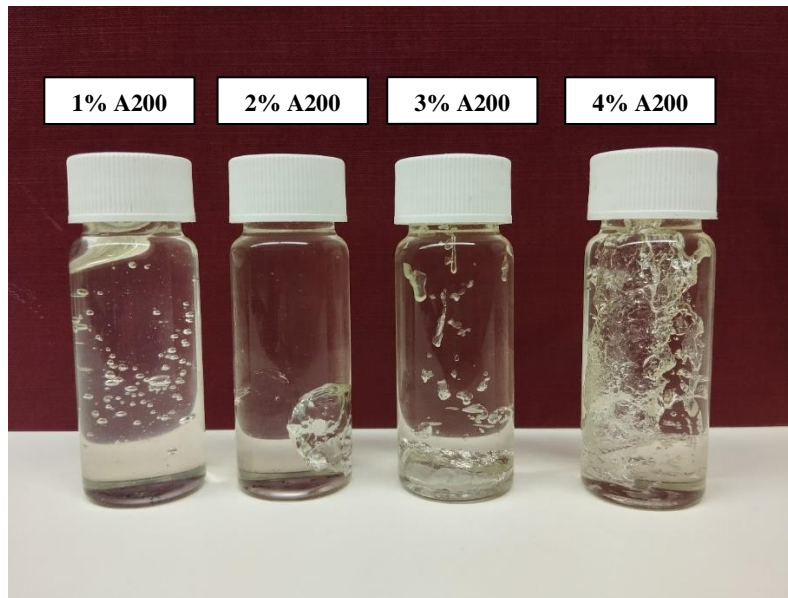


Figura 34. Muestras de fluido base con óxido de silicio a diferentes proporciones. Fuente: Original.

4.2. Medida de la conductividad térmica

Para realizar las medidas de la conductividad térmica se utilizó el ya mencionado antes, KD2 Pro (Decagon Devices, Inc., Pullman, WA, EE.UU.), usado para analizar las propiedades térmicas de los materiales. Los datos que se recogieron utilizando este dispositivo fueron conductividad térmica, temperatura y error.

El dispositivo en cuestión utiliza un hilo caliente transitorio para recoger la conductividad térmica del fluido en el que es introducido. Este mecanismo funciona de la siguiente forma:

- El sistema consta de un sensor térmico, en este caso es el KS-1. Se trata de un hilo metálico que sirve, además de como sensor de temperatura, como fuente de calor.
- Para conseguir que el alambre sirva como fuente de calor se le aplica una corriente eléctrica, y gracias al cambio de resistencias aumenta la temperatura. Este sensor es introducido en la muestra que se desea medir.

- Para determinar la conductividad térmica se mide la velocidad con la que el alambre es capaz de cambiar de temperatura tras aplicarle la corriente eléctrica.
- Finalmente, el análisis se lleva a cabo utilizando el método del puente de Wheatstone, calculando así las resistencias eléctricas del sensor. El incremento de alguna de las resistencias del puente produce un cambio de tensión en los extremos del puente, utilizado para proporcionar los datos.

El vial utilizado durante este proyecto está compuesto por el vaso de cristal y un tapón que se enrosca en dicho vaso. Este tapón tiene una membrana de silicona (*Figura 35*) en la parte superior, llamada septum. A este se le realizó un orificio por el que se introdujo la sonda térmica.



Figura 35. Septum del vial. Fuente: Original.

Una vez preparado el vial se introduce el sensor en el soporte. Para ello se introduce por la parte de abajo y se le aplica una pequeña fuerza, quedando encajado como se muestra en la *Figura 36.A*. En la *Figura 36.B* se muestra cómo queda montado el aparato de medición.

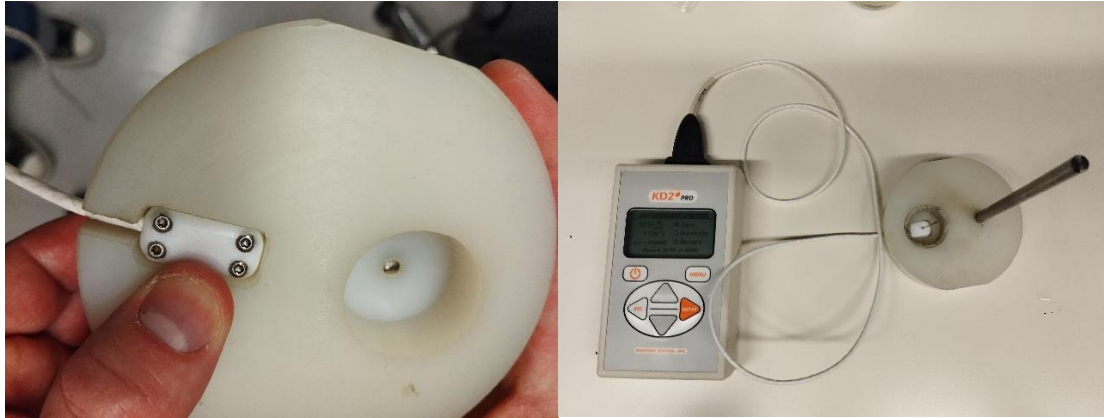


Figura 36. A) Sonda encajada en el soporte. B) Instrumento colocado para introducir la muestra a medir. Fuente: Original.

Cuando está colocada la sonda sobre el soporte, se introduce el vial mediante el agujero realizado anteriormente. Finalmente se sumerge en el baño termostático para comenzar el proceso de medición, como se ve en la *Figura 37*.



Figura 37. Vial dentro del baño termostático. Fuente: Original.

A lo largo de este proceso, fue necesario prestar atención a diversos aspectos:

- La sonda debía mantenerse estática durante las mediciones, por lo que era esencial realizar un ajuste preciso desde el inicio para asegurar su inmovilidad. En el caso

de que la sonda entrase en movimiento se podrían generar vibraciones que interfiriesen en la toma de datos.

- Otro aspecto importante por considerar fue prevenir la acumulación de bolsas de aire dentro de la muestra y en contacto directo con la sonda, ya que esto podría alterar la temperatura durante la recogida de datos.
- La muestra tenía que estar totalmente sumergida en el baño termostático, asegurando así que no se produzca convección libre.
- Para tomar las medidas el agua del baño termostático no estaba en movimiento, ya que las vibraciones de la bomba y el agua causarían convección forzada.

Cuando el baño con el vial en su interior alcanzaba la temperatura deseada se mantenía durante 15 minutos para permitir al fluido estabilizarse y conseguir un equilibrio térmico. Se tomaron al menos tres veces cada medida para garantizar que la incertidumbre estuviese dentro del 5%.

Las muestras que se midieron fueron los diferentes fluidos base en sus diferentes volúmenes para hacer un estudio térmico inicial. Tras decidir cual era el fluido base, se recogieron los datos de las diferentes concentraciones (1%, 2%, 3% y 4% de A200).

Las medidas de cada muestra fueron desde los 5°C hasta los 90°C y esperando 15 minutos entre cada toma.

4.3. Medida de la dilatación

Durante la toma de datos se observó que el aceite de girasol se dilataba a medida que la temperatura iba aumentando. Por esta razón se midió el coeficiente de dilatación en base a la temperatura.

El material se colocó en el interior de un picnómetro (*Figura 38*) y se introdujo en un baño termostático. La temperatura del baño fue aumentando gradualmente. Comenzó a temperatura ambiente (26°C), después se aumentó a los 40°C, temperatura a la comenzaban a apreciarse ciertos cambios en el volumen del material, y subiendo en saltos de 10°C se aumentó hasta los 90°C.



Figura 38. Picnómetro. Fuente: Original

Para conseguir el incremento de volumen se utilizó la variación de masa. Conforme la temperatura aumentaba el aceite salía del recipiente, por esta razón la masa se iba reduciendo. Se pesó el recipiente en cada punto térmico y utilizando el procedimiento mostrado en la *Ecuación 5* y *Ecuación 6*, se calculó el coeficiente de dilatación.

$$V_{picnometro} = 25.053 \text{ ml} \pm 0.001 \text{ ml}$$

$$\Delta V = \frac{\Delta P}{\rho_{AG}} \quad (5)$$

$$\beta_{AG} = \frac{\Delta V / V_0}{\Delta T} \quad (6)$$

Siendo $\Delta P = P_{anterior} - P_{actual}$ y $\Delta T = T_{anterior} - T_{actual}$.

4.4. Medida de la viscosidad

El estudio reológico está basado en la medir la resistencia al flujo de un material. El reómetro aplica una fuerza, es decir, el fluido se somete a un esfuerzo de cizalla tangente provocado por el cilindro concéntrico móvil.

Fue utilizado este instrumento en vez del viscosímetro ya que recoge un rango más amplio de viscosidades. Al tratarse de fluidos no newtonianos el comportamiento en función de la fuerza aplicada hace que la viscosidad sea mayor que en los fluidos newtonianos.

Como se indicó anteriormente las geometrías utilizadas fueron dos, y a continuación se va a explicar su funcionamiento.

- Cilindros concéntricos

Se deposita 1 ml de muestra dentro del cilindro hueco inmóvil, sobre el que va a girar su negativo. El cilindro móvil descende hasta el fondo dejando una separación con este de 150 μm . El cilindro móvil gira en el interior del inmóvil con una velocidad de cizalla y una temperatura indicadas anteriormente. En la [Figura 39](#) se muestra la disposición de las geometrías para su posterior funcionamiento.



Figura 39. Disposición de los cilindros en el reómetro Gemini. Fuente: Original.

- Cono-plato

Se deposita una fina capa de muestra sobre la superficie del plato (inmóvil), el cono desciende hasta dejar 1 mm de distancia con el plato. El cono gira sobre el plato con una velocidad y temperatura indicadas previamente. En la *Figura 40* se muestra la disposición para llevar a cabo el proceso de medición.

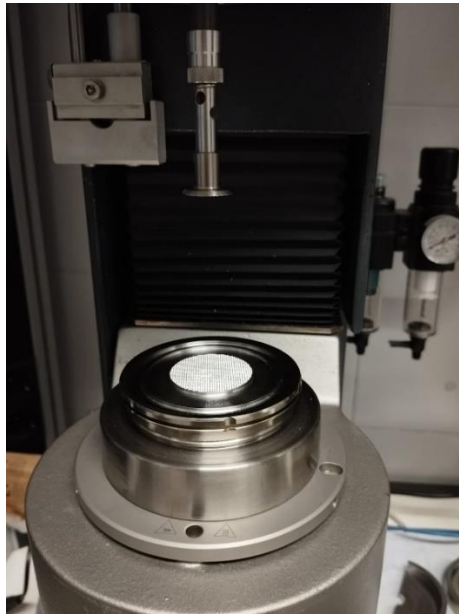


Figura 40. Disposición del cono-plato en el reómetro Haake. Fuente: Original.

A continuación, se van a explicar los ensayos reológicos llevados a cabo:

- Barridos de temperatura o curvas de viscosidad-temperatura
- Curvas de flujo

- Barridos de temperatura o curvas de viscosidad-temperatura

Estos datos se han tomado utilizando ambos reómetros, Gemini y Haake. Durante este proceso el fluido varía su comportamiento dependiendo de la temperatura, es por esto por lo que la viscosidad cambia. Cuando se trabaja con materiales de cambio de fase, durante este tipo de ensayos se puede obtener mucha información, ya que esta transformación dependiente de la temperatura se refleja sobre todo en la viscosidad del fluido, que va disminuyendo con la temperatura.

El reómetro trabaja bajo unas condiciones de cristalización cuando baja la temperatura y de fusión cuando aumenta. Esto hace que las curvas no sean reversibles, sino que durante el proceso de cristalización el fluido actúe de una forma y, durante la fusión tenga otro comportamiento. En la *Figura 41* se muestra un esquema de las condiciones de trabajo del reómetro.

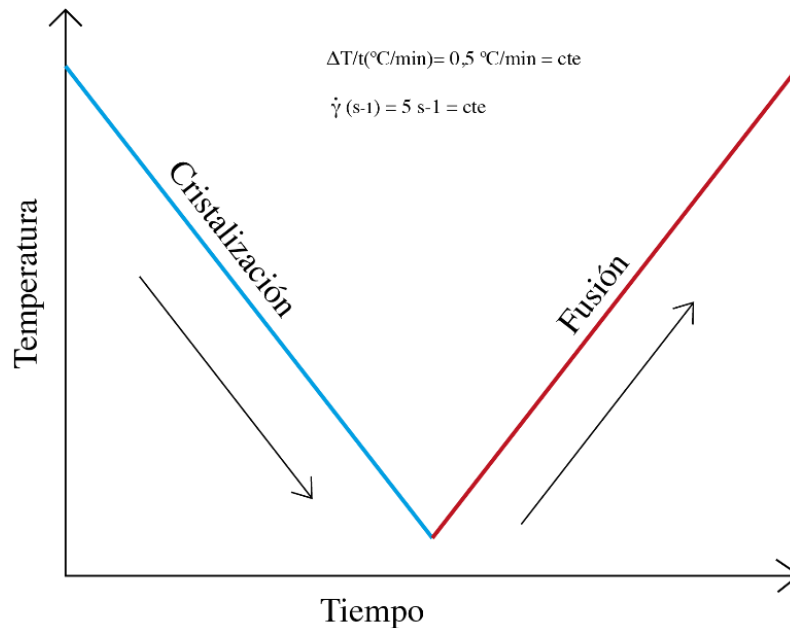


Figura 41. Comportamiento del fluido durante el barrido de temperatura a velocidad de cizalla y transferencia de calor constantes. Fuente: Original.

Estas curvas se llevan a cabo manteniendo la velocidad de cizalla y la transferencia de calor constantes, en nuestro caso se ha realizado a 5 s^{-1} y $0,5^{\circ}\text{C}/\text{min}$.

La velocidad de cizalla (5s^{-1}) ha sido escogida de forma estratégica. A medida que la velocidad baja el lazo de la curva se va haciendo más grande, mientras que a velocidades más altas el efecto reofluidificante (la viscosidad disminuye cuando la velocidad aumenta) hace que la viscosidad sea tan pequeña que el fluido se comporte como un fluido Newtoniano.

De esta forma también se ha elegido la velocidad de transferencia de calor ($0,5^{\circ}\text{C}/\text{min}$). Se ha elegido un valor tan bajo ya que este ha demostrado ser un fluido que

necesita tiempo para llegar a la temperatura deseada y estabilizarse, siendo incapaz de reproducir otro tipo de condiciones.

- Curvas de flujo o curvas de velocidad de cizalla-viscosidad

Estos datos fueron tomados utilizando los dos reómetros explicados anteriormente, el Gemini y el Haake. Mediante este ensayo se ha buscado obtener datos de la viscosidad de las muestras (η).

Estas curvas se llevan a cabo manteniendo la temperatura constante y variando la velocidad de cizalla (γ). Es necesario marcar un rango de velocidades entre las que trabajará el reómetro y, tardará Δt en pasar de una a otra, logrando así un valor estacionario de la misma. En la *Figura 42* se muestran las condiciones bajo las que trabaja el reómetro.

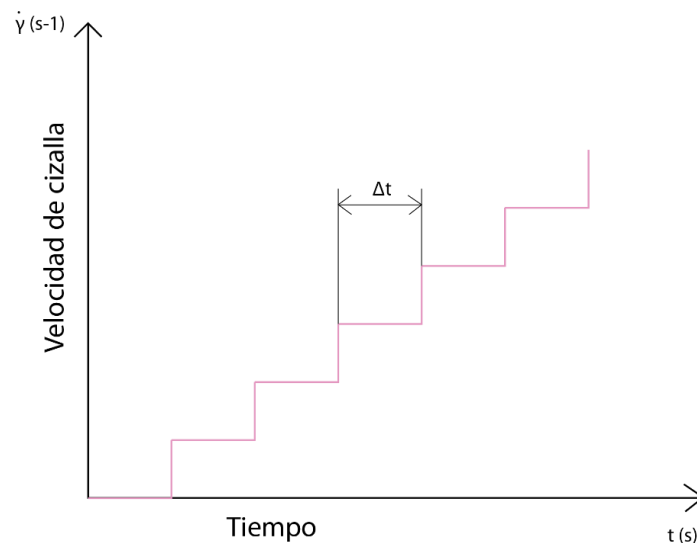


Figura 42. Condiciones de trabajo del reómetro durante las curvas de flujo. Fuente: Original.

Las temperaturas elegidas para este experimento fueron: 35°C, 30°C, 28°C, 26°C, 24°C, 22°C, 20°C, 18°C, 16°C y 14°C. Estos parámetros fueron seleccionados debido a que el aceite de coco experimenta un cambio de fase a 22°C. No obstante, al incorporar partículas de óxido de silicio, este cambio de fase ocurre a una temperatura distinta. Por lo tanto, se realizó una observación para determinar a qué temperatura se producía este fenómeno.

La velocidad se fue variando desde los $0,01 \text{ s}^{-1}$ hasta los 1200 s^{-1} . Se seleccionó este rango para poder estudiar el comportamiento del fluido tanto a velocidades bajas como a las velocidades que alcanzaría el taladro industrial.

4.5. Imágenes termográficas

Las imágenes termográficas se consiguieron durante las pruebas con el taladro. Se capturó el comportamiento térmico de cada suspensión durante la perforación de una pieza.

Primero se preparó el taladro ERLO CR18 escogiendo la broca mostrada en el apartado de materiales y, colocando la pieza de acero en la mesa de trabajo. Posteriormente se concretaron los parámetros con los que se iba a llevar a cabo la prueba. Estos se calcularon conforme a la [Ecuación 7](#) mostrada a continuación:

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} \quad (7)$$

$n = \text{revoluciones por minuto}$

$v_c = \text{velocidad de corte}$

$D = \text{diámetro}$

La velocidad de corte aproximada es de entre 15 y 20 m/min. Esto resultó en un rango de revoluciones por minuto (rpm) de 955 a 1273. De las configuraciones disponibles en el taladro, se seleccionó una velocidad de 1240 rpm, ya que se ajustaba a este rango.

Tras la selección de parámetros se comenzó con la prueba. En la [Figura 43](#) se puede observar la broca colocada en el taladro y preparada para iniciar la perforación.



Figura 43. Broca colocada en el taladro. Fuente: Original.

Se colocó el fluido sobre la placa de acero como se muestra en la *Figura 44*, justo bajo la broca. El material depositado tiene un diámetro de 3 cm y un espesor de 2 mm.



Figura 44. Fluido depositado sobre la placa de acero. Fuente: Original.

Finalmente se comenzó la prueba. Se hicieron perforaciones dedicando 60 segundos a cada una. Se tomó un descanso de 15 minutos entre cada perforación para garantizar que la placa regresara a la temperatura ambiente. Mientras se perforaba se tomaron fotos con la cámara termográfica. Fueron cuatro imágenes por cada orificio, cada



15 segundos (a los 15, 30, 45 y 60 segundos). Este procedimiento se siguió para todas las muestras.

El coeficiente de emisividad (E) fue escogido en función del material a estudiar. Este fue $E=0,95$.

5. RESULTADOS EXPERIMENTALES

A continuación, se van a exponer y justificar los resultados que se han obtenido durante la realización de los experimentos explicados anteriormente.

5.1. Conductividad térmica

El objetivo de este apartado es comparar el comportamiento térmico de las muestras explicadas en el apartado de métodos experimentales. Se van a analizar los factores que influyen en cada una de éstas en su capacidad de transmitir el calor. Siguiendo el procedimiento expuesto en la medida de la conductividad térmica (*apartado 4.2, Capítulo 4, Métodos Experimentales*) se han obtenido los valores experimentales correspondientes a cada muestra, presentados en Tablas en el *Anexo B*.

La conductividad térmica se define como la propiedad física de los materiales que mide su capacidad para conducir el calor. Es decir, la capacidad de una sustancia para transferir la energía cinética de sus moléculas a otras adyacentes o a sustancias con las que está en contacto. En los aceites vegetales esta propiedad depende de su composición. Esta conductividad no solo es influenciada por la composición del aceite, sino también por la temperatura. Todos los aceites vegetales disminuyen su conductividad cuando aumenta la temperatura. Además, se ha observado que la conductividad es mayor en aquellos aceites con una mayor concentración de ácidos grasos insaturados. (*González-Romero & Sarmiento-González, 2019*)

Se midió la conductividad térmica de los dos aceites vegetales puros, y de las correspondientes mezclas formadas por aceite de girasol (AG)-aceite de coco (AC) en las proporciones en volumen 1:9, 9:1 y 1:1, respectivamente (*Figura 45*).

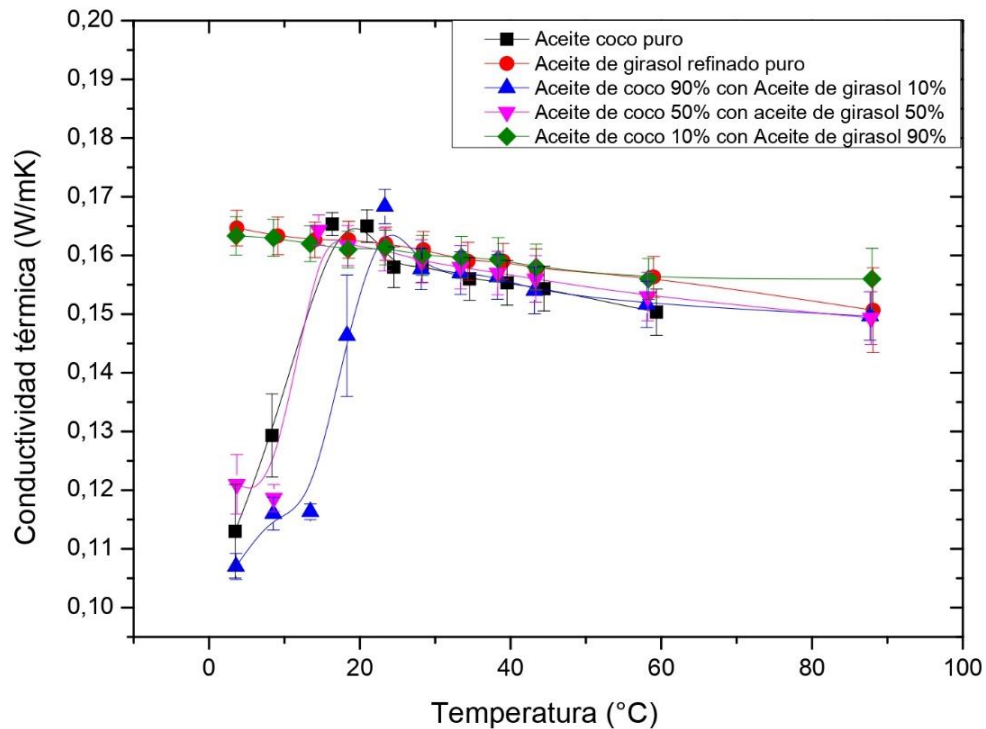


Figura 45. Representación gráfica de la conductividad térmica de los fluidos base. Fuente: Original.

En la *Figura 45* se observa que el aceite de coco presenta un máximo de conductividad térmica durante el cambio de fase, el varía según la proporción de la mezcla. El aceite de coco puro presenta una conductividad baja que aumenta con la temperatura, hasta que experimenta el cambio de fase, a los 20°C, a partir de esta temperatura comienza a disminuir, como hacen el resto de los aceites vegetales. Es evidente que conforme aumenta la concentración de aceite de girasol, la conductividad térmica a temperaturas muy bajas es mayor que la del aceite de coco puro. Sin embargo, en todas las muestras, la conductividad térmica disminuye con el aumento de la temperatura. Del análisis comparativo se puede afirmar que el aceite de girasol presenta mejor conductividad térmica que el aceite de coco.

5.1.1. Conductividad térmica en función de la temperatura

A continuación, se representa como influye la temperatura en la conductividad térmica de las suspensiones y del fluido base.

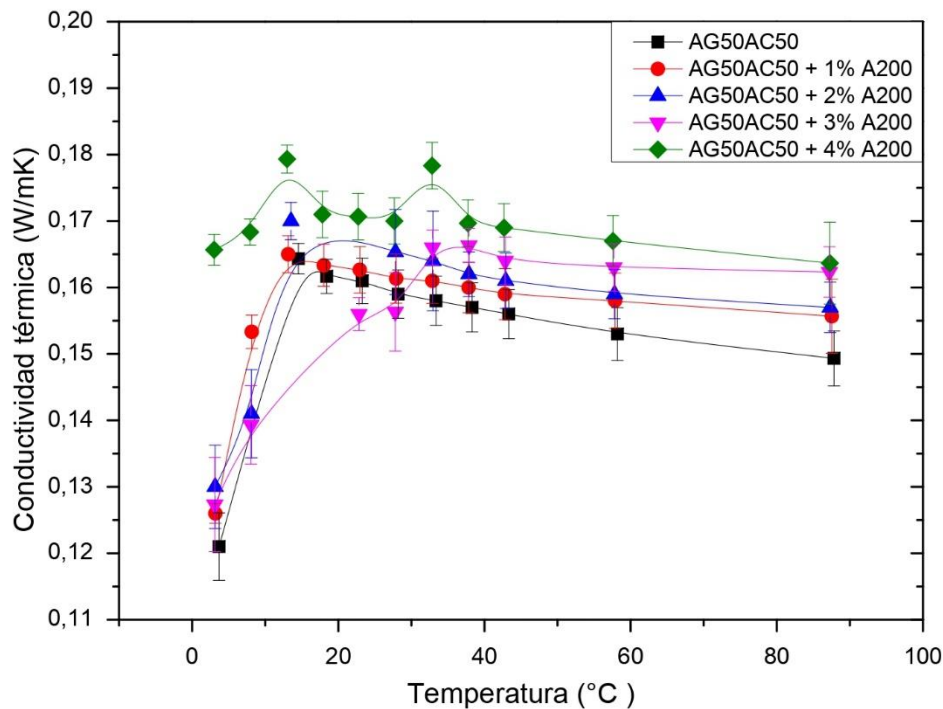


Figura 46. Conductividad térmica de las suspensiones y del fluido base en función de la temperatura. Fuente: Original.

En la [Figura 46](#) se observa cómo, conforme aumenta la concentración de óxido de silicio la conductividad se vuelve cada vez más constante. Al aumentar la concentración de partículas, 0,03 y 0,04 v/v, los fluidos forman geles. Esto modifica la temperatura de cambio de fase respecto a la del fluido base y, por tanto, los valores máximos de conductividad se desplazan a temperaturas más altas respecto a las del fluido base.

Una vez se ha producido el cambio de fase (a partir de los 40°C en todas las muestras), la conductividad térmica aumenta con la concentración de partícula, a temperaturas superiores a 40°C. Generalmente, las sustancias de naturaleza orgánica poseen bajas conductividades térmicas y eléctricas. [Nieto y col. \(2010\)](#) describen una disminución de la conductividad térmica con el aumento de la temperatura en fluidos de naturaleza

orgánica. Otros autores (*Jiménez-Galea y col.*) también han descrito este comportamiento en nanofluidos de sílice.

Como muestra la *Figura 46*, a partir de los 40°C, en todas las muestras se observa un comportamiento aproximadamente lineal de la conductividad térmica con la temperatura. Por esta razón, se ha propuesto un modelo matemático lineal, de para relacionar la conductividad térmica la temperatura. La expresión matemática se muestra en la *Ecuación 8*:

$$k_r = 1 + C_{k,T} \cdot T = \frac{k_{NF}}{k_{FB}} \quad (8)$$

k_r = Conductividad térmica relativa

k_{NF} = Conductividad térmica del nanofluido

k_{FB} = Conductividad térmica del fluido base

$C_{k,T}$ = Constante de proporcionalidad/pendiente

T = Temperatura termodinámica (Kelvin)

En la *Figura 47* se ha representado la conductividad térmica relativa (conductividad térmica del nanofluido respecto a la del fluido base) y los correspondientes ajustes lineales a partir de los 40°C, para cada una de las suspensiones estudiadas. Como se indicó anteriormente, las partículas de A200 producen un aumento de la conductividad térmica de los nanofluidos, mejorando sus propiedades térmicas. Se aprecia claramente como la suspensión al 4% presenta mejores propiedades térmicas que la del 1%.

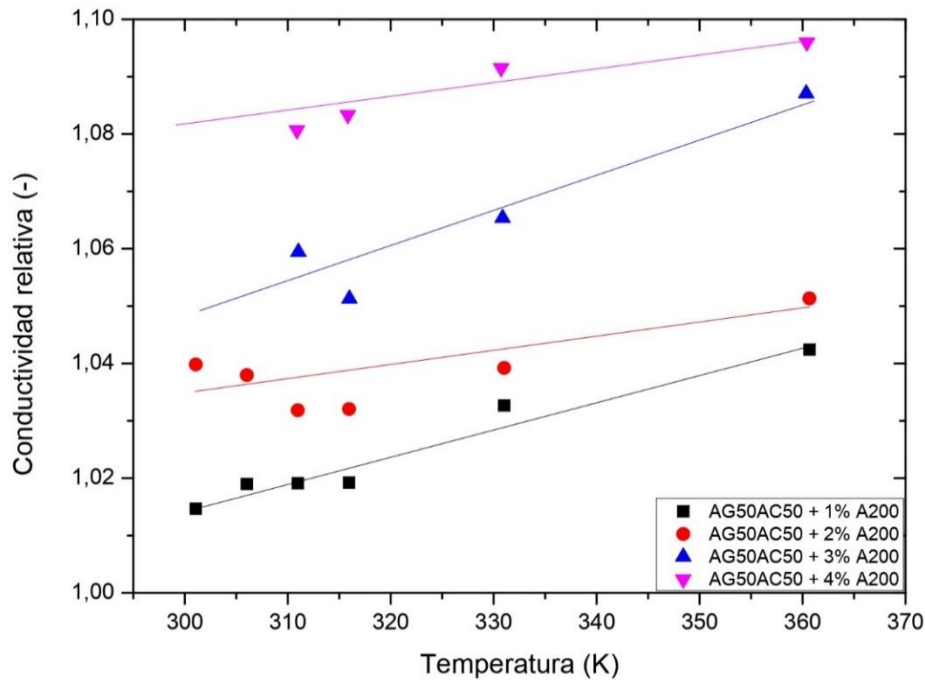


Figura 47. Ajuste lineal de la conductividad relativa frente a la temperatura de los nanofluidos. Fuente: Original.

En la *Tabla 14* se representan los ajustes de la *Ecuación 8* para cada una de las suspensiones estudiadas. El coeficiente de proporcionalidad ($C_{k,T}$), es independiente de la temperatura, cambia ligeramente con la concentración de partícula, aunque en todos los casos su valor es muy pequeño, por lo que se puede inferir que apenas varía con la concentración de partícula. La conductividad térmica relativa representa el incremento de conductividad respecto a la fase líquida. Como indica la *Figura 47*, la pendiente de las rectas es bastante próxima entre ellas. Este resultado permite inferir que la conductividad térmica relativa se incrementa ligeramente con la temperatura, independientemente de la concentración de la suspensión, y que este porcentaje de incremento, respecto a la temperatura inicial de 40 °C, es aproximadamente el mismo para todas las suspensiones estudiadas.

MUESTRA	EXPRESIÓN
AC50AG50 + 1% A200	$k_r = 1 + 4,8 \cdot 10^{-4} \cdot T$
AC50AG50 + 2% A200	$k_r = 1 + 0,2 \cdot 10^{-3} \cdot T$
AC50AG50 + 3% A200	$k_r = 1 + 0,7 \cdot 10^{-3} \cdot T$
AC50AG50 + 4% A200	$k_r = 1 + 0,3 \cdot 10^{-3} \cdot T$

Tabla 14. Expresiones matemáticas de la conductividad frente a la temperatura para muestra. Fuente: Original.

5.1.2. Conductividad térmica en función de la fracción en volumen

A continuación, se representa la conductividad térmica de las suspensiones y del fluido base respecto a la fracción en volumen de óxido de silicio.

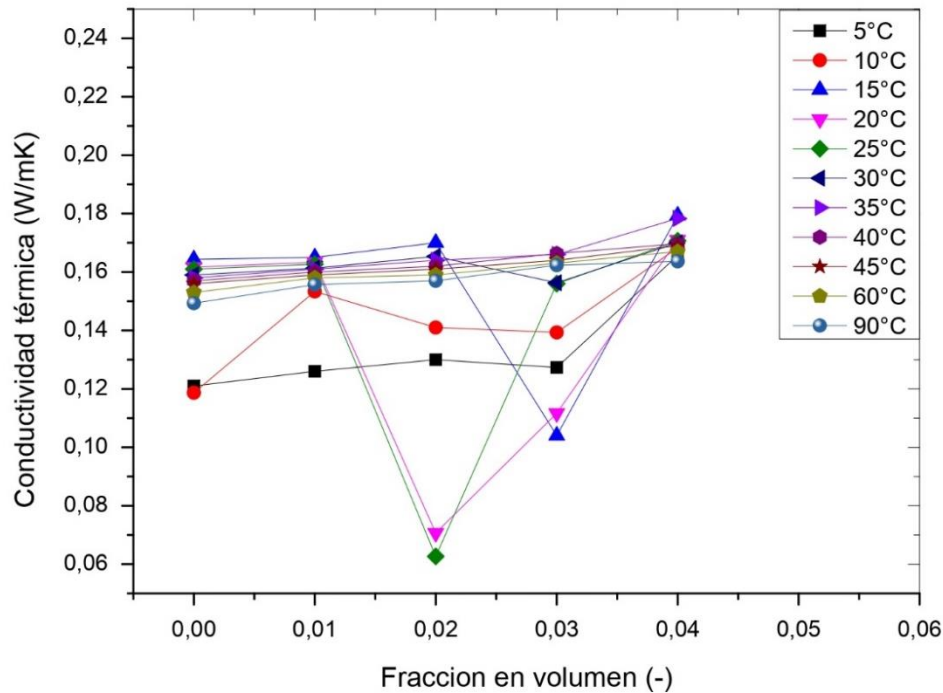


Figura 48. Representación gráfica de la conductividad térmica frente a la fracción en volumen de óxido de silicio.

Fuente: Original.

En la *Figura 48* se muestra como varía la conductividad en un rango entre 5 y 90°C en función de la fracción en volumen de partículas de A200 para el fluido base AC50AG50. Se puede observar la conductividad térmica disminuye con la temperatura excepto en el intervalo de temperaturas en el que se produce el cambio de fase (como se apreciaba en la gráfica de la conductividad térmica frente a la temperatura). También está directamente relacionado con la fracción en volumen, a medida que aumenta la proporción de partículas en el fluido también se observa un aumento en la conductividad térmica.

En las temperaturas correspondientes al cambio de fase la conductividad deja de ser lineal y presenta un máximo.

- Para $\Phi = 0,01$ el cambio de fase del aceite de coco se produce a los 20°C aproximadamente por lo que antes de llegar a esa temperatura (5 y 10°C) la conductividad térmica presenta valores más bajos de conductividad.

- Para $\Phi = 0,02$ el máximo de conductividad se produce a los 20°C aproximadamente. A temperaturas inferiores se observa una disminución de la conductividad térmica.
- Para $\Phi = 0,03$ el máximo de conductividad se produce a los 35°C. A temperaturas inferiores se observa una disminución de la conductividad térmica.
- Para $\Phi = 0,04$ se observan dos máximos de conductividad a 18 °C y 28 °C, respectivamente, sin embargo, al tener el comportamiento de un gel, la conductividad se mantiene prácticamente constante, independientemente del cambio de fase del aceite de coco.

Al igual que en con la conductividad frente a la temperatura, aquí también se propone un modelo matemático lineal para analizar la conductividad frente a la fracción en volumen de A200. Este es el mostrado en la [Ecuación 9](#):

$$k_r = \frac{k_{NF}}{k_{FB}} = 1 + C_{k,\Phi} \cdot \Phi \quad (9)$$

k_r = Conductividad térmica relativa

k_{NF} = Conductividad térmica del nanofluido

k_{FB} = Conductividad térmica del fluido base

$C_{k,T}$ = Constante de proporcionalidad

T = Temperatura termodinámica (Kelvin)

En la [Figura 49](#) se ve representado el ajuste lineal basado en el modelo matemático mostrado en la [Ecuación 9](#).

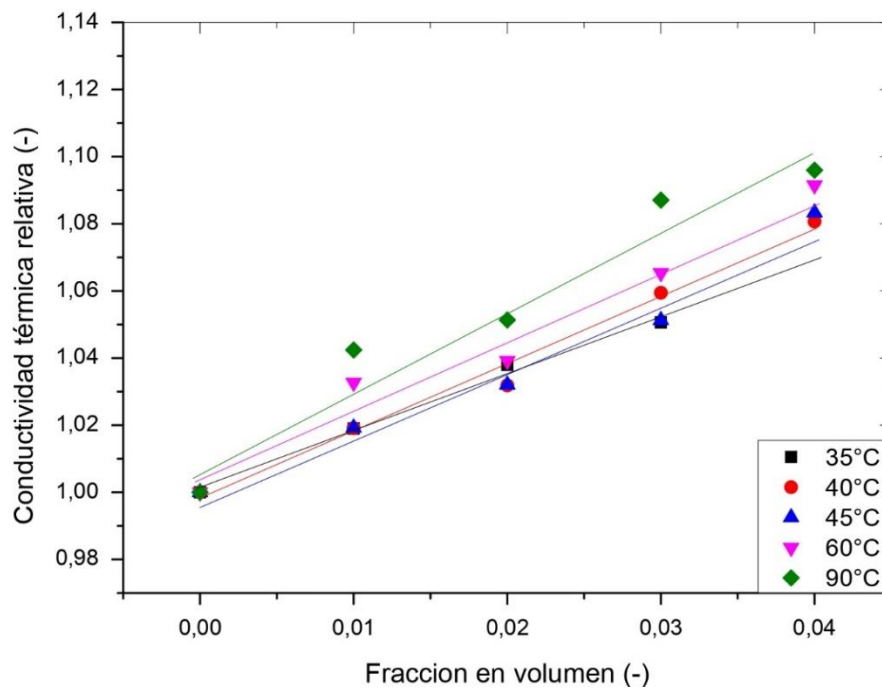


Figura 49. Representación gráfica del ajuste lineal de la conductividad relativa frente a la fracción en volumen. Fuente: Original.

TEMPERATURA	EXPRESIÓN
35°C	$K_r = 1 + 1,7 \Phi$
40°C	$K_r = 1 + 2 \cdot \Phi$
45°C	$K_r = 1 + 2 \cdot \Phi$
60°C	$K_r = 1 + 2,2 \cdot \Phi$
90°C	$K_r = 1 + 2,4 \cdot \Phi$

Tabla 15. Expresiones matemáticas de la conductividad frente a la concentración para cada muestra. Fuente: Original.

En la [Tabla 15](#) se representan las expresiones matemáticas con los parámetros ajustados para cada temperatura.

En la [Figura 50](#) se muestra la representación gráfica de las pendientes calculadas en el anterior ajuste lineal frente a las temperaturas. De esta forma se muestra la dependencia de esta constante de proporcionalidad con la temperatura. El coeficiente de ajuste $C_{k,\phi}$, físicamente representa el incremento de conductividad respecto a la fase líquida, y la [Figura 50](#) pone de manifiesto que dicho parámetro aumenta con la temperatura.

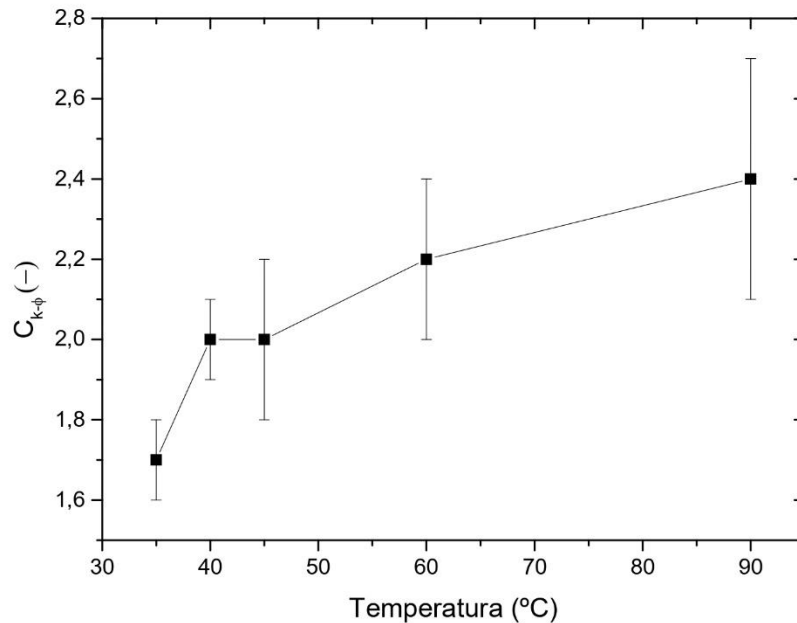


Figura 50. Representación gráfica de la pendiente frente a la temperatura. Fuente: Original.

5.2. Estudio de la viscosidad

Entre los factores que afectan a la viscosidad de los fluidos destacan la temperatura y la concentración de partícula (fracción en volumen). En los fluidos no newtonianos, la velocidad de deformación también modifica la viscosidad de la suspensión. A continuación, se discute la influencia de estos 3 parámetros en la viscosidad de las suspensiones estudiadas.

5.2.1. Viscosidad frente a la temperatura

Las *Figuras 51-55* muestran las curvas viscosidad temperatura, manteniendo constante la velocidad de cizalla. Como se explicó anteriormente, las medidas se han tomado con una velocidad de transferencia de calor de $0,5 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ a una velocidad de cizalla de 5 s^{-1} .

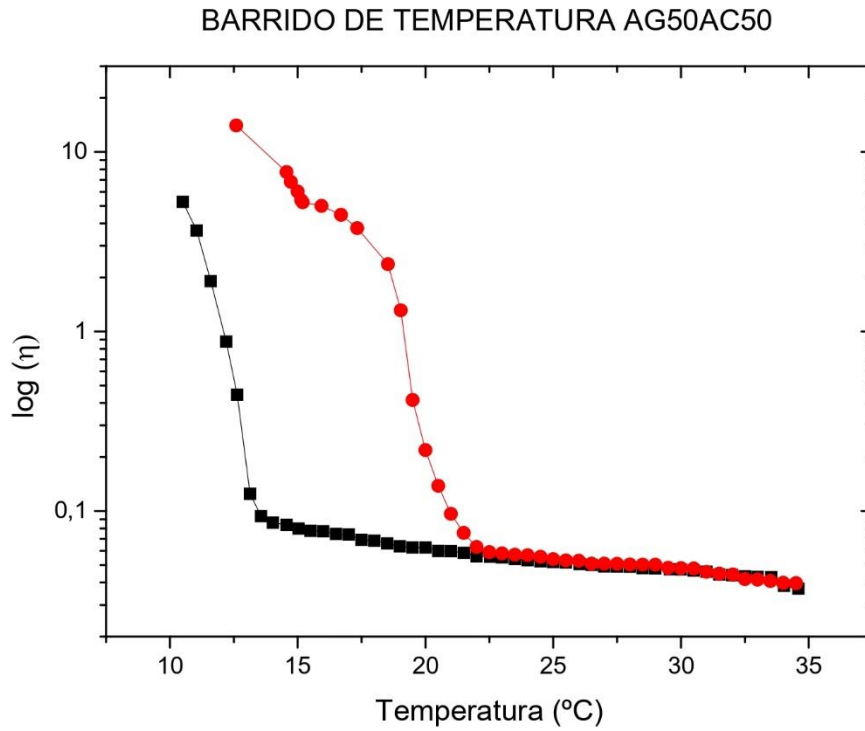


Figura 51. Curva viscosidad-temperatura para el fluido base. Fuente: Original.

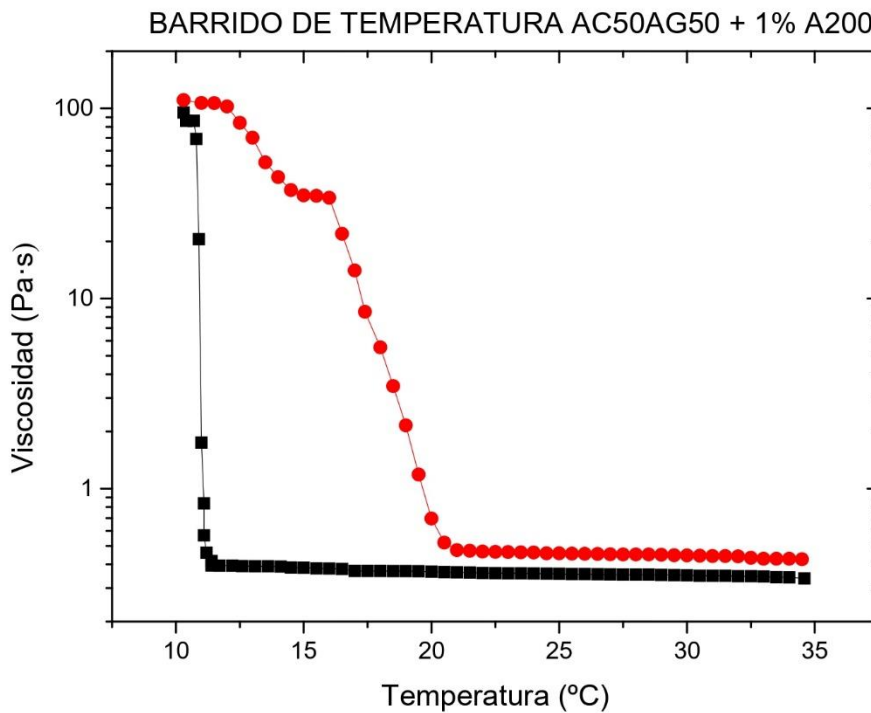


Figura 52. Curva de viscosidad-temperatura para la suspensión con fracción en volumen del 1% de A200. Fuente: Original

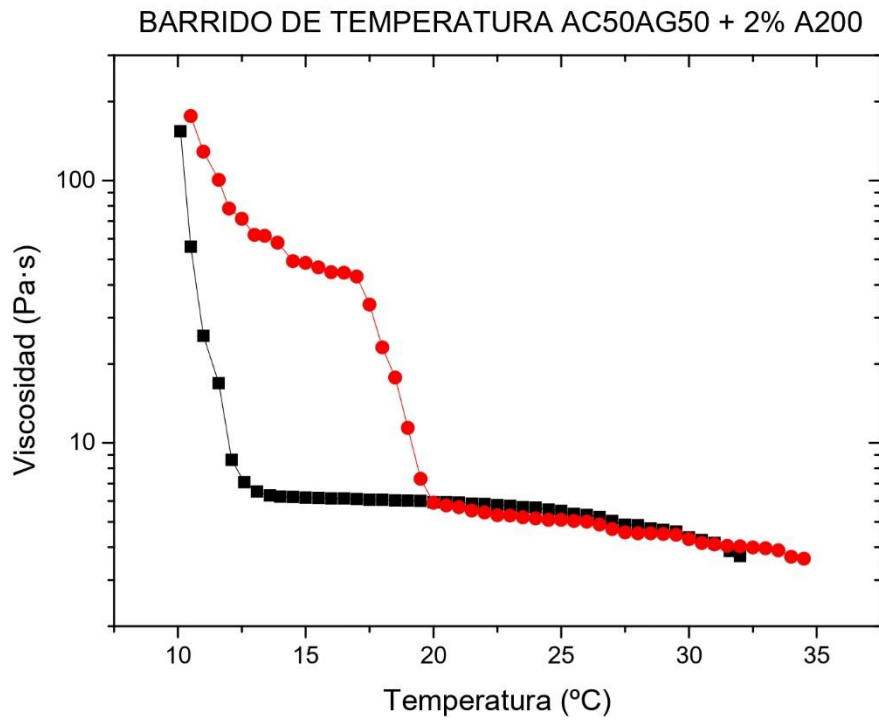


Figura 53. Curva de viscosidad-temperatura para la suspensión con fracción en volumen del 2% de A200. Fuente: Original.

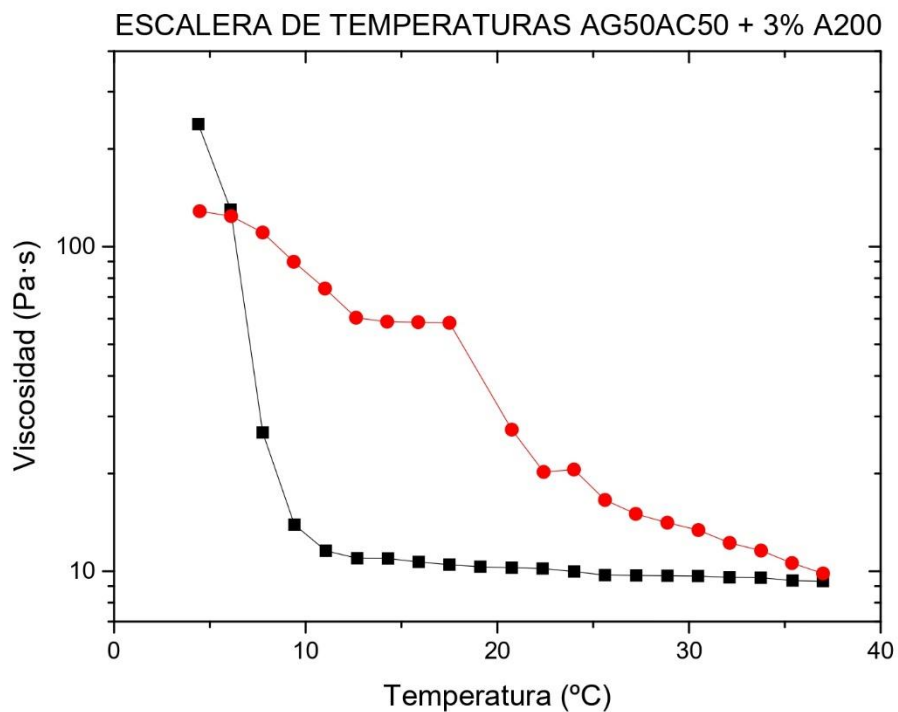


Figura 54. Curva de viscosidad-temperatura para la suspensión con fracción en volumen del 3% de A200. Fuente: Original.

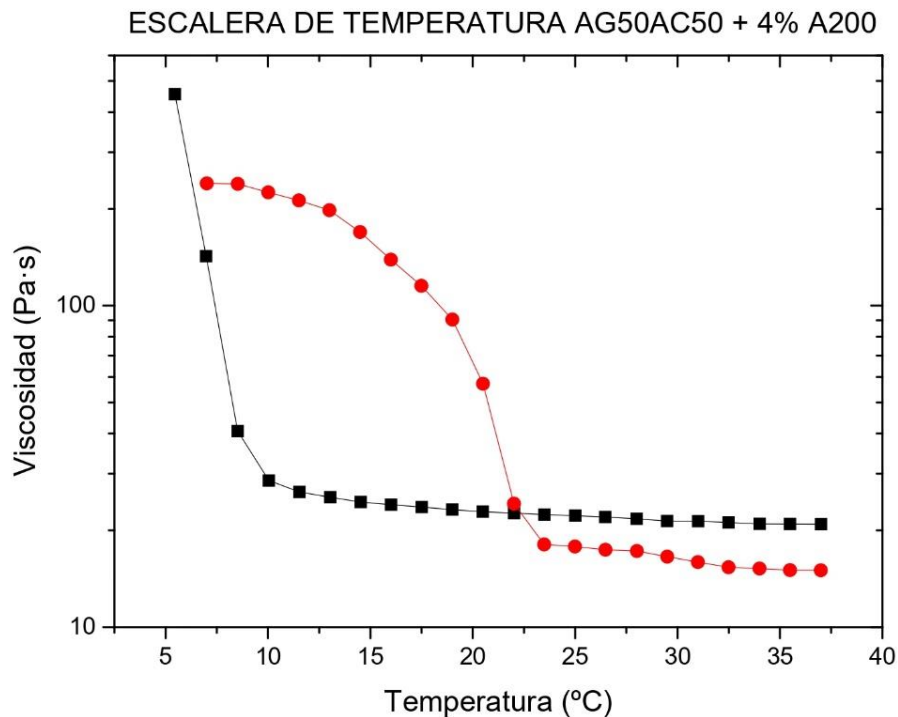


Figura 55. Curva de viscosidad-temperatura para la suspensión con fracción en volumen del 4% de A200. Fuente: Original.

Estas gráficas representan la fusión hacia arriba y la cristalización hacia abajo. Por esta razón, el lazo se une en la zona donde se da el cambio de fase, a partir de los 20°C aproximadamente. Es importante destacar que la pendiente antes de este cambio de fase es aproximadamente igual tanto en las suspensiones como en el fluido base. Tras pasar esta temperatura donde acaba la pendiente, el fluido comienza a comportarse de forma newtoniana, es decir, su viscosidad se alcanza un estado prácticamente constante.

La viscosidad disminuye con el aumento de temperatura, esto se debe a que la energía cinética generada por el calentamiento de este fluido supera a las fuerzas viscosas, consiguiendo así la disminución de la viscosidad. (Ramírez-Navas, 2006).

En las Figuras 56 y 57 están representadas las temperaturas a las que comienza y acaba el cambio de fase de la cristalización y de la fusión para todas las muestras.

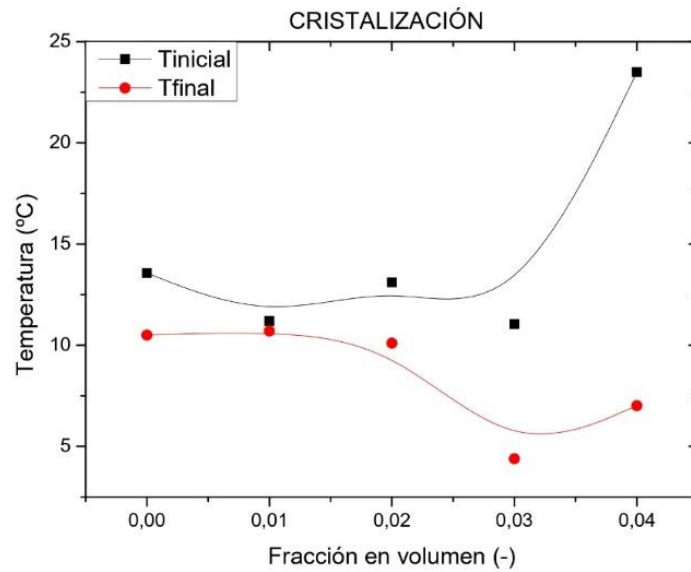


Figura 56. Temperaturas iniciales y finales del cambio de fase para todas las muestras durante la cristalización. Fuente: Original.

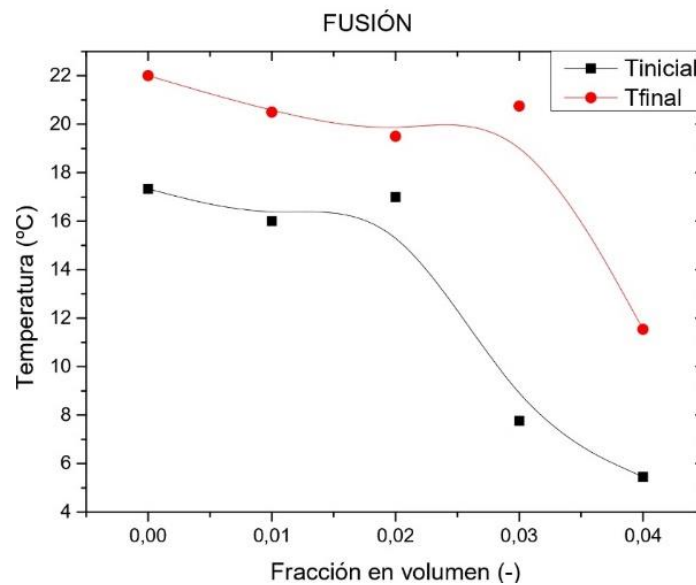


Figura 57. Temperaturas iniciales y finales del cambio de fase para todas las muestras durante la fusión. Fuente: Original.

5.2.2. Curvas de flujo o curvas viscosidad-velocidad de cizalla

A continuación, se muestran las curvas de flujo, es decir, las obtenidas al mantener la temperatura constante variando la velocidad de cizalla.

5.2. 2.a. Curvas de flujo en función de la temperatura

En las *Figuras 58-62* se representa cada muestra en una gráfica diferente y a distintas temperaturas. Los resultados experimentales se representan en escala doble logarítmica para visualizarlos con mayor claridad.

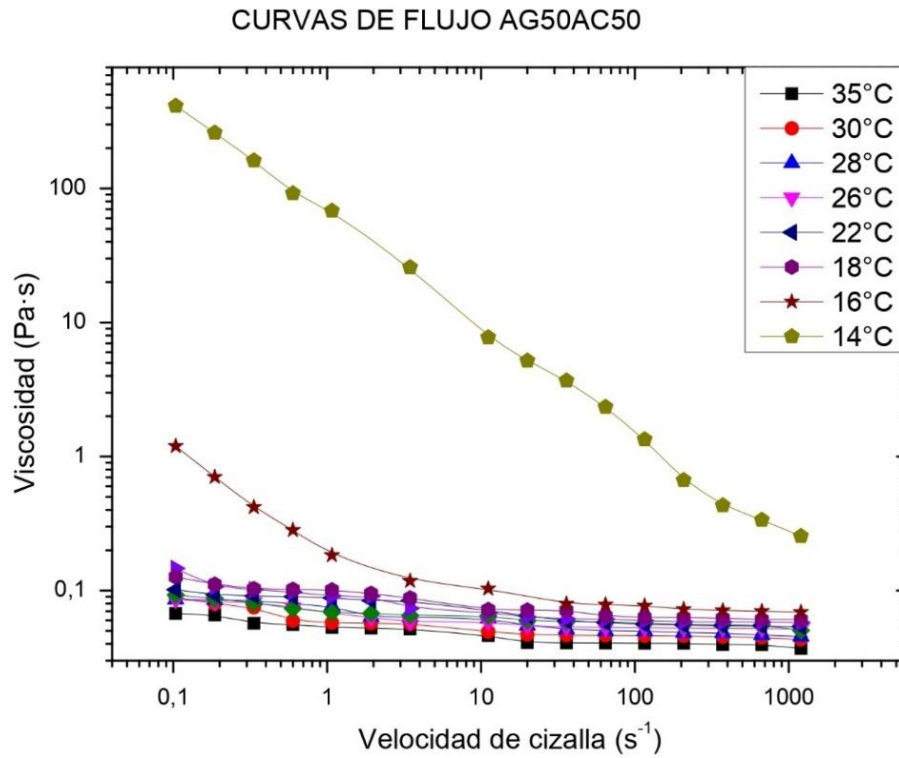


Figura 58. Curva de flujo en función de la temperatura del fluido base. Fuente: Original.

CURVAS DE FLUJO AG50AC50 + 1% A200

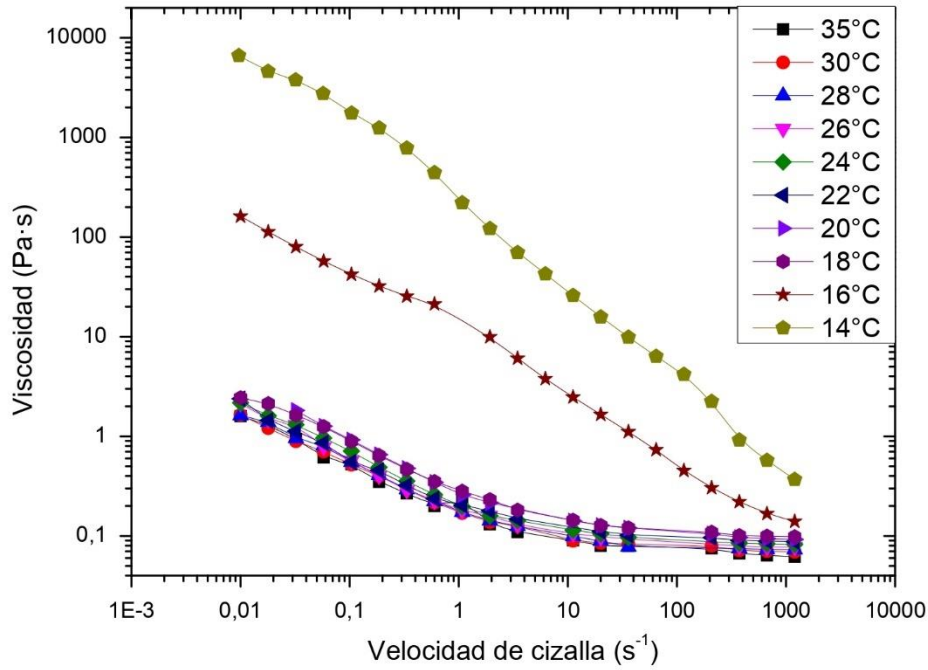


Figura 59. Curva de flujo en función de la temperatura de la suspensión al 1% de A200. Fuente: Original.

CURVAS DE FLUJO AG50AC50 + 2% A200

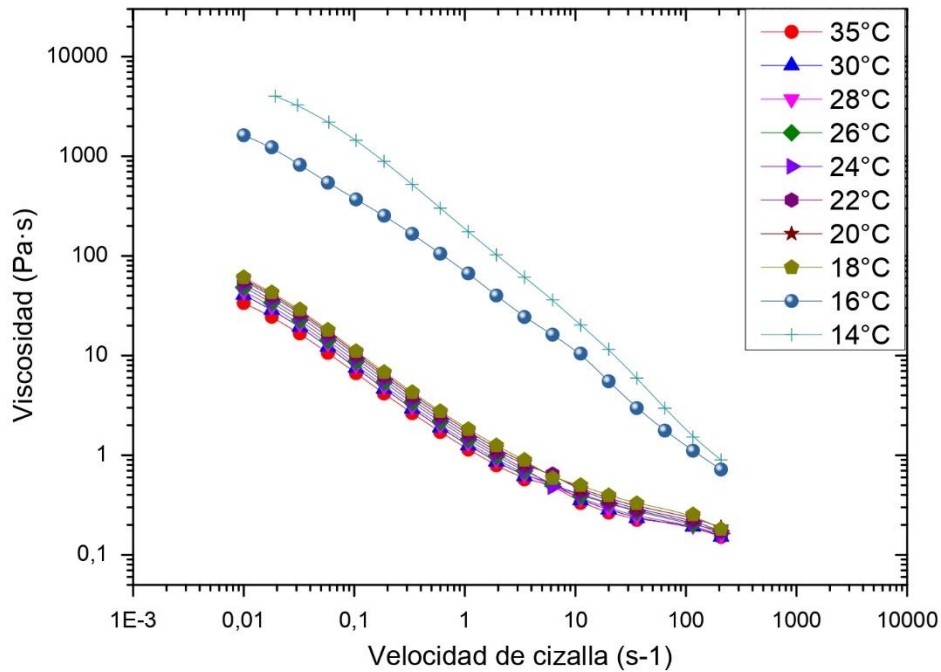


Figura 60. Curva de flujo en función de la temperatura de la suspensión al 2% de A200. Fuente: Original.

CURVAS DE FLUJO AG50AC50 + 3% A200

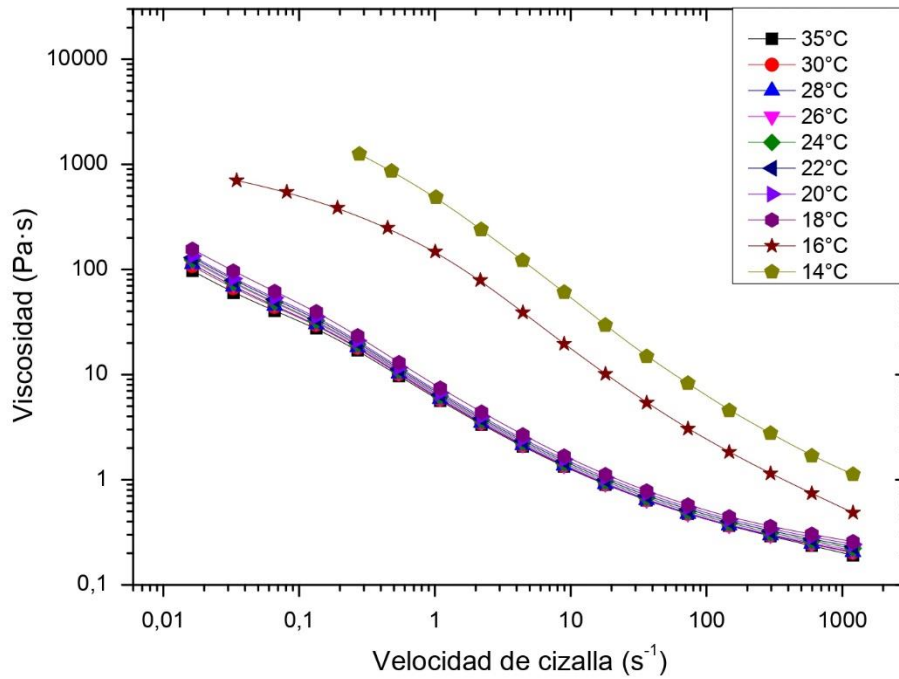


Figura 61. Curva de flujo en función de la temperatura de la suspensión al 3% de A200. Fuente: Original.

CURVAS DE FLUJO AG50AC50 + 4% A200

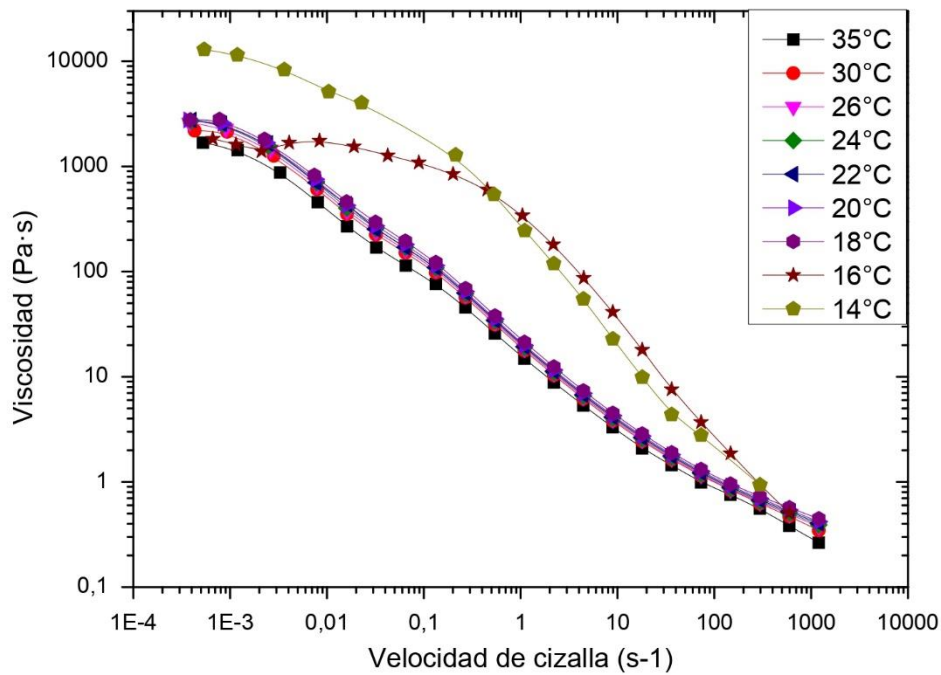


Figura 62. Curva de flujo en función de la temperatura de la suspensión al 4% de A200. Fuente: Original.

Analizando las gráficas se puede comprobar que la viscosidad aumenta con el aumento de la concentración, confirmando así lo explicado en las curvas de viscosidad-temperatura. Asimismo, se aprecia claramente el cambio de fase, el cual varía en función de la fracción en volumen. A medida que aumenta la concentración de partícula la suspensión se torna más consistente, formando estructura de gel en las fracciones 0,03 y 0,04. En estas dos últimas fracciones en volumen, la dependencia de la viscosidad con la temperatura es mucho menor, como se aprecia en las *Figuras 58 y 59*.

La viscosidad, además de depender de la temperatura, en los fluidos no-Newtonianos, es altamente dependiente de la velocidad de cizalla. Todos los ensayos comienzan con una velocidad de cizalla muy pequeña, donde la inercia del fluido es mayor y su resistencia al desplazamiento también. Sin embargo, a medida que aumenta la velocidad de deformación el fluido disminuye su viscosidad considerablemente. Este fenómeno se conoce como efecto reofluidizante. Barnes (*Barnes, Hutton, & Walters, 1989*) justifica este fenómeno proponiendo una alineación de las partículas en la dirección de las líneas de flujo, esto provoca una disminución en la viscosidad de la suspensión.

5.2.2.b. Curvas de flujo en función de la concentración

En las *Figuras 63- 72* se representa las correspondientes isoterms entre 14° y 35°C para las distintas suspensiones cuyas fracciones en volumen varían entre 0 y 0,04 v/v. Para una mejor visualización de los puntos experimentales se utiliza la escala doble logarítmica.

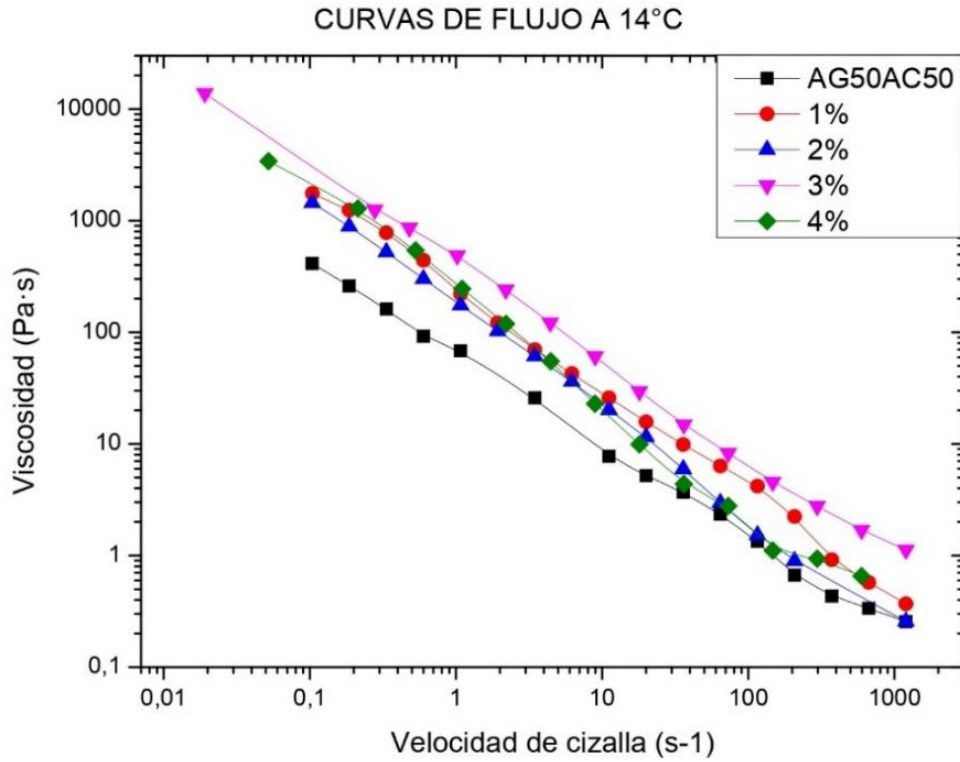


Figura 63. Curva de flujo en función de la concentración a 14°C. Fuente: Original.

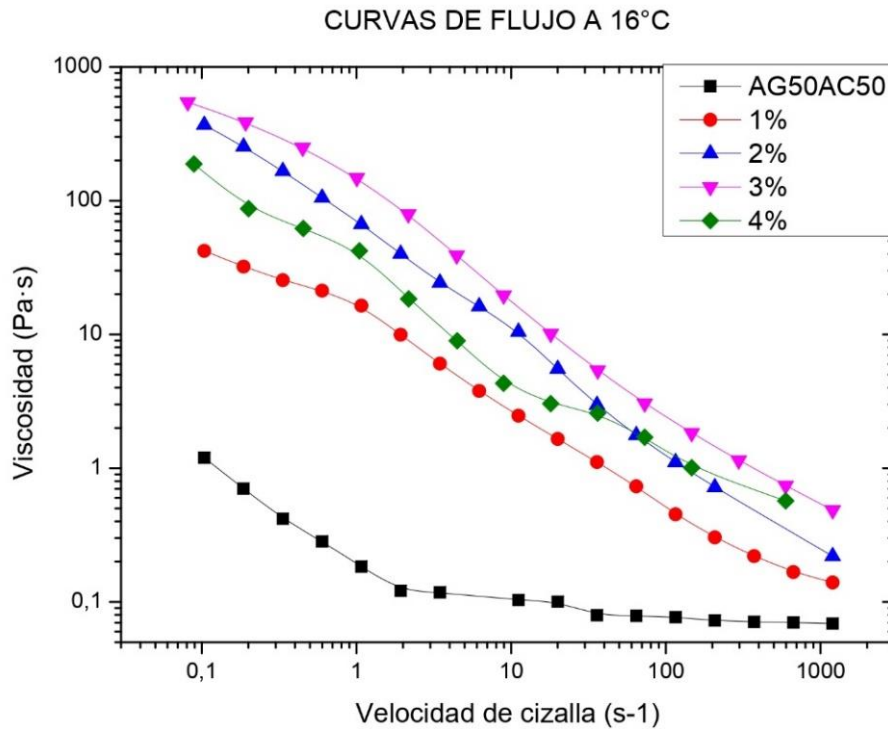


Figura 64. Curva de flujo en función de la concentración a 16°C. Fuente: Original.

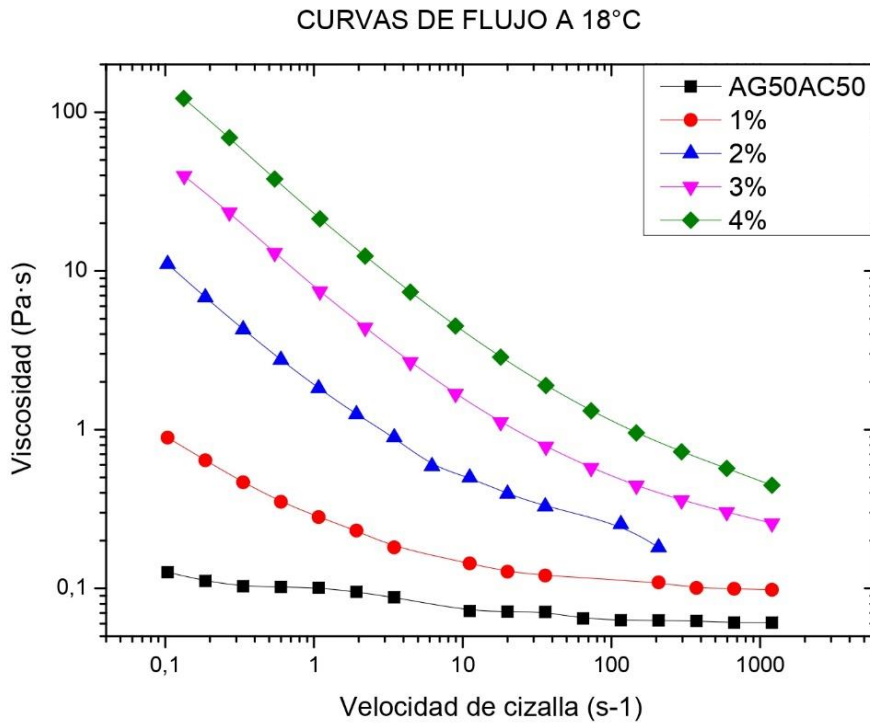


Figura 65. Curva de flujo en función de la concentración a 18°C. Fuente: Original.

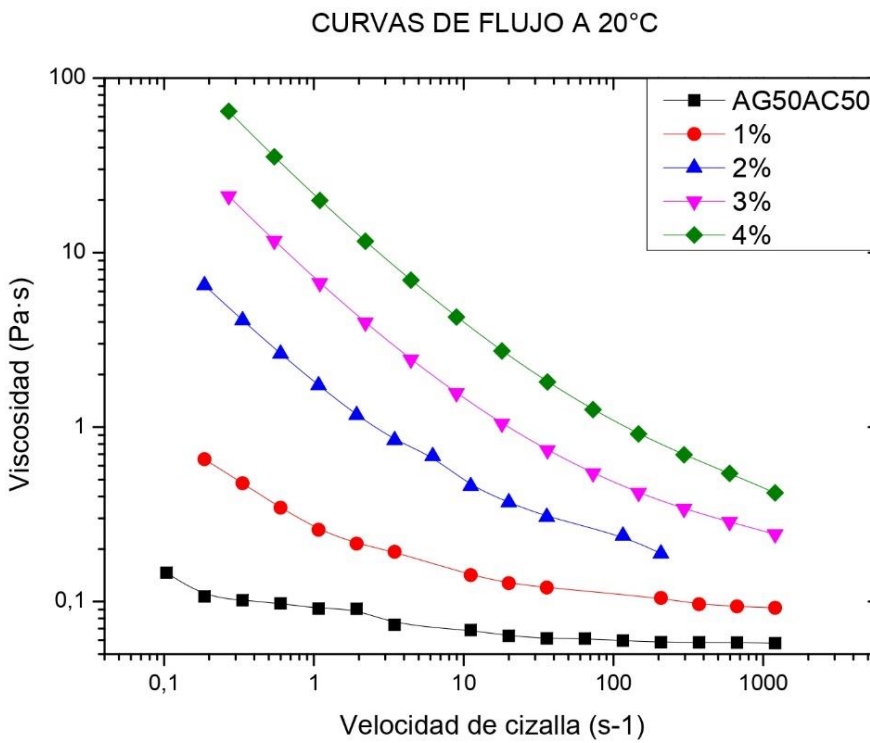


Figura 66. Curva de flujo en función de la concentración a 20°C. Fuente: Original.

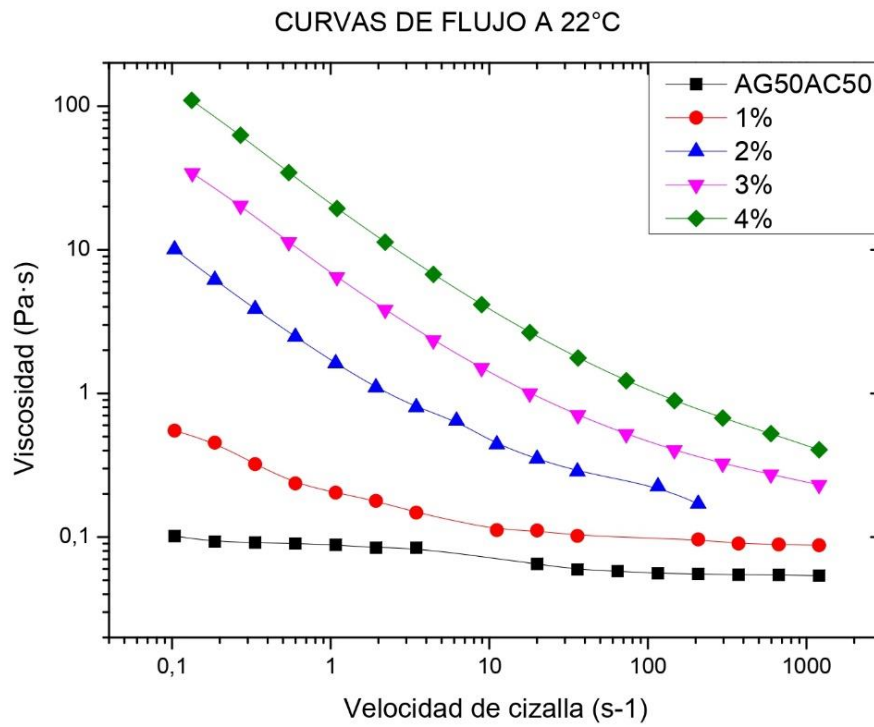


Figura 67. Curva de flujo en función de la concentración a 22°C. Fuente: Original.

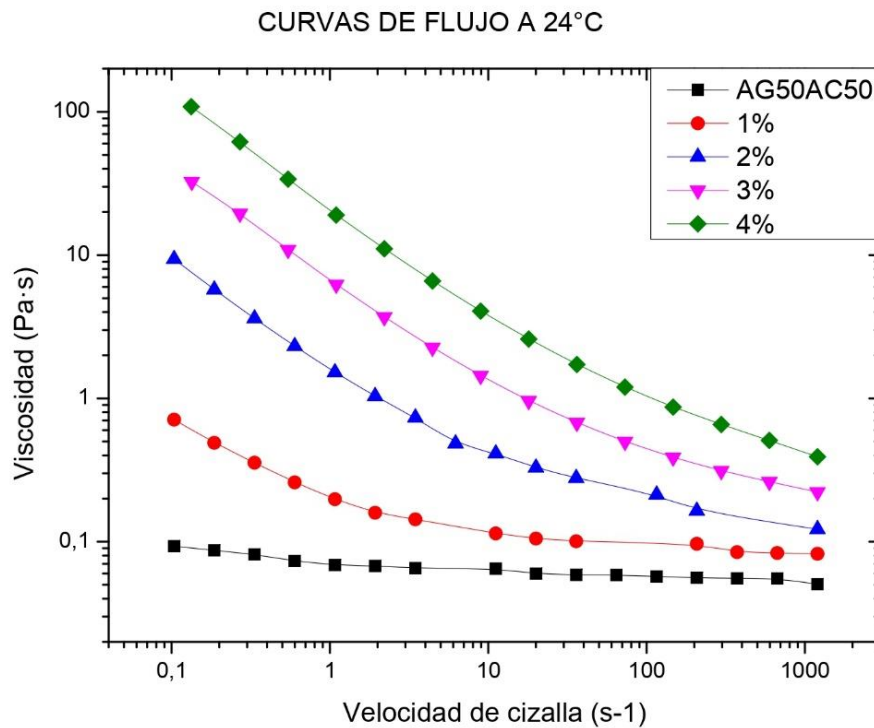


Figura 68. Curva de flujo en función de la concentración a 24°C. Fuente: Original.

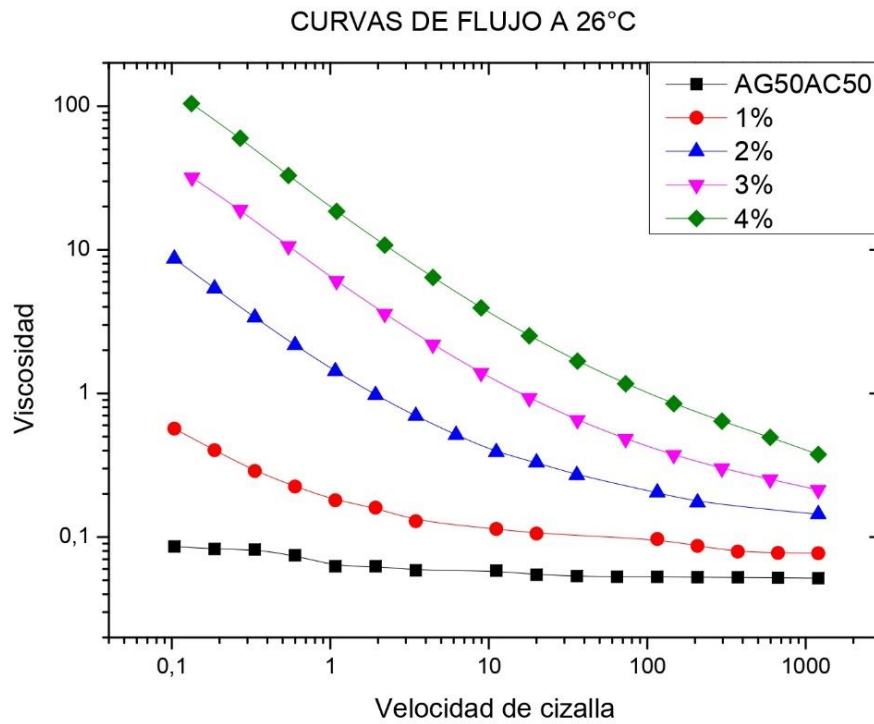


Figura 69. Curva de flujo en función de la concentración a 26°C. Fuente: Original.

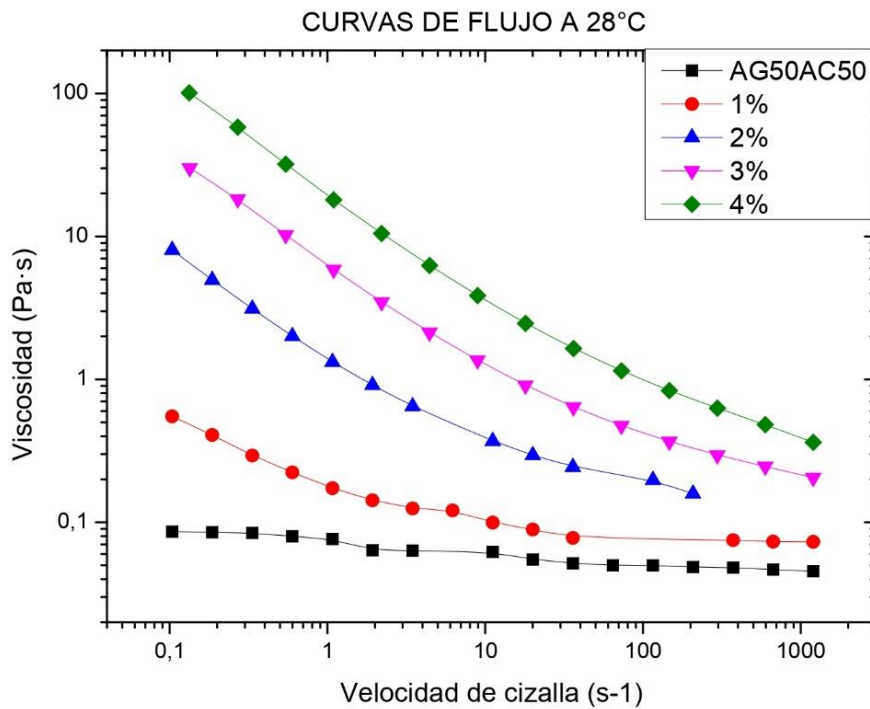


Figura 70. Curva de flujo en función de la concentración a 28°C. Fuente: Original.

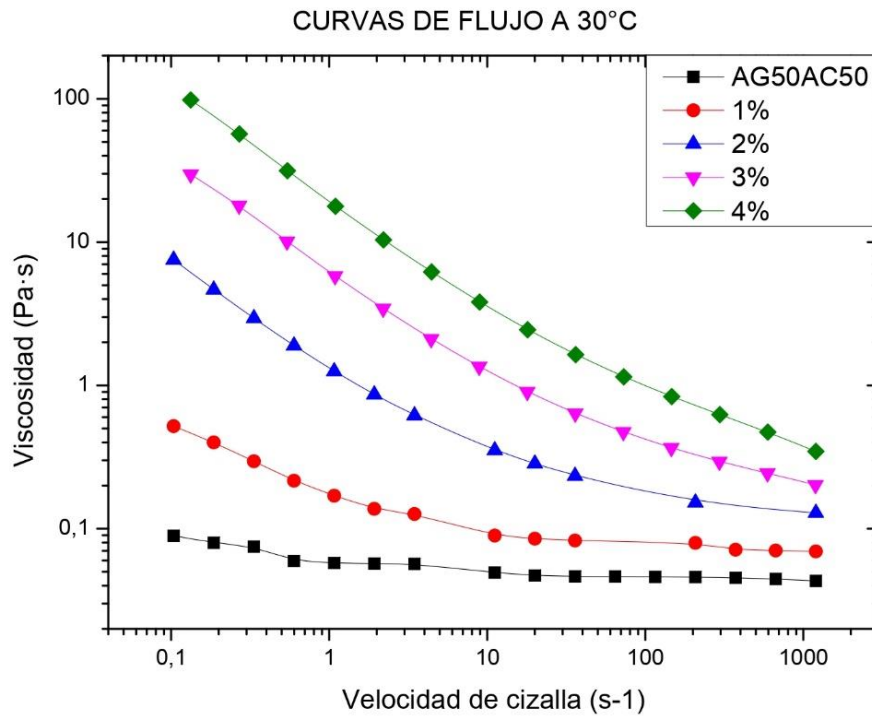


Figura 71. Curva de flujo en función de la concentración a 30°C. Fuente: Original.

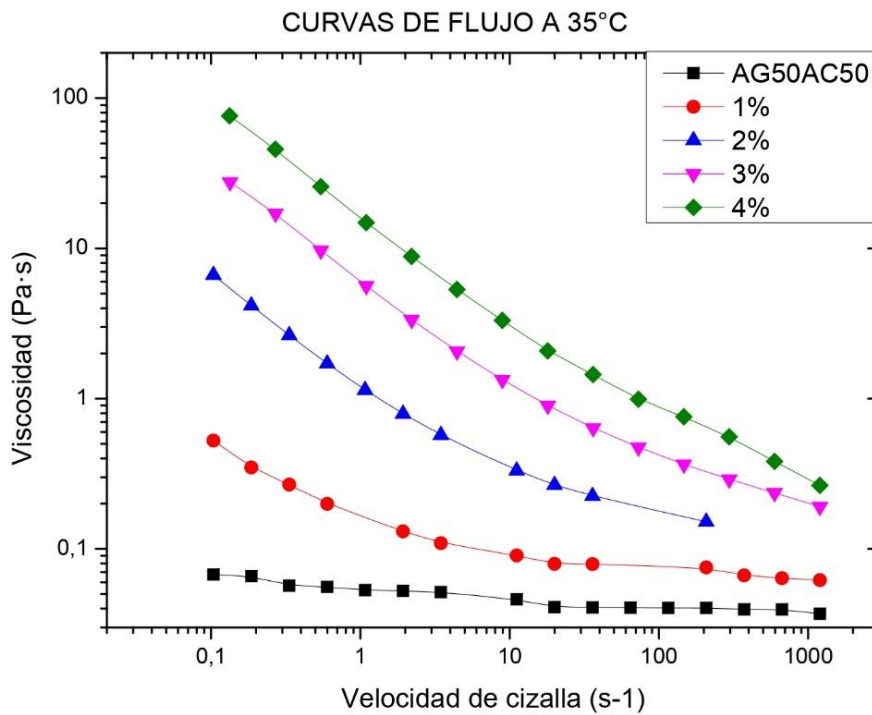


Figura 72. Curva de flujo en función de la concentración a 35°C. Fuente: Original.

En estas figuras se observa claramente lo que se afirmó en el apartado de viscosidad en función de la temperatura. En general, la viscosidad aumenta con la concentración. Sin embargo, en la *Figura 63 y 64* esto no es tan evidente, ya que el 4 y el 3% presentan unas viscosidades menores en algunos puntos, que en las otras muestras. Esto se debe a que a los 16°C la suspensión con un 4% de óxido de silicio aún no ha iniciado su cambio de fase y la suspensión del 3% está en proceso de acabar su cristalización. Asimismo, a los 14°C la muestra del 3% de A200 ya ha cambiado de fase, mientras que el 4% permanece a viscosidades más bajas porque este no ha llegado a cristalizar aún.

También se puede observar la tendencia del fluido base AC50AG50 de comportarse como un fluido Newtoniano a temperaturas altas. Sin embargo, al añadirle cualquier porcentaje de óxido de silicio esto deja de ocurrir.

En la *Figura 73* se representa una comparación entre el comportamiento de cada una de las muestras a diferentes temperaturas, manteniendo la velocidad de cizalla a 1200s⁻¹.

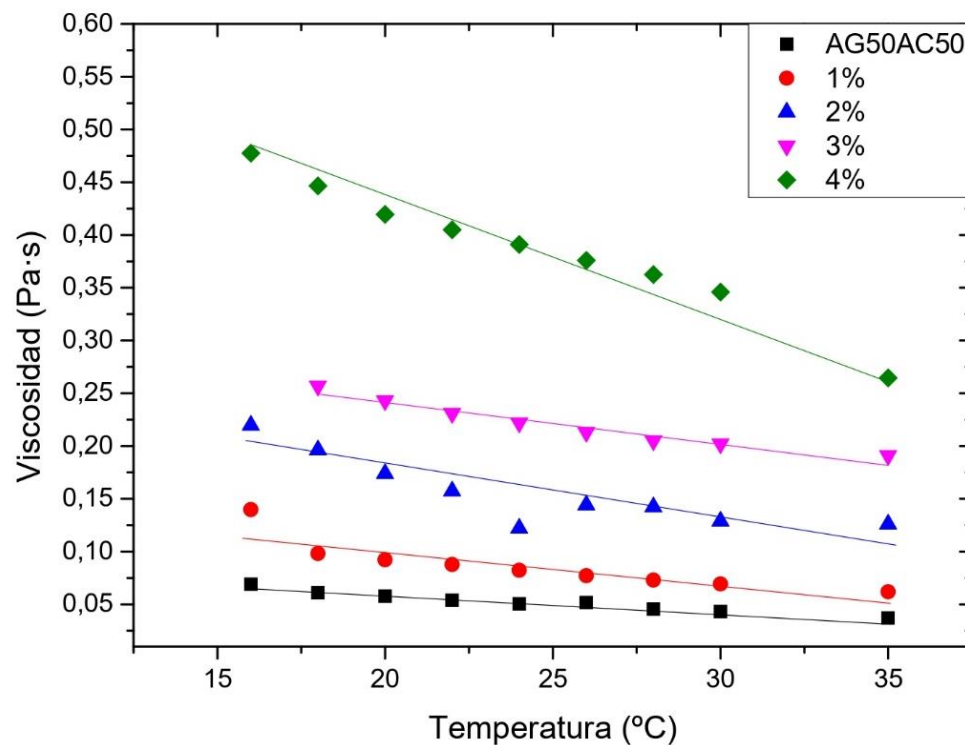


Figura 73. Representación lineal de todas las muestras a diferentes temperaturas con una velocidad de cizalla de 1200s⁻¹. Fuente: Original.

Se ha llevado a utilizado un modelo matemático lineal, *Ecuación 10*, análogo al de la *Ecuación 8*:

$$\eta_r = \frac{\eta_{NF}}{\eta_{FB}} = 1 + C_{\eta, \Phi} \cdot \Phi \quad (10)$$

η_r = Viscosidad relativa

η_{NF} = Viscosidad del nanofluido

η_{FB} = Viscosidad del fluido base

$C_{\eta, T}$ = Constante de proporcionalidad

T = Temperatura termodinámica (Kelvin)

En la *Figura 74* se representa el efecto de la fracción en volumen en la viscosidad de las suspensiones. Los puntos correspondientes a la concentración del 3% y el 4% no se incluyen en el ajuste, ya que se alejan del modelo lineal. Es decir, la linealidad de la viscosidad con la fracción en volumen se puede considerar válida hasta la fracción 0,02 v/v.

Los puntos experimentales corresponden a las viscosidades medidas a la velocidad de cizalla de 1200s^{-1} . Se ha tomado esta velocidad de deformación por dos razones fundamentales: A esa velocidad el fluido tiene un comportamiento newtoniano y coincide con la velocidad de giro del taladro.

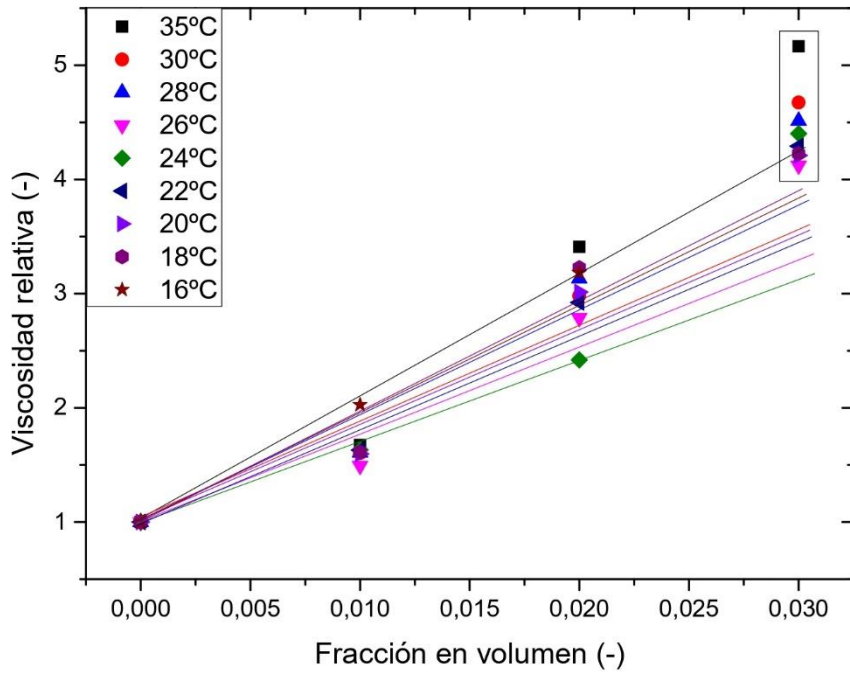


Figura 74. Representación gráfica del ajuste lineal de la viscosidad frente a la fracción en volumen. Fuente: Original.

En la **Tabla 16** se encuentran las expresiones que se han conseguido en este ajuste lineal:

TEMPERATURA	EXPRESIÓN
35°C	$\eta_r = 1 + 142 \Phi$
30°C	$\eta_r = 1 + 124 \Phi$
28°C	$\eta_r = 1 + 121 \Phi$
26°C	$\eta_r = 1 + 107 \Phi$
24°C	$\eta_r = 1 + 110 \Phi$
22°C	$\eta_r = 1 + 112 \Phi$
20°C	$\eta_r = 1 + 110 \Phi$
18°C	$\eta_r = 1 + 113 \Phi$
16°C	$\eta_r = 1 + 109 \Phi$

Tabla 16. Expresiones obtenidas por el ajuste lineal de la viscosidad frente a la fracción en volumen. Fuente: Original.

5.3. PRUEBAS DE TALADRO

5.3.1. Prueba de taladro en seco

En las *Figuras 75-78* están las imágenes térmicas tomadas a los 15, 30, 45 y 60 segundos durante la prueba de taladro en seco.

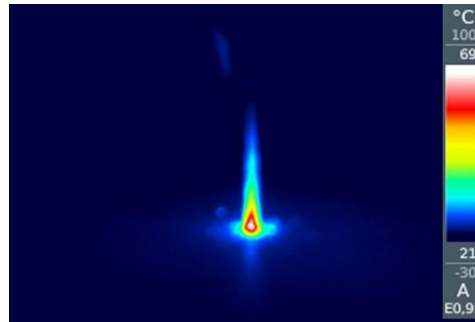


Figura 75. Imagen térmica a los 15 segundos durante la prueba en seco. Temperatura máxima de 69°C. Fuente: Original.

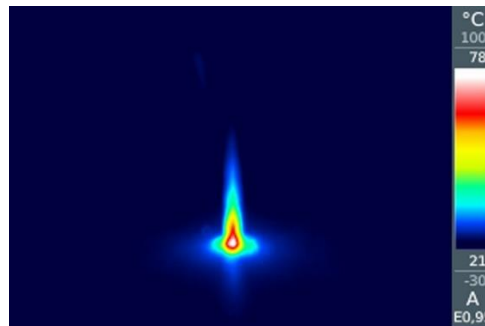


Figura 76. Imagen térmica a los 30 segundos durante la prueba en seco. Temperatura máxima de 78°C. Fuente: Original.

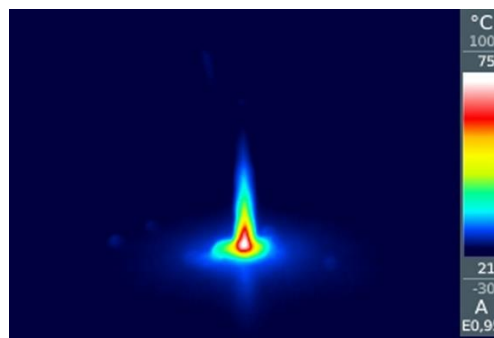


Figura 77. Imagen térmica a los 45 segundos durante la prueba en seco. Temperatura máxima de 75°C. Fuente: Original.

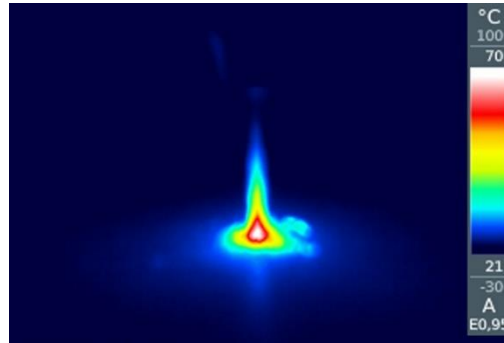


Figura 78. Imagen térmica a los 60 segundos durante la prueba en seco. Temperatura máxima de 70°C. Fuente: Original.

En la **Figura 79** aparece el perfil de evolución de la temperatura a los 60 segundos durante la prueba de taladro en seco.

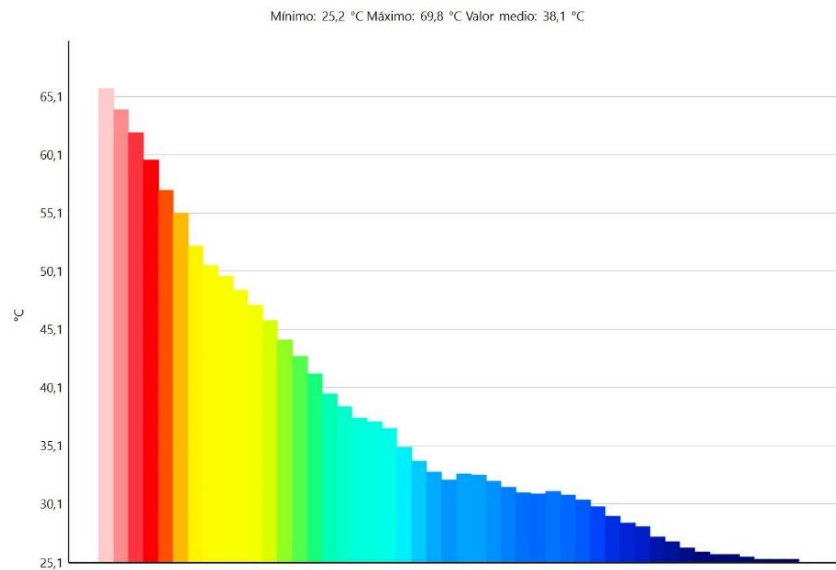


Figura 79. Representación gráfica del perfil de temperaturas durante la prueba de taladro en seco. Fuente: Original.

A continuación, en la **Figura 80** están representados los valores obtenidos en cada franja de tiempo (0, 15, 30, 45 y 60 segundos).

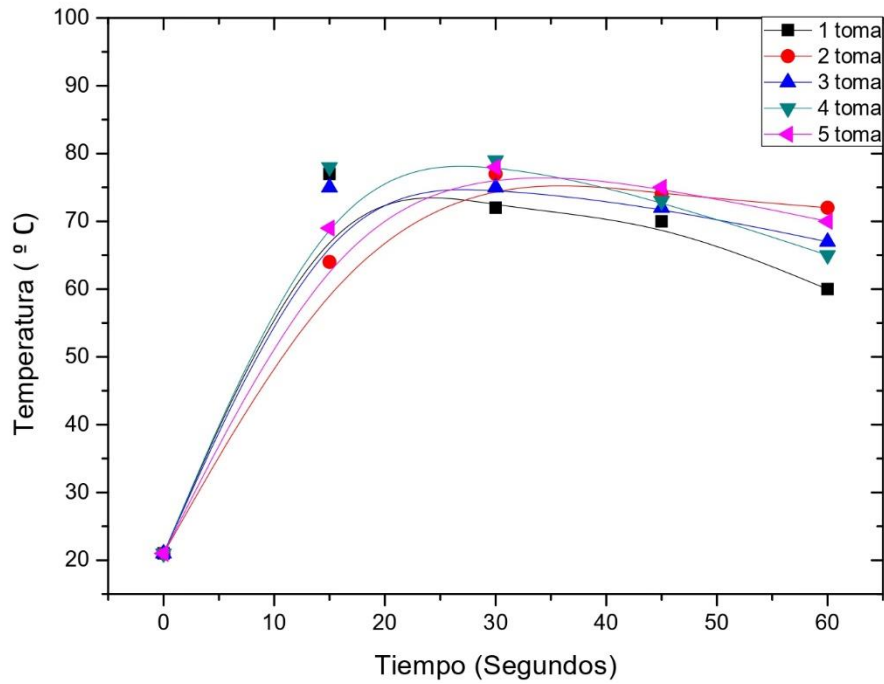


Figura 80. Evolución de las temperaturas durante la prueba de taladro en seco. Fuente: Original.

5.2.2. Pruebas de taladro con el fluido base (AC50AG50)

En las *Figuras 81-84* están las imágenes térmicas tomadas a los 15, 30, 45 y 60 segundos durante la prueba de taladro con el fluido base.

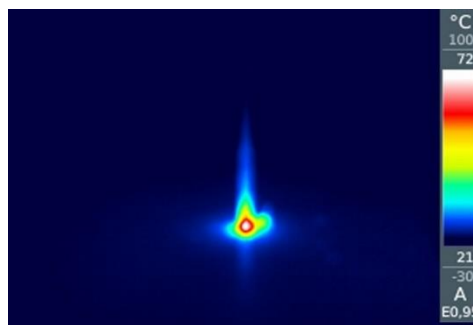


Figura 81. Imagen térmica a los 15 segundos durante la prueba con el fluido base. Temperatura máxima 72°C. Fuente: Original.

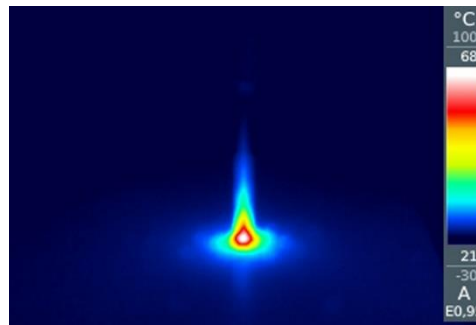


Figura 82. Imagen térmica a los 30 segundos durante la prueba con el fluido base. Temperatura máxima 68°C.

Fuente: Original.

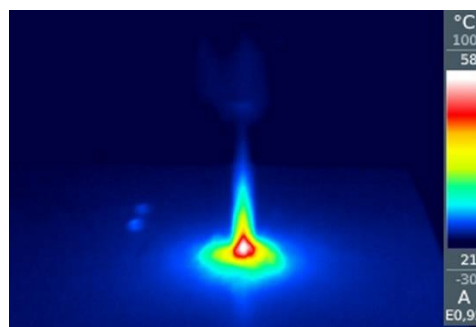


Figura 83. Imagen térmica a los 45 segundos durante la prueba con el fluido base. Temperatura máxima 58°C.

Fuente: Original.

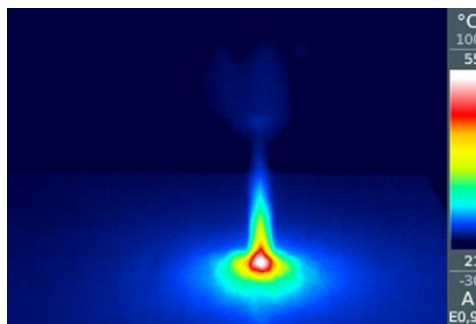


Figura 84. Imagen térmica a los 60 segundos durante la prueba con el fluido base. Temperatura máxima 55°C.

Fuente: Original.

En la [Figura 85](#) aparece el perfil de evolución de la temperatura a los 60 segundos durante la prueba de taladro con el fluido base.

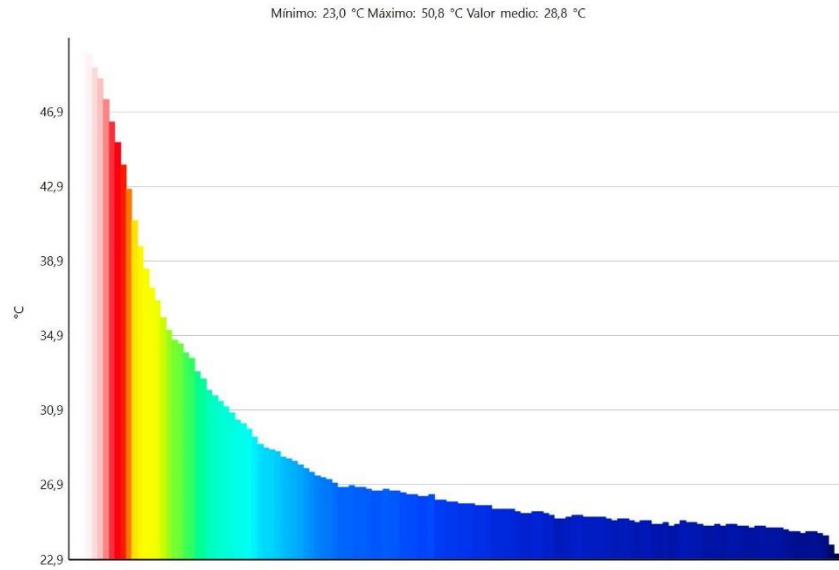


Figura 85. Representación gráfica del perfil de temperaturas durante la prueba de taladro con el fluido base.

Fuente: Original.

A continuación, en la [Figura 86](#) están representados los valores obtenidos en cada franja de tiempo (0, 15, 30, 45 y 60 segundos).

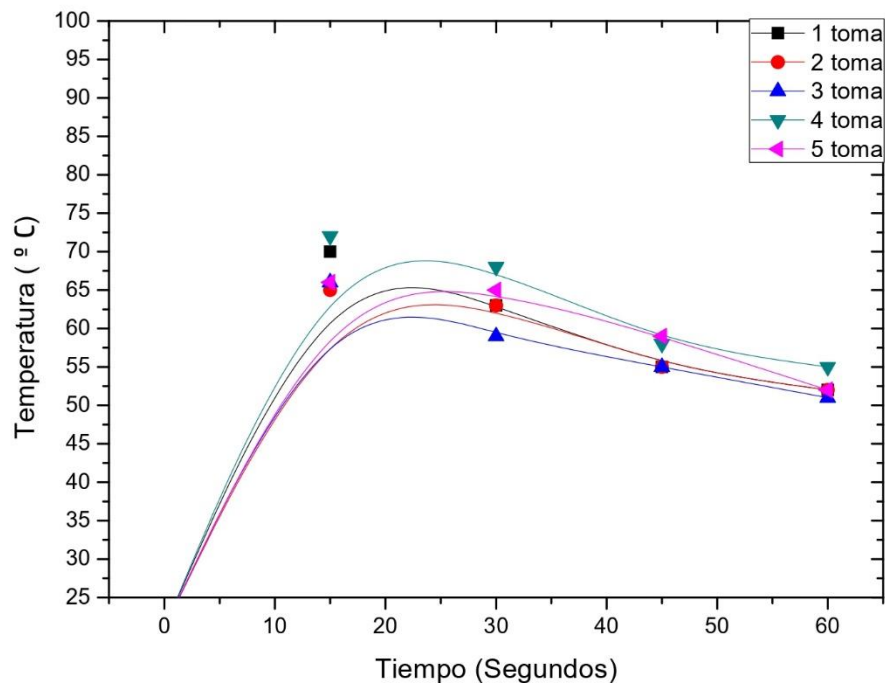


Figura 86. Evolución de las temperaturas durante la prueba de taladro con el fluido base. Fuente: Original.

5.2.3. Pruebas de taladro con AC50AG50 +1% A200

En las *Figuras 87-90* están las imágenes térmicas tomadas a los 15, 30, 45 y 60 segundos durante la prueba de taladro con la suspensión al 1% de óxido de silicio.

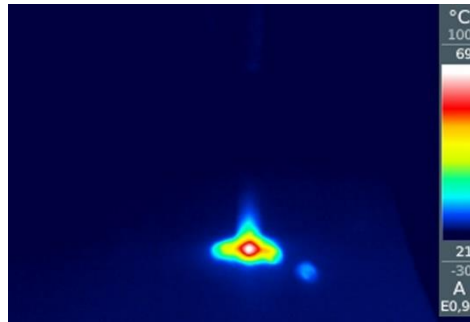


Figura 87. Imagen térmica a los 15 segundos durante la prueba con AC50AG50 + 1% A200. Temperatura máxima 69°C. Fuente: Original.

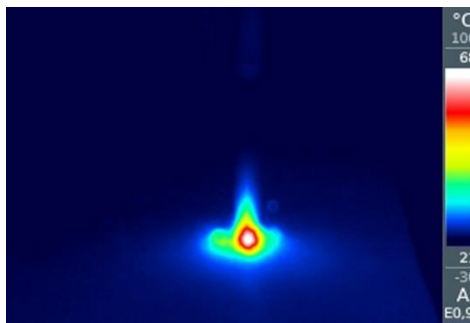


Figura 88. Imagen térmica a los 30 segundos durante la prueba con AC50AG50 + 1% A200. Temperatura máxima 68°C. Fuente: Original.

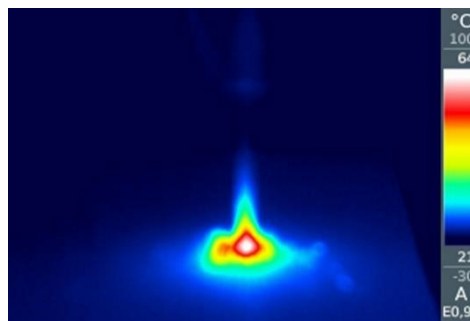


Figura 89. Imagen térmica a los 45 segundos durante la prueba con AC50AG50 + 1% A200. Temperatura máxima 64°C. Fuente: Original.

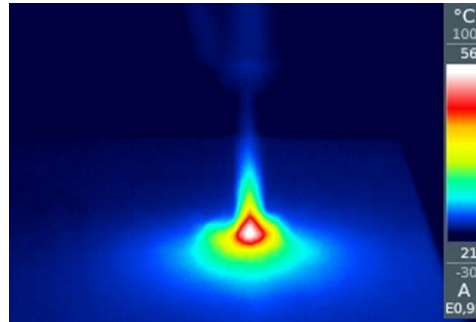


Figura 90. Imagen térmica a los 60 segundos durante la prueba con AC50AG50 + 1% A200. Temperatura máxima 56°C. Fuente: Original.

En la **Figura 91** aparece el perfil de evolución de la temperatura a los 60 segundos durante la prueba de taladro con la suspensión al 1% de óxido de silicio.

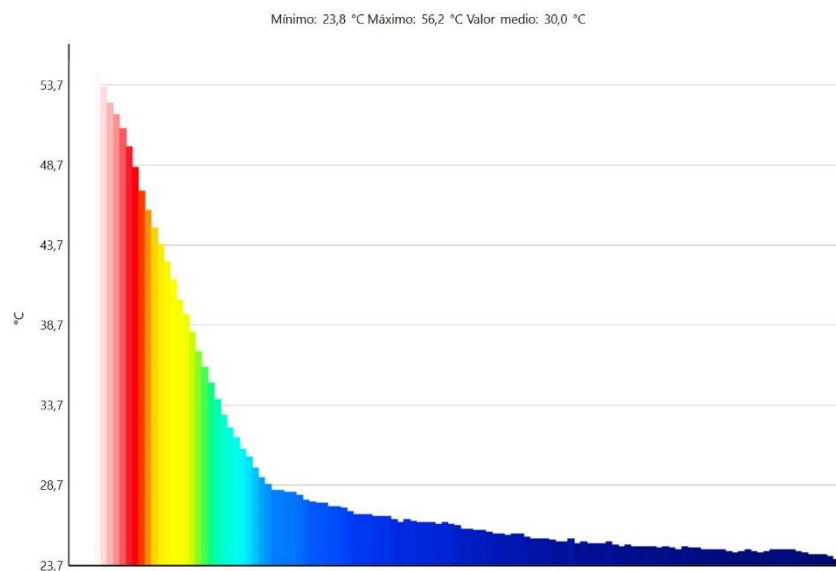


Figura 91. Representación gráfica del perfil de temperaturas durante la prueba de taladro con AC50AG50 + 1% A200. Fuente: Original.

A continuación, en la **Figura 92** están representados los valores obtenidos en cada franja de tiempo (0, 15, 30, 45 y 60 segundos).

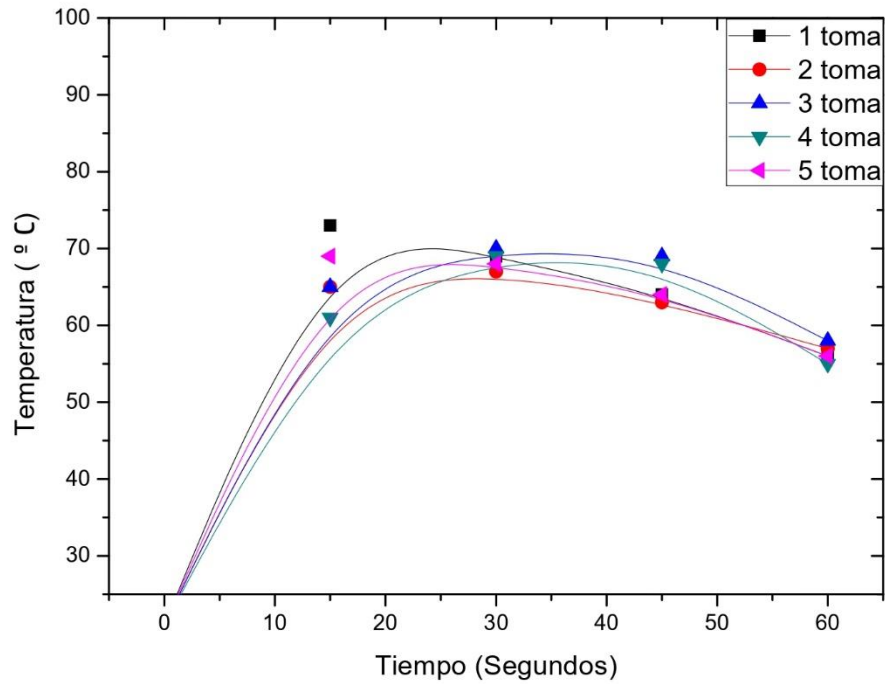


Figura 92. Evolución de las temperaturas durante la prueba de taladro con AC50AG50 + 1% A200. Fuente: Original.

5.3.4. Pruebas de taladro con AC50AG50 + 2% A200

En las [Figuras 93-96](#) están las imágenes térmicas tomadas a los 15, 30, 45 y 60 segundos durante la prueba de taladro con la suspensión al 2% de óxido de silicio

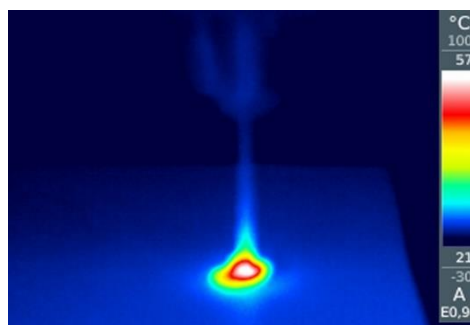


Figura 93. Imagen térmica a los 15 segundos durante la prueba con AC50AG50 + 2% A200. Temperatura máxima 57°C. Fuente: Original.

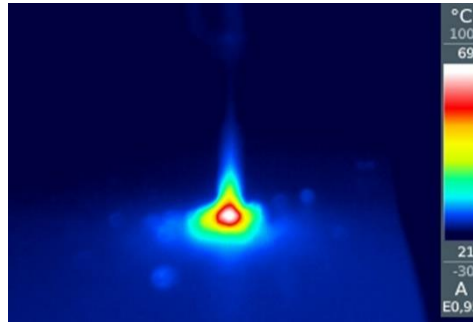


Figura 94. Imagen térmica a los 30 segundos durante la prueba con AC50AG50 + 2% A200. Temperatura máxima 69°C. Fuente: Original.

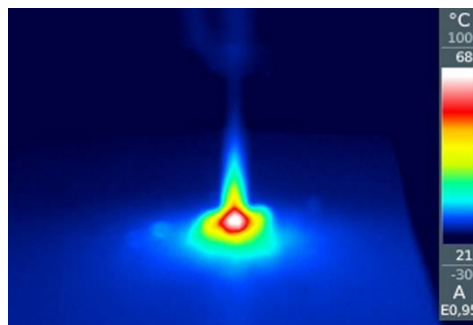


Figura 95. Imagen térmica a los 45 segundos durante la prueba con AC50AG50 + 2% A200. Temperatura máxima 68°C. Fuente: Original.

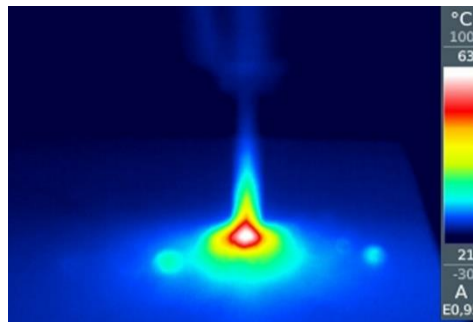


Figura 96. Imagen térmica a los 60 segundos durante la prueba con AC50AG50 + 2% A200. Temperatura máxima 63°C. Fuente: Original.

En la [Figura 97](#) aparece el perfil de evolución de la temperatura a los 60 segundos durante la prueba de taladro con la suspensión al 2% de óxido de silicio.

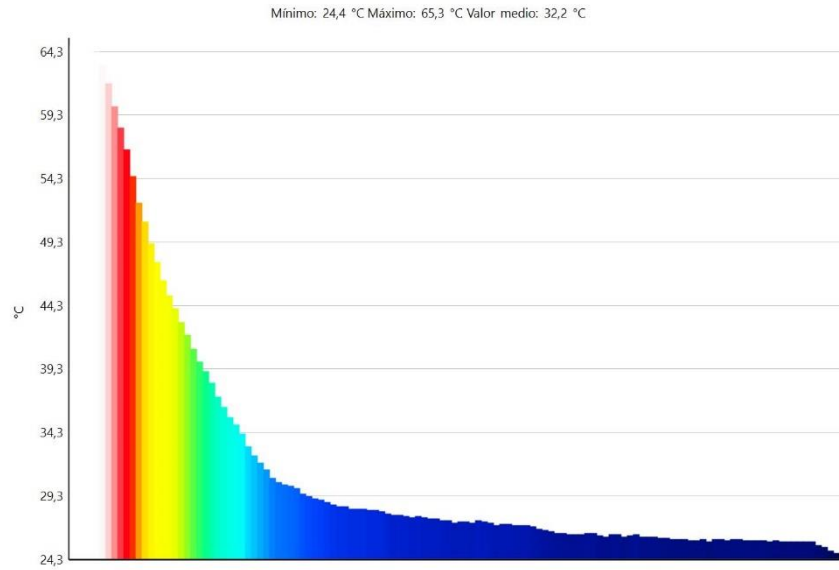


Figura 97. Representación gráfica del perfil de temperaturas durante la prueba de taladro con AC50AG50 + 2% A200. Fuente: Original.

A continuación, en la [Figura 98](#) están representados los valores obtenidos en cada franja de tiempo (0, 15, 30, 45 y 60 segundos).

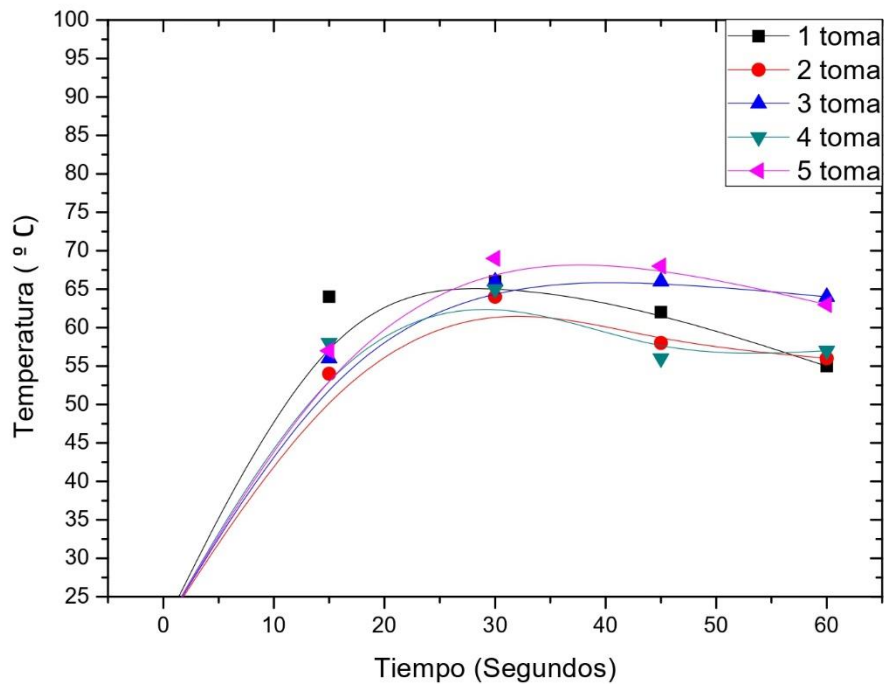


Figura 98. Evolución de las temperaturas durante la prueba de taladro con AC50AG50 + 2% A200. Fuente: Original.

5.3.5. Pruebas de taladro con AC50AG50 + 3% A200

En las *Figuras 99-102* están las imágenes térmicas tomadas a los 15, 30, 45 y 60 segundos durante la prueba de taladro con la suspensión al 3% de óxido de silicio.

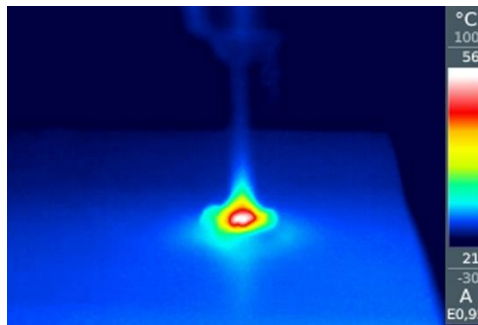


Figura 99. Imagen térmica a los 15 segundos durante la prueba con AC50AG50 + 3% A200. Temperatura máxima 56°C. Fuente: Original.

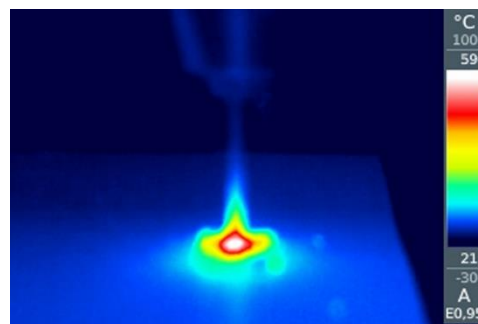


Figura 100. Imagen térmica a los 30 segundos durante la prueba con AC50AG50 + 3% A200. Temperatura máxima 59°C. Fuente: Original.

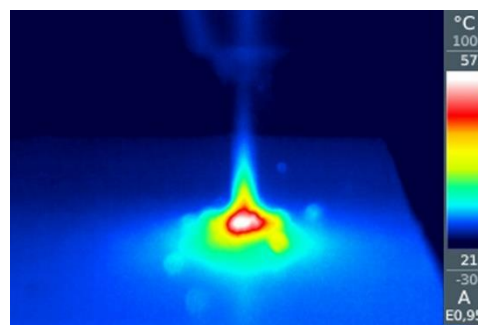


Figura 101. Imagen térmica a los 45 segundos durante la prueba con AC50AG50 + 3% A200. Temperatura máxima 57°C. Fuente: Original.

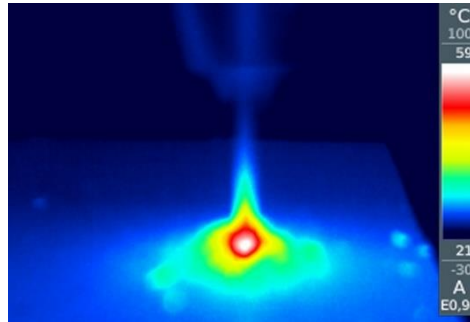


Figura 102. Imagen térmica a los 60 segundos durante la prueba con AC50AG50 + 3% A200. Temperatura máxima 59°C. Fuente: Original.

En la **Figura 103** aparece el perfil de evolución de la temperatura a los 60 segundos durante la prueba de taladro con la suspensión al 3% de óxido de silicio.

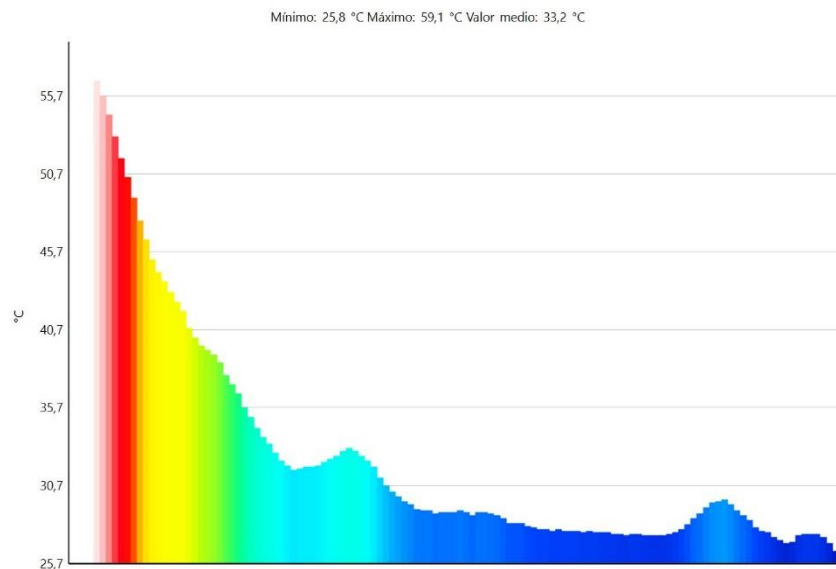


Figura 103. Representación gráfica del perfil de temperaturas durante la prueba de taladro con AC50AG50 + 3% A200. Fuente: Original.

A continuación, en la **Figura 104** están representados los valores obtenidos en cada franja de tiempo (0, 15, 30, 45 y 60 segundos).

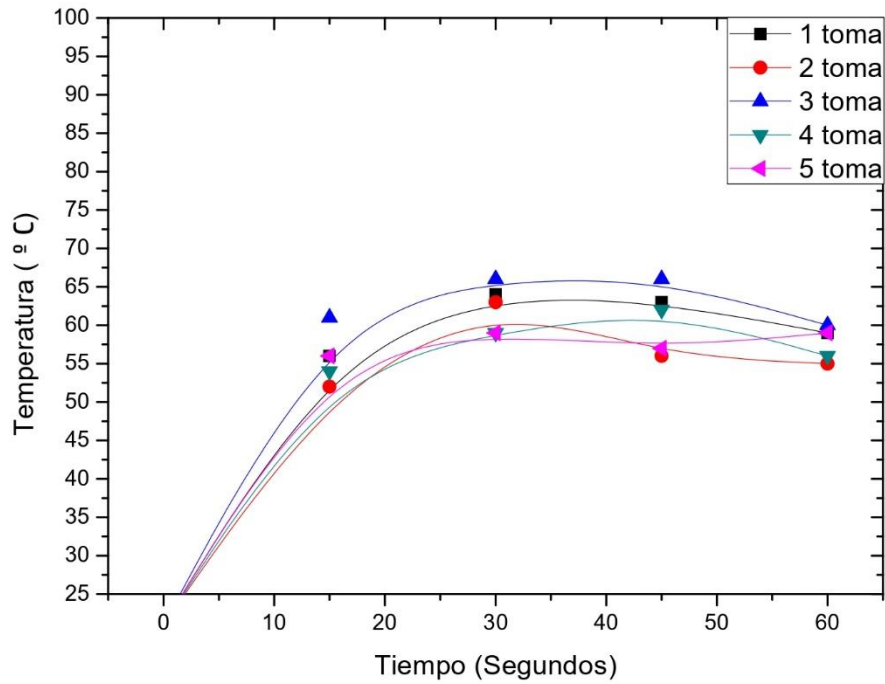


Figura 104. Evolución de las temperaturas durante la prueba de taladro con AC50AG50 + 3% A200. Fuente: Original.

5.3.6. Pruebas de taladro con AC50AG50 + 4% A200

En las [Figuras 105-108](#) están las imágenes térmicas tomadas a los 15, 30, 45 y 60 segundos durante la prueba de taladro con la suspensión al 3% de óxido de silicio.

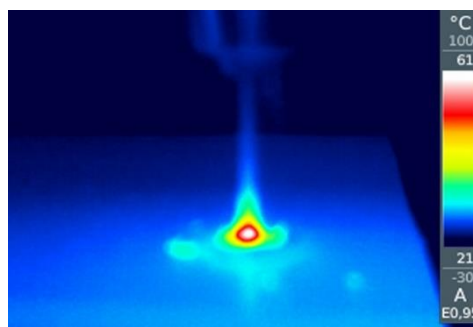


Figura 105. Imagen térmica a los 15 segundos durante la prueba con AC50AG50 + 4% A200. Temperatura máxima 61°C. Fuente: Original.

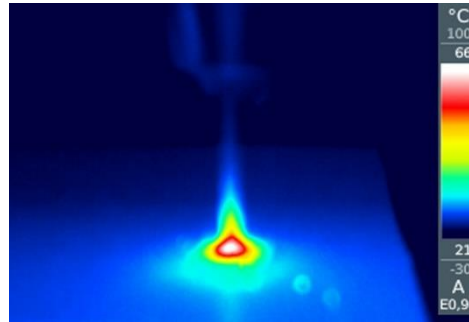


Figura 106. Imagen térmica a los 30 segundos durante la prueba con AC50AG50 + 4% A200. Temperatura máxima 66°C. Fuente: Original.

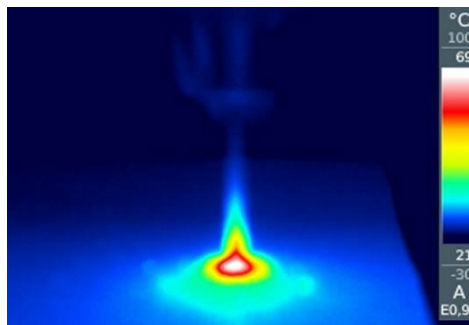


Figura 107. Imagen térmica a los 45 segundos durante la prueba con AC50AG50 + 4% A200. Temperatura máxima 69°C. Fuente: Original.

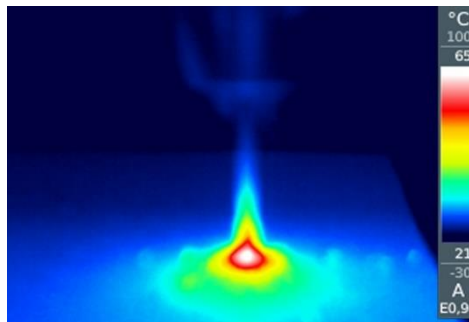


Figura 108. Imagen térmica a los 60 segundos durante la prueba con AC50AG50 + 4% A200. Temperatura máxima 65°C. Fuente: Original.

En la *Figura 109* aparece el perfil de evolución de la temperatura a los 60 segundos durante la prueba de taladro con la suspensión al 4% de óxido de silicio.

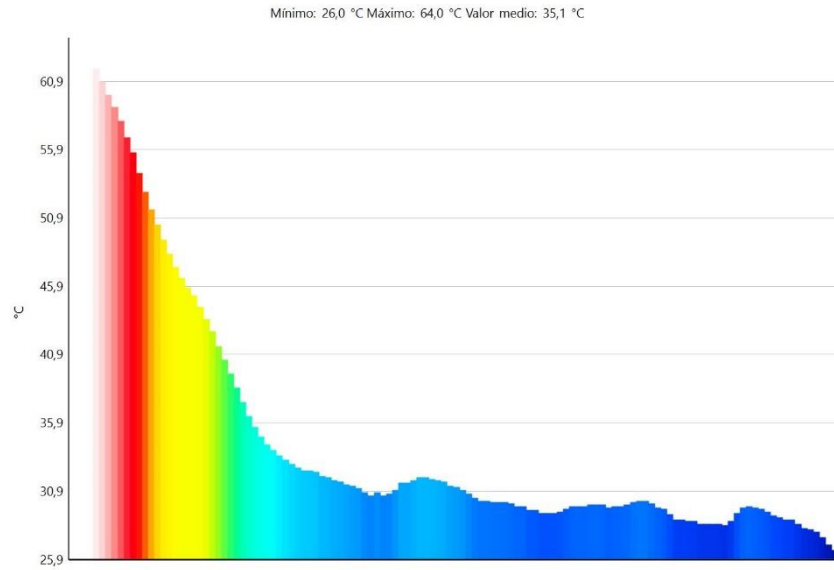


Figura 109. Representación gráfica del perfil de temperaturas durante la prueba de taladro con AC50AG50 + 4% A200. Fuente: Original.

A continuación, en la [Figura 110](#) están representados los valores obtenidos en cada franja de tiempo (0, 15, 30, 45 y 60 segundos).

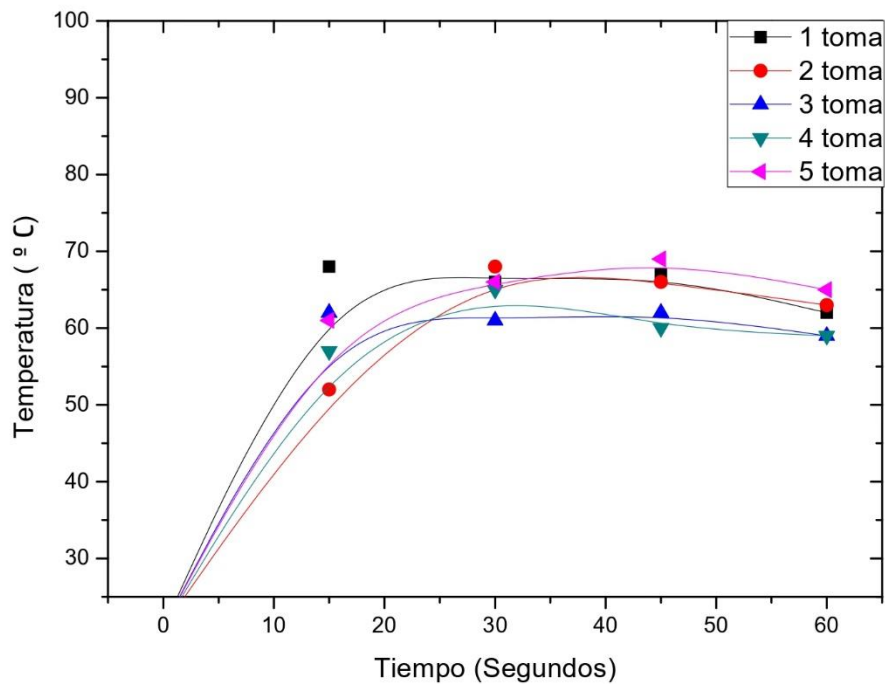


Figura 110. Evolución de las temperaturas durante la prueba de taladro con AC50AG50 + 4% A200. Fuente: Original.

5.3.7. Comparación entre todas las pruebas de taladro

En la *Figura 101* se han representado la media de las 5 medidas tomadas por sustancia utilizada en estas pruebas de taladro, es decir, la media de cada una de las gráficas representadas en las *Figuras 80, 86, 92, 98, 104 y 110*.

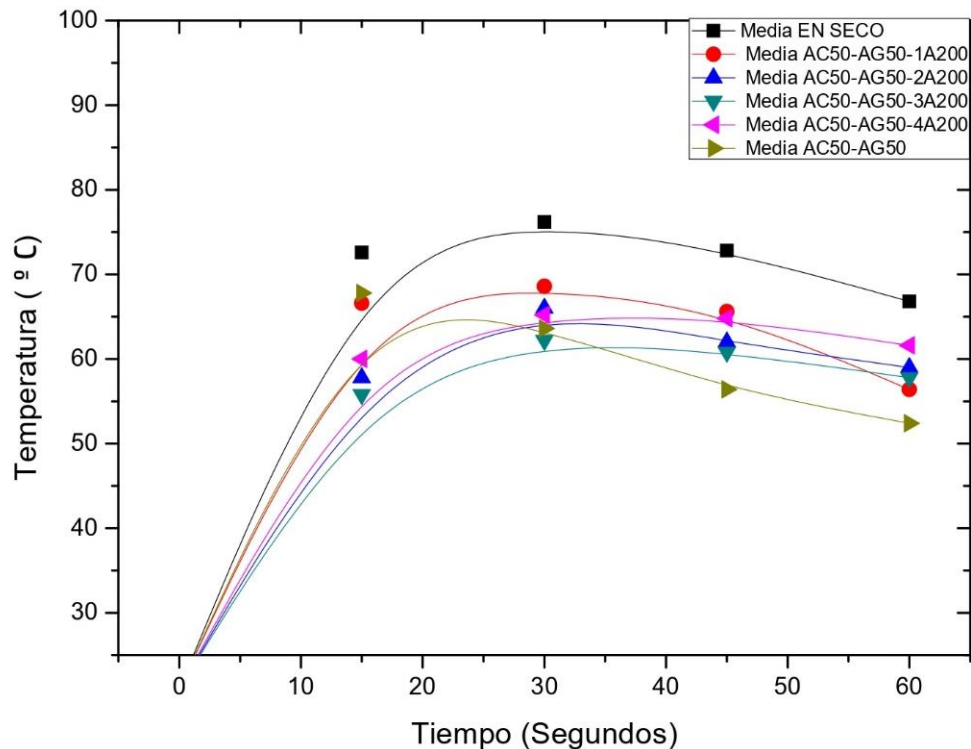


Figura 111. Media de la evolución de las temperaturas durante las pruebas de taladro. Fuente: Original.

En la *Tabla 17* están recogidos los datos representados en la gráfica anterior. Estas medias se han calculado con el fin de hacer una comparación entre todos los fluidos estudiados, pudiendo así analizar la capacidad de cada uno. Se ha elegido principal comparador el taladro en seco para comprobar si estos materiales sirven finalmente como amortiguadores térmicos en los procesos industriales.

DATOS DE LA PRUEBA DE TALADRO						
Tiempo (segundos)	Temperaturas (°C)					
	En seco	AC50 AG50	AC50AG50 + 1% A200	AC50AG50 + 2% A200	AC50AG50 + 3% A200	AC50AG50 + 4% A200
0	21	21	21	21	21	21
15	72,6	66,6	57,8	55,8	60	67,8
30	76,2	68,6	66	62,2	65,2	63,6
45	72,8	65,6	62	60,8	64,8	56,4
60	66,8	56,4	59	57,8	61,6	52,4

Tabla 17. Valores de las medias de la evolución de temperaturas durante las pruebas de taladro. Fuente: Original.

Los valores recogidos indican que el fluido de corte más adecuado para este trabajo es el ACAG + 4% A200, ya que como se ha estudiado en las pruebas de laboratorio, cuanto mayor es la concentración, mejores propiedades térmicas tiene. También se puede considerar que el fluido de corte ACAG + 3% A200 tiene unas propiedades muy aptas para su utilización en el taladro. En la práctica, el fluido compuesto por un 4% de óxido de silicio se ha mostrado muy sólido, y la utilización de este resultaba tediosa, por esta razón se puede concluir en que el fluido más adecuado para el uso en el taladro es el ACAG + 3% A200.

6. CONCLUSIONES

1. Se ha llevado a cabo un estudio de la conductividad térmica y de la viscosidad en cizalla continua en suspensiones de sílice hidrófila A200: 0,01, 0,02 0,03 y 0,04 v/v en el fluido base formado por la mezcla aceite de coco-aceite de girasol en la proporción 1:1. En todas las suspensiones y en el fluido base se ha evaluado la influencia de la temperatura y de la concentración de partícula en la conductividad térmica y en la viscosidad. En este parámetro, también se ha analizado la influencia de la velocidad de deformación por cizalla. El análisis de estos parámetros termofísicos van encaminados hacia un posible uso de dichas suspensiones como fluidos de corte en procesos de taladrado.
2. Las medidas de conductividad térmica de las muestras han permitido concluir que el aumento de la concentración de partícula ha producido un incremento de la conductividad térmica. En el efecto que ha ejercido la temperatura en la conductividad térmica de las sustancias estudiadas cabe distinguir dos zonas. Entre 5°C y 20°C, antes del cambio de fase, se ha producido un notable incremento de la conductividad térmica. Sin embargo, en la región entre 25°C y 90°C, tras el cambio de fase, se ha producido un descenso de la conductividad térmica con la temperatura, para el fluido base y las correspondientes suspensiones.
3. La viscosidad de las suspensiones ha aumentado con la concentración de partícula, y ha disminuido con la temperatura y con la velocidad de deformación en cizalla continua. A velocidades de deformación superiores a 1000 s⁻¹ se ha encontrado un comportamiento Newtoniano en todas las muestras, y una notable disminución de la viscosidad de todas las suspensiones (fluido refluidizante), lo cual ha facilitado la capacidad como lubricante-refrigerante de estas sustancias en su utilización como fluidos de corte en procesos de taladrado.
4. Las pruebas de taladrado han confirmado la eficacia de las suspensiones como fluidos de corte. La energía absorbida durante el cambio de fase junto con la mejora en las conductividades térmicas de las suspensiones ha permitido comprobar su utilidad como fluidos de corte. Parte del calor generado por la



acción mecánica del taladro ha sido absorbido por las suspensiones produciendo un descenso de la temperatura de entre 10°C y 14 °C respecto al taladro en seco.

5. Del análisis de las propiedades térmicas y de flujo anteriormente expuestas se ha concluido que el mejor refrigerante-lubricante para su uso en los procesos de taladro es el compuesto formado por 50% Aceite de coco, 50% Aceite de girasol y 3% de óxido de silicio.

7. BIBLIOGRAFÍA

Lista de referencias

- Adil, A., Baig, T., Jamil, F., Farhan, M., Shehryar, M., Ali, H. M., & Khushnood, S. (2023). Nanoparticle-based cutting fluids in drilling: a recent review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1-18.
- Afonso, I. S., Nobrega, G., Lima, R., Gomes, J., & Ribeiro, J. C. R. (2023). Conventional and Recent advances of vegetable oils as Metalworking Fluids (MWFs): a review. *Lubricants*, 11(4), 160.
- Armando García Reyes (1999). Síntesis de un soporte de catalizador macro y meso poroso a partir de montmorillonitas deslaminadas intercaladas. [Título profesional, Universidad de México].
- Attanasio, A., Gelfi, M., Giardini, C., & Remino, C. (2006). Minimal quantity lubrication in turning: Effect on tool wear. *Wear*, 260(3), 333-338.
- Barnes, H. A., Hutton, J. F., & Walters, K. (1989). *An introduction to rheology* (Vol. 3). Elsevier.
- Boemeke, L., Marcadenti, A., Busnello, F. M., & Gottschall, C. S. (2015). Effects of coconut oil on human health. *Open Journal of Endocrine and Metabolic Diseases*, 05(07), 84-87.
- Cortés, V., Sánchez, K., Gonzalez, R., Alcoutlabi, M., & Ortega, J. A. (2020). The performance of SiO₂ and TiO₂ nanoparticles as lubricant additives in sunflower oil. *Lubricants*, 8(1), 10.

- De Lacalle, L. N. L., Angulo, C., Lamíkiz, A., & Sánchez, J. (2006). Experimental and numerical investigation of the effect of spray cutting fluids in high speed milling. *Journal of Materials Processing Technology*, 172(1), 11-15.
- Deen, A., Visvanathan, R., Wickramarachchi, D., Marikkar, N., Nammi, S., Jayawardana, B. C., & Liyanage, R. (2021). Chemical composition and health benefits of coconut oil: an overview. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(6), 2182-2193.
- Fornés, A., Arévalo, F., & Castiglione, B. (2000). Efecto de la temperatura en el fingering viscoso. In *Actas del Congreso*.
- Ganvir, R. B., Walke, P. V., & Kriplani, V. M. (2017). Heat transfer characteristics in nanofluid—a review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 75, 451-460.
- González Romero, J. A., & Sarmiento González, L. C. (2019). Predicción matemática de la conductividad térmica y la capacidad calorífica en aceites vegetales.
- Huaman, M. A. L. (2021). Proceso Sol-Gel en la síntesis de dióxido de silicio (SiO₂). *Revista Bases de la Ciencia*, 6(2), 1.
- Jayadas, N. H., & Nair, K. P. (2006). Coconut oil as base oil for industrial lubricants—Evaluation and modification of thermal, oxidative and low temperature properties. *Tribology International*, 39(9), 873-878.
- Jiménez-Galea, J. J., Gómez-Merino, A. I., Rubio-Hernández, F. J., & Santos-Ráez, I. M. (2023). Corrigendum to “Experimental assessment of thermal and rheological properties of coconut oil-silica as green additives in drilling performance based on minimum quantity of cutting fluids” [*J. Clean. Prod.* 368 (2022) 133104]. *Journal of Cleaner Production*, 403, 136870.

- Marina, A. M., Man, Y. B. C., Nazimah, S., & Amin, I. (2009). Chemical properties of virgin coconut oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 86(4), 301-307.
- Narayanankutty, A., Illam, S. P., & Raghavamenon, A. C. (2018). Health Impacts of different edible oils prepared from coconut (*Cocos nucifera*): A comprehensive review. *Trends in Food Science and Technology*, 80, 1-7.
- Nieto de Castro, C. A., Lourenço, M. J. V., Ribeiro, A. P. C., Langa, E., Vieira, S. I. C., Goodrich, P., & Hardacre, C. (2010). Thermal properties of ionic liquids and ionic liquids of imidazolium and pyrrolidinium liquids. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 55(2), 653-661.
- Nin, G. V. (2000). *Introducción a la microscopía electrónica aplicada a las ciencias biológicas*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Paturi, U. M. R., Maddu, Y. R., Maruri, R. R., & Narala, S. K. R. (2016). Measurement and analysis of surface roughness in WS₂ Solid Lubricant Assisted Minimum Quantity Lubrication (MQL) turning of Inconel 718. *Procedia CIRP*, 40, 138-143.
- Ramírez-Navas, J. S. (2006). *Introducción a la reología de los alimentos*. Revista ReCiTeIA.
- Rubio-Hernández, F. J. R. (2022). *Flujos no-newtonianos y reología*. Universidad de Málaga.
- Shashidhara. YM y Jayaram. SR (2010), Los aceites vegetales como fluido de corte potencial: una evolución *Tribología internacional*, 43 (5-6), 1073-1081.
- Singh, T., Dureja, J., Dogra, M., & Bhatti, M. S. (2019). Multi-response optimization in environment friendly turning of AISI 304 austenitic stainless steel. *Multidiscipline Modeling in Materials and Structures*, 15(3), 538-558.



- Uysal, A., Demiren, F., & Altan, E. (2015). Applying Minimum Quantity Lubrication (MQL) Method on Milling of Martensitic Stainless Steel by Using Nano Mos2 Reinforced Vegetable Cutting Fluid. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 195, 2742-2747.
- Vieira, T. A., Vidal, G. A., Macedo, G. A., dos Santos, A. A., & Silva Junior, G. E. (2017). Investigation of thermophysical properties of nanofluids.
- Wang, X., Li, C., Zhang, Y., Ding, W., Yang, M., Gao, T., ... & Ali, H. M. (2020). Vegetable oil-based nanofluid minimum quantity lubrication turning: Academic review and perspectives. *Journal of Manufacturing Processes*, 59, 76-97.
- Zabala Toro, L. M., Guiot Morales, L., & Restrepo Fernández, M. C. (2020). Aceite de coco: características nutricionales y posibles aportes a la salud humana (Doctoral dissertation, Corporación Universitaria Lasallista).

Webgrafía

- High Tech Service S.A.C. (2024). Especificaciones técnicas del Decagon KD2 Pro ICT Internacional. Decagon KD2 Pro ICT International | High Tech Service ([htsperu.com.pe](https://peru.com.pe))
- Huber. (2024). Datos técnicas del baño termostático KISS 208B. Vista general de productos | Sistemas dinámicos de control de temperatura, Recirculadores de refrigeración, Baños y termostatos de circulación, Especiales y Accesorios by HUBER (huber-online.com)
- Malvern. (2009). Análisis reológico exhaustivo del reómetro Bohlin Gemini. Brochure: Bohlin Gemini - A4 Low Res (cas-instrumental.com.ar)



Mercadona. (2024). Aceite de coco [Etiquetas del producto]. Valencia, España.

Mercadona. (2024). Aceite refinado de girasol [Etiquetas del producto]. Valencia,
España.

Ramírez Vivoni, Roberto & Vivoni Alonso, Alberto. (2014). Conceptos cualitativos de
química orgánica e inorgánica [Diapositiva de PowerPoint]. Universidad
Interamericana de PR. PPT - Universidad Interamericana de PR Recinto de
Bayamón BIOQUIMICA, CHEM 4220 PowerPoint Presentation - ID:3170896
(slideserve.com)

Thermo Scientific. 1(2008). Especificaciones técnicas del reómetro Haake RheoStress
600. HAAKE Series 1 (ifi.es)

8. ANEXOS

ANEXO A. CÁLCULO Y PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

Este anexo contiene todos los cálculos requeridos para determinar las proporciones adecuadas para la preparación de las suspensiones.

En la *Tabla 18* se muestran los valores constantes para estos cálculos son:

VALORES CONSTANTES	
Densidad del óxido de silicio	$\rho_{A200} = 2,31875 \text{ g/ml}$
Volumen total de muestra	$V_{total} = 40 \text{ ml}$

Tabla 18. Valores constantes utilizados para el cálculo de las concentraciones de las muestras. Fuente: Original.

PRIMERA MUESTRA

A200 en AC50AG50 con $\Phi = 0,01$ (1%)

$$\Phi = \frac{V_{A200}}{V_{total}} = \frac{m_{A200}/\rho_{A200}}{V_{total}} = 0,01$$

$$m_{A200} = \Phi \cdot V_{total} \cdot \rho_{A200} = 0,01 \cdot 40 \text{ ml} \cdot 2,31875 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$$

$$m_{A200} = 0,9275 \text{ g}$$

$$V_{A200} = \frac{m_s}{\rho_{A200}} = \frac{0,9275 \text{ g}}{2,31875 \text{ g/ml}} = 0,4 \text{ ml}$$

$$V_{AC50AG50} = V_{total} - V_{A200} = 40 \text{ ml} - 0,4 \text{ ml} = 39,6 \text{ ml}$$

$$V_{AC} = 19,8 \text{ ml}$$

$$V_{AG} = 19,8 \text{ ml}$$

SEGUNDA MUESTRA

A200 en CO50CS50 con $\Phi = 0,02$ (2%)

$$\Phi = \frac{V_{A200}}{V_{total}} = \frac{m_{A200}/\rho_{A200}}{V_{total}} = 0,02$$

$$m_{A200} = \Phi \times V_{total} \times \rho_{A200} = 0,02 \times 40 \text{ ml} \times 2,31875 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$$

$$m_{A200} = 1,855 \text{ g}$$

$$V_{A200} = \frac{m_s}{\rho_{A200}} = \frac{1,855 \text{ g}}{2,31875 \text{ g/ml}} = 0,8 \text{ ml}$$

$$V_{CO50SFO50} = V_{total} - V_{A200} = 40 \text{ ml} - 0,8 \text{ ml} = 39,2 \text{ ml}$$

$$V_{CO} = 19,6 \text{ ml}$$

$$V_{SFO} = 19,6 \text{ ml}$$

TERCERA MUESTRA

A200 en CO50CS50 con $\Phi = 0,03$ (3%)

$$\Phi = \frac{V_{A200}}{V_{total}} = \frac{m_{A200}/\rho_{A200}}{V_{total}} = 0,03$$

$$m_{A200} = \Phi \times V_{total} \times \rho_{A200} = 0,03 \times 40 \text{ ml} \times 2,31875 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$$

$$m_{A200} = 2,783 \text{ g}$$

$$V_{A200} = \frac{m_s}{\rho_{A200}} = \frac{2,783 \text{ g}}{2,31875 \text{ g/ml}} = 1,2 \text{ ml}$$

$$V_{CO50SFO50} = V_{total} - V_{A200} = 40 \text{ ml} - 1,2 \text{ ml} = 38,8 \text{ ml}$$

$$V_{CO} = 19,4 \text{ ml}$$

$$V_{SFO} = 19,4 \text{ ml}$$

CUARTA MUESTRA

A200 en CO50CS50 con $\Phi = 0,04$ (4%)

$$\Phi = \frac{V_{A200}}{V_{total}} = \frac{m_{A200}/\rho_{A200}}{V_{total}} = 0,04$$

$$m_{A200} = \Phi \times V_{total} \times \rho_{A200} = 0,04 \times 40 \text{ ml} \times 2,31875 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$$

$$m_{A200} = 3,71 \text{ g}$$

$$V_{A200} = \frac{m_s}{\rho_{A200}} = \frac{3,71 \text{ g}}{2,31875 \text{ g/ml}} = 1,6 \text{ ml}$$

$$V_{CO50SFO50} = V_{total} - V_{A200} = 40 \text{ ml} - 1,6 \text{ ml} = 38,4 \text{ ml}$$

$$V_{CO} = 19,2 \text{ ml}$$

$$V_{SFO} = 19,2 \text{ ml}$$

ANEXO B. CÁLCULO DE CONDUCTIVIDADES TÉRMICAS

En el siguiente anexo se muestran los datos numéricos obtenidos durante el estudio de la conductividad térmica además del cálculo de la incertidumbre en la medida de la temperatura y la conductividad.

B.I. Cálculo de la incertidumbre

Para el cálculo de la incertidumbre de la conductividad, como este error fue proporcionado por el instrumento de medida, se consideró el valor más alto de entre las tres medidas tomadas.

La incertidumbre de la temperatura no fue facilitada por el aparato, por lo que calculó. Se calculó la desviación típica de las tres medidas de temperatura. También se tuvo en cuenta el error instrumental. Si la incertidumbre es menor que el error instrumental se considera este, en este caso es de 0,01 °C.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - \bar{x})^2}{(n - 1)}} \quad (11)$$

σ = Desviación típica

\bar{x} = Media aritmética

n = Número de medidas

x_i = Valor de cada medida

Siendo la media aritmética:

$$\bar{x} = \frac{\sum_1^n x_i}{n} \quad (12)$$

A continuación, se van a mostrar los cálculos de cada una de las medidas

EXPERIMENTO 1

Este experimento es el de la muestra de aceite de coco puro (AC100).

CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE DE LA TEMPERATURA DEL ACEITE DE COCO PURO					
Temperatura	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Media	Desviación típica
5°C	3,51 °C	3,46 °C	3,42 °C	3,4633 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 3,4633)^2}{(3-1)}} = 0,045092$
	Incertidumbre = 0,05 °C				
10°C	8,32 °C	8,4 °C	8,34 °C	8,32 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 8,32)^2}{(3-1)}} = 0,0416333$
	Incertidumbre = 0,04 °C				
15°C	17,24 °C	16,27 °C	15,54 °C	17,24 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 17,24)^2}{(3-1)}} = 0,852819$
	Incertidumbre = 0,85 °C				
20°C	21,31 °C	20,9 °C	20,65 °C	21,31 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 21,31)^2}{(3-1)}} = 0,333217$
	Incertidumbre = 0,33 °C				
25°C	24,53 °C	24,51 °C	24,5 °C	24,53 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 24,53)^2}{(3-1)}} = 0,015275$
	Incertidumbre = 0,02 °C				
30°C	25,75 °C	29,55 °C	29,53 °C	25,75 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 25,75)^2}{(3-1)}} = 2,188180$
	Incertidumbre = 2,18 °C				
35°C	34,43 °C	34,61 °C	34,62 °C	34,43 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 34,43)^2}{(3-1)}} = 0,106927$
	Incertidumbre = 0,11 °C				
40°C	39,34 °C	39,67 °C	39,64 °C	39,34 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 39,34)^2}{(3-1)}} = 0,1824829$
	Incertidumbre = 0,18 °C				
45°C	44,23 °C	44,52 °C	44,56 °C	44,23 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 44,23)^2}{(3-1)}} = 0,1800926$

Incertidumbre = 0,18 °C					
60°C	59,3 °C	59,38 °C	59,4 °C	59,3 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 59,3)^2}{(3-1)}} = 0,0529150$
	Incertidumbre = 0,05 °C				

Tabla 19. Incertidumbre del experimento 1. Fuente: Original.

EXPERIMENTO 2

Este experimento es el de la muestra de 90% de aceite de coco y 10% aceite de girasol (AC90AG10).

CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE DE LA TEMPERATURA DE 90% ACEITE DE COCO Y 10% ACEITE DE GIRASOL					
Temperatura	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Media	Desviación típica
5°C	3,67 °C	3,54 °C	3,51 °C	3,57333 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 3,57333)^2}{(3-1)}} = 0,085049$
	Incertidumbre = 0,09 °C				
10°C	8,55 °C	8,52 °C	8,51 °C	8,52667 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 8,527)^2}{(3-1)}} = 0,020817$
	Incertidumbre = 0,02 °C				
15°C	13,49 °C	13,43 °C	13,4 °C	13,44 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 13,44)^2}{(3-1)}} = 0,045826$
	Incertidumbre = 0,05 °C				
20°C	18,29 °C	18,31 °C	18,3 °C	18,3°C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 18,3)^2}{(3-1)}} = 0,01$
	Incertidumbre = 0,01 °C				
25°C	23,35 °C	23,33 °C	23,31 °C	23,33°C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 23,33)^2}{(3-1)}} = 0,02$
	Incertidumbre = 0,02 °C				
30°C	28,12 °C	28,15 °C	28,16 °C	28,1433	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 28,143)^2}{(3-1)}} = 0,020817$
	Incertidumbre = 0,02 °C				
35°C	33,33 °C	33,38 °C	33,38 °C	33,3633°C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 33,363)^2}{(3-1)}} = 0,028868$
	Incertidumbre = 0,03 °C				

40°C	38,26 °C	38,29 °C	38,29 °C	38,28°C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 38,28)^2}{(3-1)}} = 0,017321$
	Incertidumbre = 0,02 °C				
45°C	43,15 °C	43,19 °C	43,2 °C	43,18 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 43,18)^2}{(3-1)}} = 0,026458$
	Incertidumbre = 0,03 °C				
60°C	58,04 °C	58,07 °C	58,08 °C	58,0633°C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 58,06)^2}{(3-1)}} = 0,020817$
	Incertidumbre = 0,02 °C				
90°C	87,69 °C	87,72 °C	87,71 °C	87,7067 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 87,707)^2}{(3-1)}} = 0,015275$
	Incertidumbre = 0,02 °C				

Tabla 20. Incertidumbre del experimento 2. Fuente: Original.

EXPERIMENTO 3

Este experimento es el de la muestra de 50% de aceite de coco y 50% aceite de girasol (AC50AG50).

CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE DE LA TEMPERATURA DE 50% ACEITE DE COCO Y 50% ACEITE DE GIRASOL					
Temperatura	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Media	Desviación típica
5°C	3,68 °C	3,69 °C	3,69 °C	3,6867 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 3,6867)^2}{(3-1)}} = 0,0058$
	Incertidumbre = 0,01 °C				
10°C	8,6 °C	8,59 °C	8,61 °C	8,6 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 8,6)^2}{(3-1)}} = 0,01$
	Incertidumbre = 0,01 °C				
15°C	14,72 °C	14,59 °C	14,33 °C	14,5467 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 14,547)^2}{(3-1)}} = 0,1986$
	Incertidumbre = 0,12 °C				
20°C	18,4 °C	18,44 °C	18,42 °C	18,42°C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 18,42)^2}{(3-1)}} = 0,02$
	Incertidumbre = 0,02 °C				

25°C	23,27 °C	23,27 °C	23,31 °C	23,2833°C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 23,2833)^2}{(3-1)}} = 0,0231$
	Incertidumbre = 0,02 °C				
30°C	28,17 °C	28,21 °C	28,21 °C	28,1967 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 28,197)^2}{(3-1)}} = 0,0231$
	Incertidumbre = 0,02 °C				
35°C	33,32 °C	33,38 °C	33,41 °C	33,37°C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 33,37)^2}{(3-1)}} = 0,0458$
	Incertidumbre = 0,05 °C				
40°C	38,34 °C	38,31 °C	38,3 °C	38,3167°C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 38,317)^2}{(3-1)}} = 0,0208$
	Incertidumbre = 0,02 °C				
45°C	43,3 °C	43,33 °C	43,34 °C	43,3233°C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 43,323)^2}{(3-1)}} = 0,0208$
	Incertidumbre = 0,02 °C				
60°C	58,17 °C	58,22 °C	58,21 °C	58,2°C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 58,2)^2}{(3-1)}} = 0,0265$
	Incertidumbre = 0,03 °C				
90°C	87,83 °C	87,81 °C	87,84 °C	87,8267 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 87,827)^2}{(3-1)}} = 0,0153$
	Incertidumbre = 0,02 °C				

Tabla 21. Incertidumbre del experimento 3. Fuente: Original.

EXPERIMENTO 4

Este experimento es el de la muestra de 10% de aceite de coco y 90% aceite de girasol (AC10AG90).

CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE DE LA TEMPERATURA DE 50% ACEITE DE COCO Y 50% ACEITE DE GIRASOL					
Temperatura	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Media	Desviación típica
5°C	3,56 °C	3,61 °C	3,61 °C	3,5933 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 3,5933)^2}{(3-1)}} = 0,0289$
	Incertidumbre = 0,03 °C				

10°C	8,55 °C	8,55 °C	8,56 °C	8,5533 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 8,5533)^2}{(3-1)}} = 0,0058$
	Incertidumbre = 0,01 °C				
15°C	13,41 °C	13,45 °C	13,44 °C	13,4333°C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 13,4333)^2}{(3-1)}} = 0,0208$
	Incertidumbre = 0,02 °C				
20°C	18,41 °C	18,44 °C	18,46 °C	18,4367 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 18,4367)^2}{(3-1)}} = 0,0252$
	Incertidumbre = 0,03 °C				
25°C	23,45 °C	23,37 °C	23,4 °C	23,4067 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 23,4067)^2}{(3-1)}} = 0,0404$
	Incertidumbre = 0,04 °C				
30°C	28,29 °C	28,34 °C	28,29 °C	28,3067°C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 28,3067)^2}{(3-1)}} = 0,0289$
	Incertidumbre = 0,03 °C				
35°C	33,47 °C	33,5 °C	33,48 °C	33,4833 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 33,4833)^2}{(3-1)}} = 0,0153$
	Incertidumbre = 0,02 °C				
40°C	38,35 °C	38,4 °C	38,38 °C	38,3767 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 38,3767)^2}{(3-1)}} = 0,0252$
	Incertidumbre = 0,03 °C				
45°C	43,39 °C	43,42 °C	43,42 °C	43,41 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 43,41)^2}{(3-1)}} = 0,0173$
	Incertidumbre = 0,02 °C				
60°C	58,28 °C	58,32 °C	58,32 °C	58,3067 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 58,3067)^2}{(3-1)}} = 0,0231$
	Incertidumbre = 0,02 °C				
90°C	87,95 °C	87,97 °C	87,95 °C	87,9567°C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 87,9567)^2}{(3-1)}} = 0,0115$
	Incertidumbre = 0,01 °C				

Tabla 22. Incertidumbre del experimento 4. Fuente: Original.

EXPERIMENTO 5

Este experimento es el de la muestra de aceite de girasol puro (AG100).

CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE DE LA TEMPERATURA DEL ACEITE DE GIRASOL PURO					
Temperatura	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Media	Desviación típica
5°C	3,66 °C	3,7 °C	3,7 °C	3,6867 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 3,6867)^2}{(3-1)}} = 0,0231$
	Incertidumbre = 0,02 °C				
10°C	9,1 °C	9,15 °C	9,14 °C	9,13 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 9,13)^2}{(3-1)}} = 0,0265$
	Incertidumbre = 0,03 °C				
15°C	14,01 °C	14,06 °C	14,06 °C	14,0433 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 14,0433)^2}{(3-1)}} = 0,0289$
	Incertidumbre = 0,03 °C				
20°C	18,5 °C	18,52 °C	18,53 °C	18,5167 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 18,5167)^2}{(3-1)}} = 0,0153$
	Incertidumbre = 0,02 °C				
25°C	23,44 °C	23,47 °C	23,46 °C	23,4567 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 23,4567)^2}{(3-1)}} = 0,0153$
	Incertidumbre = 0,02 °C				
30°C	28,43 °C	28,44 °C	28,44 °C	28,4367 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 28,4367)^2}{(3-1)}} = 0,0058$
	Incertidumbre = 0,01 °C				
35°C	34,33 °C	34,36 °C	34,41 °C	34,3667 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 34,3667)^2}{(3-1)}} = 0,0404$
	Incertidumbre = 0,04 °C				
40°C	39,03 °C	39,02 °C	39,04 °C	39,03 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 39,03)^2}{(3-1)}} = 0,01$
	Incertidumbre = 0,01 °C				
45°C	43,39 °C	43,43 °C	43,42 °C	43,4133 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 43,4133)^2}{(3-1)}} = 0,0208$
	Incertidumbre = 0,02 °C				

60°C	58,93 °C	58,98 °C	59,02 °C	58,9767 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 58,9767)^2}{(3-1)}} = 0,0451$
	Incertidumbre = 0,05 °C				
90°C	88,07 °C	88,11 °C	88,12 °C	88,1 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 88,1)^2}{(3-1)}} = 0,0265$
	Incertidumbre = 0,03 °C				

Tabla 23. Incertidumbre del experimento 5. Fuente: Original.

EXPERIMENTO 6

Este experimento es el de la suspensión de 50% de aceite de coco y 50% de aceite de girasol con un 1% de óxido de silicio (AC50AG50 + 1%A200).

CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE DE LA TEMPERATURA 50% DE ACEITE DE COCO, 50% DE ACEITE DE GIRASOL Y 1% DE A200					
Temperatura	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Media	Desviación típica
5°C	3,15 °C	3,2 °C	3,19 °C	3,1800 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 3,6867)^2}{(3-1)}} = 0,0265$
	Incertidumbre = 0,03 °C				
10°C	8,16 °C	8,16 °C	8,17 °C	8,1633 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 8,1633)^2}{(3-1)}} = 0,0058$
	Incertidumbre = 0,01 °C				
15°C	13,16 °C	13,15 °C	13,14 °C	13,15 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 13,15)^2}{(3-1)}} = 0,01$
	Incertidumbre = 0,01 °C				
20°C	18,01 °C	18,02 °C	18 °C	18,01 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 18,01)^2}{(3-1)}} = 0,01$
	Incertidumbre = 0,01 °C				
25°C	22,91 °C	22,96 °C	22,97 °C	22,9467 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 22,9467)^2}{(3-1)}} = 0,0321$
	Incertidumbre = 0,03 °C				
30°C	27,91 °C	27,93 °C	27,92 °C	27,92 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 27,92)^2}{(3-1)}} = 0,01$
	Incertidumbre = 0,01 °C				

35°C	32,86 °C	32,89 °C	32,9 °C	32,8833 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 32,8833)^2}{(3-1)}} = 0,0208$
	Incertidumbre = 0,02 °C				
40°C	37,8 °C	37,83 °C	37,86 °C	37,83 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 37,83)^2}{(3-1)}} = 0,03$
	Incertidumbre = 0,03 °C				
45°C	42,77 °C	42,81 °C	42,84 °C	42,8067 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 42,8067)^2}{(3-1)}} = 0,0351$
	Incertidumbre = 0,04 °C				
60°C	57,83 °C	57,9 °C	57,88 °C	57,87 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 57,87)^2}{(3-1)}} = 0,0361$
	Incertidumbre = 0,04 °C				
90°C	87,49 °C	87,54 °C	87,54 °C	87,5233 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 87,5233)^2}{(3-1)}} = 0,0289$
	Incertidumbre = 0,03 °C				

Tabla 24. Incertidumbre del experimento 6. Fuente: Original.

EXPERIMENTO 7

Este experimento es el de la suspensión de 50% de aceite de coco y 50% de aceite de girasol con un 2% de óxido de silicio (AC50AG50 + 2%A200).

CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE DE LA TEMPERATURA 50% DE ACEITE DE COCO, 50% DE ACEITE DE GIRASOL Y 2% DE A200					
Temperatura	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Media	Desviación típica
5°C	3,11 °C	3,18 °C	3,15 °C	3,1467 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 3,1467)^2}{(3-1)}} = 0,0351$
	Incertidumbre = 0,04 °C				
10°C	8,12 °C	8,12 °C	8,12 °C	8,12 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 8,12)^2}{(3-1)}} = 0$
	Incertidumbre = 0,01 °C				
15°C	13,63 °C	13,56 °C	13,4 °C	13,53 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 13,53)^2}{(3-1)}} = 0,1179$
	Incertidumbre = 0,12 °C				

20°C	17,9 °C	17,95 °C	17,92 °C	17,9233 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 17,9233)^2}{(3-1)}} = 0,0252$
	Incertidumbre = 0,03 °C				
25°C	22,92 °C	22,94 °C	22,94 °C	22,9333 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 22,9333)^2}{(3-1)}} = 0,0115$
	Incertidumbre = 0,01 °C				
30°C	27,78 °C	27,85 °C	27,84 °C	27,8233 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 27,8233)^2}{(3-1)}} = 0,0379$
	Incertidumbre = 0,04 °C				
35°C	32,92 °C	32,96 °C	32,96 °C	32,9467 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 32,9467)^2}{(3-1)}} = 0,0231$
	Incertidumbre = 0,02 °C				
40°C	37,85 °C	37,89 °C	37,9 °C	37,88 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 37,88)^2}{(3-1)}} = 0,0265$
	Incertidumbre = 0,03 °C				
45°C	42,88 °C	42,93 °C	42,93 °C	42,9133 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 42,9133)^2}{(3-1)}} = 0,0289$
	Incertidumbre = 0,03 °C				
60°C	57,76 °C	57,82 °C	57,82 °C	57,8 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 57,8)^2}{(3-1)}} = 0,0346$
	Incertidumbre = 0,03 °C				
90°C	87,28 °C	87,33 °C	87,32 °C	87,31 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 87,31)^2}{(3-1)}} = 0,0265$
	Incertidumbre = 0,03 °C				

Tabla 25. Incertidumbre del experimento 6. Fuente: Original.

EXPERIMENTO 8

Este experimento es el de la suspensión de 50% de aceite de coco y 50% de aceite de girasol con un 3% de óxido de silicio (AC50AG50 + 3%A200).

CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE DE LA TEMPERATURA 50% DE ACEITE DE COCO, 50% DE ACEITE DE GIRASOL Y 3% DE A200					
Temperatura	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Media	Desviación típica
5°C	3,09 °C	3,11 °C	3,1 °C	3,1 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 3,1)^2}{(3-1)}} = 0,01$
	Incertidumbre = 0,01 °C				
10°C	8,03 °C	8,05 °C	8,06 °C	8,0467 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 8,0467)^2}{(3-1)}} = 0,0153$
	Incertidumbre = 0,02 °C				
15°C	13,34 °C	13,42 °C	13,47 °C	13,41 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 13,41)^2}{(3-1)}} = 0,0656$
	Incertidumbre = 0,07 °C				
20°C	17,88 °C	17,9 °C	17,88 °C	17,8867 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 17,8867)^2}{(3-1)}} = 0,0115$
	Incertidumbre = 0,01 °C				
25°C	22,84 °C	22,86 °C	22,84 °C	22,8467 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 22,8467)^2}{(3-1)}} = 0,0115$
	Incertidumbre = 0,01 °C				
30°C	27,77 °C	27,81 °C	27,81 °C	27,7967 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 27,7967)^2}{(3-1)}} = 0,0231$
	Incertidumbre = 0,02 °C				
35°C	32,88 °C	32,9 °C	32,92 °C	32,9 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 32,9)^2}{(3-1)}} = 0,02$
	Incertidumbre = 0,02 °C				
40°C	37,85 °C	37,91 °C	37,9 °C	37,8867 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 37,8867)^2}{(3-1)}} = 0,0321$
	Incertidumbre = 0,03 °C				
45°C	42,82 °C	42,85 °C	42,86 °C	42,8433 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 42,8433)^2}{(3-1)}} = 0,0208$
	Incertidumbre = 0,02 °C				
60°C	57,68 °C	57,73 °C	57,74 °C	57,7167 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 57,7167)^2}{(3-1)}} = 0,0321$
	Incertidumbre = 0,03 °C				
90°C	87,23 °C	87,21 °C	87,18 °C	87,2067 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 87,2067)^2}{(3-1)}} = 0,0252$

Incertidumbre = 0,03 °C

Tabla 26. Incertidumbre del experimento 8. Fuente: Original.

EXPERIMENTO 9

Este experimento es el de la suspensión de 50% de aceite de coco y 50% de aceite de girasol con un 4% de óxido de silicio (AC50AG50 + 4%A200).

CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE DE LA TEMPERATURA 50% DE ACEITE DE COCO, 50% DE ACEITE DE GIRASOL Y 4% DE A200					
Temperatura	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Media	Desviación típica
5°C	3 °C	3,03 °C	3,02 °C	3,0167 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 3,0167)^2}{(3-1)}} = 0,0153$
	Incertidumbre = 0,02 °C				
10°C	7,96 °C	7,91 °C	7,93 °C	7,9333 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 7,9333)^2}{(3-1)}} = 0,0252$
	Incertidumbre = 0,03 °C				
15°C	13,01 °C	12,98 °C	12,98 °C	12,99 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 12,99)^2}{(3-1)}} = 0,0173$
	Incertidumbre = 0,02 °C				
20°C	17,8 °C	17,81 °C	17,83 °C	17,8133 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 17,8133)^2}{(3-1)}} = 0,0153$
	Incertidumbre = 0,02 °C				
25°C	22,69 °C	22,73 °C	22,75 °C	22,7233 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 22,7233)^2}{(3-1)}} = 0,0306$
	Incertidumbre = 0,03 °C				
30°C	27,64 °C	27,69 °C	27,68 °C	27,67 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 27,67)^2}{(3-1)}} = 0,0265$
	Incertidumbre = 0,03 °C				
35°C	32,82 °C	32,85 °C	32,84 °C	32,8367 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 32,8367)^2}{(3-1)}} = 0,0153$
	Incertidumbre = 0,02 °C				
40°C	37,71 °C	37,75 °C	37,77 °C	37,7433 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 37,7433)^2}{(3-1)}} = 0,0306$
	Incertidumbre = 0,03 °C				

45°C	42,66 °C	42,7 °C	42,7 °C	42,6867 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 42,6867)^2}{(3-1)}} = 0,0231$
	Incertidumbre = 0,02 °C				
60°C	57,55 °C	57,58 °C	57,6 °C	57,5767 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 57,5767)^2}{(3-1)}} = 0,0252$
	Incertidumbre = 0,03 °C				
90°C	87,22 °C	87,26 °C	87,32 °C	87,2667 °C	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - 87,2667)^2}{(3-1)}} = 0,0503$
	Incertidumbre = 0,05 °C				

Tabla 27. Incertidumbre del experimento 9. Fuente: Original.

B.III. Resultados numéricos

En este apartado se muestran todos los datos numéricos recopilados durante este estudio de la conductividad con sus respectivos errores calculados anteriormente.

EXPERIMENTO 1

Resultados de las mediciones del Aceite de coco puro (AC100)

TEMPERATURA 5°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,113	3,51	0,0082
Toma 2	0,113	3,46	0,0076
Toma 3	0,113	3,42	0,0081
Media	0,113	3,463	0,008
RESULTADO			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	
	0,113 ± 0,008	3,46 ± 0,05	

Tabla 28. Datos de la conductividad térmica del aceite de coco puro a 5°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 10°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,136	8,32	0,009
Toma 2	0,129	8,4	0,0063
Toma 3	0,123	8,34	0,0059
Media	0,129	8,35	0,009
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,129 ± 0,009		8,35 ± 0,04	

Tabla 29. Datos de la conductividad térmica del aceite de coco puro a 10°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 15°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,166	17,24	0,0017
Toma 2	0,165	16,27	0,0022
Toma 3	0,165	15,54	0,002
Media	0,165	16,35	0,001967
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,165 ± 0,002		16,35 ± 0,85	

Tabla 30. Datos de la conductividad térmica del aceite de coco puro a 15°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 20°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,165	21,31	0,0028
Toma 2	0,165	20,9	0,0028
Toma 3	0,165	20,65	0,0027
Media	0,165	20,95	0,002767
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,165 ± 0,003		20,95 ± 0,33	

Tabla 31. Datos de la conductividad térmica del aceite de coco puro a 20°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 25°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,158	24,53	0,0035
Toma 2	0,158	24,51	0,0034
Toma 3	0,158	24,5	0,0035
Media	0,158	24,51	0,003467
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,158 ± 0,003		24,51 ± 0,02	

Tabla 32. Datos de la conductividad térmica del aceite de coco puro a 25°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 30°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,159	25,75	0,0023
Toma 2	0,158	29,55	0,0032
Toma 3	0,158	29,53	0,0032
Media	0,15833	28,28	0,0029
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,158 ± 0,003		28,28 ± 2,18	

Tabla 33. Datos de la conductividad térmica del aceite de coco puro a 30°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 35°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,156	34,43	0,0036
Toma 2	0,156	34,61	0,0037
Toma 3	0,156	34,62	0,0036
Media	0,156	34,5533	0,003633
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,156 ± 0,004		34,55 ± 0,11	

Tabla 34. Datos de la conductividad térmica del aceite de coco puro a 35°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 40°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,155	39,34	0,0037
Toma 2	0,156	39,67	0,0038
Toma 3	0,155	39,64	0,0039
Media	0,155	39,55	0,0038
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,155 ± 0,004		39,55 ± 0,18	

Tabla 35. Datos de la conductividad térmica del aceite de coco puro a 40°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 45°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,154	44,23	0,0033
Toma 2	0,154	44,52	0,0041
Toma 3	0,155	44,56	0,004
Media	0,154	44,43	0,0038
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,154 ± 0,004		39,55 ± 0,18	

Tabla 36. Datos de la conductividad térmica del aceite de coco puro a 45°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 60°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,151	59,3	0,0037
Toma 2	0,15	59,38	0,0041
Toma 3	0,15	59,4	0,004
Media	0,150	59,36	0,003933
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,150 ± 0,004		59,36 ± 0,05	

Tabla 37. Datos de la conductividad térmica del aceite de coco puro a 60°C. Fuente: Original.

EXPERIMENTO 2

Resultados de las mediciones del fluido 90% aceite de coco y 10% aceite de girasol (AC90AC10).

TEMPERATURA 5°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,107	3,67	0,0021
Toma 2	0,107	3,54	0,0023
Toma 3	0,107	3,51	0,0021
Media	0,107	3,57	0,0022
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,107 ± 0,002		3,57 ± 0,09	

Tabla 38. Datos de la conductividad térmica del 90% aceite de coco y 10% aceite de girasol a 5°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 10°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,118	8,55	0,0039
Toma 2	0,115	8,52	0,0024
Toma 3	0,115	8,51	0,0021
Media	0,116	8,53	0,0028
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,116 ± 0,004		8,53 ± 0,02	

Tabla 39. Datos de la conductividad térmica del 90% aceite de coco y 10% aceite de girasol a 10°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 15°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,116	13,49	0,0013
Toma 2	0,116	13,43	0,0013
Toma 3	0,117	13,4	0,0014
Media	0,116	13,44	0,001333

RESULTADO	
Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)
0,116 ± 0,001	13,44 ± 0,05

Tabla 40. Datos de la conductividad térmica del 90% aceite de coco y 10% aceite de girasol a 15°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 20°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,153	18,29	0,0144
Toma 2	0,145	18,31	0,0097
Toma 3	0,141	18,3	0,0069
Media	0,146	18,3	0,0103
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,146 ± 0,01		18,3 ± 0,01	

Tabla 41. Datos de la conductividad térmica del 90% aceite de coco y 10% aceite de girasol a 20°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 25°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,17	23,35	0,0031
Toma 2	0,168	23,33	0,0028
Toma 3	0,167	23,31	0,0028
Media	0,168	23,33	0,0029
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,168 ± 0,003		23,33 ± 0,02	

Tabla 42. Datos de la conductividad térmica del 90% aceite de coco y 10% aceite de girasol a 25°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 30°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,158	28,12	0,0035
Toma 2	0,158	28,15	0,0033
Toma 3	0,157	28,16	0,0037
Media	0,15733	28,14	0,0035
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,157 ± 0,004		28,14 ± 0,02	

Tabla 43. Datos de la conductividad térmica del 90% aceite de coco y 10% aceite de girasol a 30°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 35°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,157	33,33	0,0038
Toma 2	0,157	33,38	0,0035
Toma 3	0,157	33,38	0,0036
Media	0,157	33,36	0,003633
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,156 ± 0,004		33,36 ± 0,03	

Tabla 44. Datos de la conductividad térmica del 90% aceite de coco y 10% aceite de girasol a 35°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 40°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,157	38,26	0,0036
Toma 2	0,156	38,29	0,0038
Toma 3	0,156	38,29	0,004
Media	0,156	38,28	0,0038
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,156 ± 0,004		38,28 ± 0,02	

Tabla 45. Datos de la conductividad térmica del 90% aceite de coco y 10% aceite de girasol a 40°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 45°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,154	43,15	0,0037
Toma 2	0,154	43,19	0,0041
Toma 3	0,154	43,2	0,0041
Media	0,154	43,18	0,003967
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,154 ± 0,004		43,18 ± 0,03	

Tabla 46. Datos de la conductividad térmica del 90% aceite de coco y 10% aceite de girasol a 45°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 60°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,151	58,04	0,0039
Toma 2	0,152	58,07	0,0038
Toma 3	0,152	58,08	0,0041
Media	0,152	58,0633	0,003933
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,152 ± 0,004		58,06 ± 0,02	

Tabla 47. Datos de la conductividad térmica del 90% aceite de coco y 10% aceite de girasol a 60°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 90°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,149	87,69	0,0038
Toma 2	0,15	87,72	0,0042
Toma 3	0,15	87,71	0,0044
Media	0,14967	87,71	0,004133
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,150 ± 0,004		87,71 ± 0,02	

Tabla 48. Datos de la conductividad térmica del 90% aceite de coco y 10% aceite de girasol a 90°C. Fuente: Original.

EXPERIMENTO 3

Resultados de las mediciones del fluido 50% aceite de coco y 50% aceite de girasol (AC50AC50).

TEMPERATURA 5°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,121	3,68	0,0052
Toma 2	0,121	3,69	0,005
Toma 3	0,121	3,69	0,005
Media	0,121	3,6867	0,005067
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,121 ± 0,005		3,69 ± 0,01	

Tabla 49. Datos de la conductividad térmica del 50% aceite de coco y 50% aceite de girasol a 5°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 10°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,121	8,6	0,0027
Toma 2	0,118	8,59	0,0022
Toma 3	0,117	8,61	0,002
Media	0,11867	8,6	0,0023
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,119 ± 0,003		8,6 ± 0,01	

Tabla 50. Datos de la conductividad térmica del 50% aceite de coco y 50% aceite de girasol a 10°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 15°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,165	14,72	0,0025
Toma 2	0,164	14,59	0,0027
Toma 3	0,164	14,33	0,0025

Media	0,16433	14,5467	0,002567
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,164 ± 0,003		14,55 ± 0,12	

Tabla 51. Datos de la conductividad térmica del 50% aceite de coco y 50% aceite de girasol a 15°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 20°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,161	18,4	0,0035
Toma 2	0,162	18,44	0,0036
Toma 3	0,162	18,42	0,0032
Media	0,16167	18,42	0,003433
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,162 ± 0,04		18,42 ± 0,02	

Tabla 52. Datos de la conductividad térmica del 50% aceite de coco y 50% aceite de girasol a 20°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 25°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,161	23,27	0,0036
Toma 2	0,161	23,27	0,0036
Toma 3	0,161	23,31	0,0037
Media	0,161	23,2833	0,003633
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,161 ± 0,004		23,28 ± 0,02	

Tabla 53. Datos de la conductividad térmica del 50% aceite de coco y 50% aceite de girasol a 25°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 30°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,159	28,17	0,0036
Toma 2	0,159	28,21	0,0038
Toma 3	0,159	28,21	0,0037
Media	0,159	28,1967	0,0037
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,159 ± 0,004		28,20 ± 0,02	

Tabla 54. Datos de la conductividad térmica del 50% aceite de coco y 50% aceite de girasol a 30°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 35°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,158	33,32	0,0037
Toma 2	0,158	33,38	0,0037
Toma 3	0,158	33,41	0,0037
Media	0,158	33,37	0,0037
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,156 ± 0,004		33,37 ± 0,05	

Tabla 55. Datos de la conductividad térmica del 50% aceite de coco y 50% aceite de girasol a 35°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 40°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,157	38,34	0,0035
Toma 2	0,157	38,31	0,0038
Toma 3	0,157	38,3	0,0038
Media	0,157	38,3167	0,0037
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,157 ± 0,004		38,32 ± 0,02	

Tabla 56. Datos de la conductividad térmica del 50% aceite de coco y 50% aceite de girasol a 40°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 45°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,156	43,3	0,0042
Toma 2	0,156	43,33	0,004
Toma 3	0,156	43,34	0,0037
Media	0,156	43,3233	0,003967
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,156 ± 0,004		43,32 ± 0,02	

Tabla 57. Datos de la conductividad térmica del 50% aceite de coco y 50% aceite de girasol a 45°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 60°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,153	58,17	0,004
Toma 2	0,153	58,22	0,0042
Toma 3	0,153	58,21	0,0042
Media	0,153	58,2	0,004133
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,153 ± 0,004		58,2 ± 0,03	

Tabla 58. Datos de la conductividad térmica del 50% aceite de coco y 50% aceite de girasol a 60°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 90°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,149	87,83	0,004
Toma 2	0,15	87,81	0,0042
Toma 3	0,149	87,84	0,0053
Media	0,14933	87,8267	0,0045
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,149 ± 0,005		87,96 ± 0,02	

Tabla 59. Datos de la conductividad térmica del 50% aceite de coco y 50% aceite de girasol a 90°C. Fuente: Original.

EXPERIMENTO 4

Resultados de las mediciones del fluido 10% aceite de coco y 90% aceite de girasol (AC10AC90).

TEMPERATURA 5°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,163	3,56	0,0032
Toma 2	0,163	3,61	0,0034
Toma 3	0,164	3,61	0,0032
Media	0,16333	3,5933	0,003267
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,163 ± 0,003		3,59 ± 0,03	

Tabla 60. Datos de la conductividad térmica del 10% aceite de coco y 90% aceite de girasol a 5°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 10°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,163	8,55	0,003
Toma 2	0,163	8,55	0,0034
Toma 3	0,163	8,556	0,0031
Media	0,163	8,5533	0,003167
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,163 ± 0,003		8,55 ± 0,01	

Tabla 61. Datos de la conductividad térmica del 10% aceite de coco y 90% aceite de girasol a 10°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 15°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,162	13,41	0,003
Toma 2	0,162	13,45	0,0029
Toma 3	0,162	13,44	0,0032
Media	0,162	13,43	0,00303

RESULTADO	
Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)
0,162 ± 0,003	13,43 ± 0,02

Tabla 62. Datos de la conductividad térmica del 10% aceite de coco y 90% aceite de girasol a 15°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 20°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,161	18,41	0,0035
Toma 2	0,161	18,44	0,003
Toma 3	0,161	18,46	0,0029
Media	0,161	18,4367	0,003133
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,161 ± 0,003		18,44 ± 0,03	

Tabla 63. Datos de la conductividad térmica del 10% aceite de coco y 90% aceite de girasol a 20°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 25°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,161	23,45	0,0029
Toma 2	0,161	23,37	0,0032
Toma 3	0,162	23,4	0,0028
Media	0,16133	23,4067	0,002967
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,161 ± 0,003		23,41 ± 0,04	

Tabla 64. Datos de la conductividad térmica del 10% aceite de coco y 90% aceite de girasol a 25°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 30°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,16	28,29	0,0038
Toma 2	0,16	28,34	0,0034
Toma 3	0,16	28,29	0,003

Media	0,16	28,3067	0,0034
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,16 ± 0,004		28,31 ± 0,03	

Tabla 65. Datos de la conductividad térmica del 10% aceite de coco y 90% aceite de girasol a 30°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 35°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,159	33,47	0,0041
Toma 2	0,16	33,5	0,003
Toma 3	0,16	33,48	0,0036
Media	0,15967	33,4833	0,003567
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,160 ± 0,004		33,48 ± 0,02	

Tabla 66. Datos de la conductividad térmica del 10% aceite de coco y 90% aceite de girasol a 35°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 40°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,16	38,35	0,0036
Toma 2	0,159	38,4	0,0036
Toma 3	0,159	38,38	0,0039
Media	0,15933	38,3767	0,0037
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,159 ± 0,004		38,38 ± 0,03	

Tabla 67. Datos de la conductividad térmica del 10% aceite de coco y 90% aceite de girasol a 40°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 45°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,158	43,39	0,0042
Toma 2	0,158	43,42	0,0037
Toma 3	0,158	43,42	0,0039
Media	0,158	43,41	0,003933
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,158 ± 0,004		43,41 ± 0,02	

Tabla 68. Datos de la conductividad térmica del 10% aceite de coco y 90% aceite de girasol a 45°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 60°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,156	58,28	0,0038
Toma 2	0,156	58,32	0,003
Toma 3	0,156	58,32	0,0037
Media	0,156	58,3067	0,0035
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,156 ± 0,004		58,31 ± 0,02	

Tabla 69. Datos de la conductividad térmica del 10% aceite de coco y 90% aceite de girasol a 60°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 90°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,155	87,95	0,0056
Toma 2	0,156	87,97	0,0052
Toma 3	0,157	87,95	0,0048
Media	0,156	87,9567	0,0052
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,156 ± 0,006		87,96 ± 0,01	

Tabla 70. Datos de la conductividad térmica del 10% aceite de coco y 90% aceite de girasol a 90°C. Fuente: Original.

EXPERIMENTO 5

Resultados de las mediciones del aceite de girasol puro (AG100)

TEMPERATURA 5°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,165	3,66	0,0027
Toma 2	0,165	3,7	0,003
Toma 3	0,164	3,7	0,0034
Media	0,16467	3,6867	0,003033
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,165 ± 0,003		3,69 ± 0,02	

Tabla 71. Datos de la conductividad térmica del aceite de girasol a 5°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 10°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,163	9,1	0,0034
Toma 2	0,164	9,15	0,0031
Toma 3	0,163	9,14	0,0031
Media	0,1633	9,13	0,0032
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,163 ± 0,003		9,13 ± 0,03	

Tabla 72. Datos de la conductividad térmica del aceite de girasol a 10°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 15°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,163	14,01	0,0032
Toma 2	0,163	14,06	0,0027
Toma 3	0,162	14,06	0,0032
Media	0,16267	14,0433	0,00303

RESULTADO	
Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)
0,163 ± 0,003	14,04 ± 0,03

Tabla 73. Datos de la conductividad térmica del aceite de girasol a 15°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 20°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,163	18,5	0,0031
Toma 2	0,163	18,52	0,0033
Toma 3	0,162	18,53	0,003
Media	0,16267	18,5167	0,003133
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,163 ± 0,003		18,52 ± 0,02	

Tabla 74. Datos de la conductividad térmica del aceite de girasol a 20°C.

TEMPERATURA 25°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,162	23,44	0,0031
Toma 2	0,162	23,47	0,0025
Toma 3	0,162	23,46	0,0029
Media	0,162	23,4567	0,00283
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,162 ± 0,003		28,45 ± 0,02	

Tabla 75. Datos de la conductividad térmica del aceite de girasol a 25°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 30°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,161	28,43	0,0028
Toma 2	0,161	28,44	0,0035
Toma 3	0,161	28,44	0,003
Media	0,161	28,4367	0,0031
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,161 ± 0,004		28,44 ± 0,01	

Tabla 76. Datos de la conductividad térmica del aceite de girasol a 30°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 35°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,159	34,33	0,003
Toma 2	0,159	34,36	0,0032
Toma 3	0,159	34,41	0,0035
Media	0,159	34,367	0,003233
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,159 ± 0,004		33,37 ± 0,04	

Tabla 77. Datos de la conductividad térmica del aceite de girasol a 35°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 40°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,159	39,03	0,0032
Toma 2	0,159	39,02	0,003
Toma 3	0,159	39,04	0,003
Media	0,159	39,03	0,003067
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,159 ± 0,003		39,03 ± 0,01	

Tabla 78. Datos de la conductividad térmica del aceite de girasol a 40°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 45°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,157	43,39	0,0036
Toma 2	0,158	43,43	0,0035
Toma 3	0,158	43,42	0,0033
Media	0,15767	43,41	0,003467
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,158 ± 0,004		43,41 ± 0,02	

Tabla 79. Datos de la conductividad térmica del aceite de girasol a 45°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 60°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,157	58,93	0,0032
Toma 2	0,156	58,98	0,0038
Toma 3	0,156	59,02	0,0034
Media	0,15633	58,9767	0,003467
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,156 ± 0,004		58,98 ± 0,05	

Tabla 80. Datos de la conductividad térmica del aceite de girasol a 60°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 90°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,152	88,07	0,006
Toma 2	0,153	88,11	0,0068
Toma 3	0,147	88,12	0,0089
Media	0,15067	88,1	0,007233
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,151 ± 0,009		88,1 ± 0,03	

Tabla 81. Datos de la conductividad térmica del aceite de girasol a 90°C. Fuente: Original.

EXPERIMENTO 6

Resultados de las mediciones del fluido compuesto por 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 1% de A200 (AC50AG50 + 1% A200).

TEMPERATURA 5°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,126	3,15	0,0017
Toma 2	0,126	3,2	0,0013
Toma 3	0,126	3,19	0,0014
Media	0,126	3,18	0,001467
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,126 ± 0,002		3,18 ± 0,03	

Tabla 82. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 1% de A200 a 5°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 10°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,153	8,16	0,0022
Toma 2	0,154	8,16	0,0031
Toma 3	0,153	8,17	0,0022
Media	0,1533	8,1633	0,0025
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,153 ± 0,003		8,16 ± 0,01	

Tabla 83. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 1% de A200 a 10°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 15°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,168	13,16	0,0043
Toma 2	0,164	13,15	0,0021
Toma 3	0,163	13,14	0,0019
Media	0,165	13,15	0,002767

RESULTADO	
Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)
0,165 ± 0,004	13,15 ± 0,01

Tabla 84. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 1% de A200 a 15°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 20°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,164	18,01	0,0032
Toma 2	0,163	18,02	0,003
Toma 3	0,163	18	0,0033
Media	0,1633	18,01	0,003167
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,163 ± 0,003		18,01 ± 0,01	

Tabla 85. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 1% de A200 a 20°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 25°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,163	22,91	0,0035
Toma 2	0,163	22,96	0,0038
Toma 3	0,162	22,97	0,0032
Media	0,16267	22,9467	0,0035
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,163 ± 0,004		22,95 ± 0,03	

Tabla 86. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 1% de A200 a 25°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 30°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,161	27,91	0,0039
Toma 2	0,161	27,93	0,0038

Toma 3	0,162	27,92	0,0034
Media	0,16133	27,92	0,0037
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,161 ± 0,004		27,92 ± 0,01	

Tabla 87. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 1% de A200 a 30°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 35°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,161	32,86	0,0034
Toma 2	0,161	32,89	0,0032
Toma 3	0,161	32,9	0,0036
Media	0,161	32,8833	0,0034
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,161 ± 0,004		32,88 ± 0,02	

Tabla 88. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 1% de A200 a 35°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 40°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,16	37,8	0,0039
Toma 2	0,16	37,83	0,0037
Toma 3	0,16	37,86	0,0038
Media	0,16	37,83	0,0038
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,16 ± 0,004		37,83 ± 0,03	

Tabla 89. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 1% de A200 a 40°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 45°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,159	42,77	0,004

Toma 2	0,159	42,81	0,0035
Toma 3	0,159	42,84	0,004
Media	0,159	42,81	0,003833
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,159 ± 0,004		42,81 ± 0,04	

Tabla 90. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 1% de A200 a 45°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 60°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,158	57,83	0,0041
Toma 2	0,158	57,9	0,0042
Toma 3	0,158	57,88	0,0042
Media	0,158	57,87	0,004167
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,158 ± 0,004		57,87 ± 0,04	

Tabla 91. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 1% de A200 a 60°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 90°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,156	87,49	0,0053
Toma 2	0,156	87,54	0,0059
Toma 3	0,155	87,54	0,0055
Media	0,15567	87,5233	0,005567
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,156 ± 0,006		87,52 ± 0,03	

Tabla 92. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 1% de A200 a 90°C. Fuente: Original.

EXPERIMENTO 7

Resultados de las mediciones del fluido compuesto por 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 2% de A200 (AC50AG50 + 2% A200).

TEMPERATURA 5°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,13	3,11	0,006
Toma 2	0,13	3,18	0,0064
Toma 3	0,13	3,15	0,0064
Media	0,13	3,1467	0,006267
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,13 ± 0,006		3,15 ± 0,04	

Tabla 93. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 2% de A200 a 5°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 10°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,142	8,12	0,0062
Toma 2	0,141	8,12	0,0068
Toma 3	0,14	8,12	0,0069
Media	0,141	8,12	0,006633
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,141 ± 0,007		8,12 ± 0,01	

Tabla 94. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 2% de A200 a 10°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 15°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,171	13,63	0,003
Toma 2	0,17	13,56	0,0027
Toma 3	0,169	13,4	0,0027
Media	0,17	13,53	0,0028

RESULTADO	
Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)
0,17 ± 0,003	13,53 ± 0,12

Tabla 95. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 2% de A200 a 15°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 20°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,071	17,9	0,0064
Toma 2	0,071	17,95	0,0064
Toma 3	0,07	17,92	0,0064
Media	0,07067	17,9233	0,0064
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,071 ± 0,006		17,92 ± 0,03	

Tabla 96. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 2% de A200 a 20°C.

TEMPERATURA 25°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,063	22,92	0,0075
Toma 2	0,063	22,94	0,0075
Toma 3	0,062	22,94	0,0075
Media	0,06267	22,933	0,0075
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,063 ± 0,008		22,93 ± 0,01	

Tabla 97. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 2% de A200 a 25°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 30°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,166	27,91	0,0039
Toma 2	0,165	27,93	0,0038
Toma 3	0,165	27,92	0,0034

Media	0,16533	27,92	0,0037
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,161 ± 0,004		27,92 ± 0,04	

Tabla 98. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 2% de A200 a 30°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 35°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,164	32,92	0,0038
Toma 2	0,164	32,96	0,0038
Toma 3	0,164	32,96	0,0049
Media	0,164	32,9467	0,004167
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,164 ± 0,005		32,95 ± 0,02	

Tabla 99. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 2% de A200 a 35°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 40°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,162	37,85	0,0038
Toma 2	0,161	37,89	0,0038
Toma 3	0,163	37,9	0,0035
Media	0,162	37,88	0,0037
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,162 ± 0,004		37,88 ± 0,03	

Tabla 100. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 2% de A200 a 40°C.

TEMPERATURA 45°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,161	42,88	0,0041
Toma 2	0,161	42,93	0,0033
Toma 3	0,161	42,93	0,004
Media	0,161	42,9133	0,0038
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,161 ± 0,004		42,91 ± 0,03	

Tabla 101. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 2% de A200 a 45°C.

TEMPERATURA 60°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,159	57,76	0,0039
Toma 2	0,159	57,82	0,0039
Toma 3	0,159	57,82	0,0034
Media	0,159	57,8	0,003733
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,159 ± 0,004		57,8 ± 0,03	

Tabla 102. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 2% de A200 a 60°C.

TEMPERATURA 90°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,157	87,28	
Toma 2	0,157	87,33	
Toma 3	0,157	87,32	
Media	0,157	87,31	
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,157 ±		87,52 ± 0,03	

Tabla 103. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 2% de A200 a 90°C. Fuente: Original.

EXPERIMENTO 8

Resultados de las mediciones del fluido compuesto por 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 3% de A200 (AC50AG50 + 3% A200).

TEMPERATURA 5°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,128	3,09	0,0068
Toma 2	0,127	3,11	0,0071
Toma 3	0,127	3,1	0,0073
Media	0,12733	3,1	0,007067
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,127 ± 0,007		3,1 ± 0,01	

Tabla 104. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 3% de A200 a 5°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 10°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,14	8,03	0,0054
Toma 2	0,38	8,05	0,0062
Toma 3	0,14	8,06	0,0061
Media	0,13933	8,0467	0,0059
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,139 ± 0,006		8,04 ± 0,02	

Tabla 105. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 3% de A200 a 10°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 15°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,104	13,34	0,002
Toma 2	0,104	13,42	0,0027
Toma 3	0,104	13,47	0,0027
Media	0,104	13,41	0,002467

RESULTADO	
Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)
0,104 ± 0,003	13,41 ± 0,07

Tabla 106. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 3% de A200 a 15°C.

TEMPERATURA 20°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,113	17,88	0,0076
Toma 2	0,112	17,9	0,0057
Toma 3	0,11	17,88	0,0044
Media	0,11167	17,8867	0,0059
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,112 ± 0,008		17,88 ± 0,01	

Tabla 107. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 3% de A200 a 20°C.

TEMPERATURA 25°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,156	22,84	0,0027
Toma 2	0,156	22,86	0,0028
Toma 3	0,156	22,84	0,0024
Media	0,156	22,8467	0,002633
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,156 ± 0,003		22,85 ± 0,01	

Tabla 108. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 3% de A200 a 25°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 30°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,156	27,77	0,0026
Toma 2	0,156	27,81	0,0025
Toma 3	0,157	27,81	0,0026

Media	0,15633	27,7967	0,002567
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,156 ± 0,003		27,8 ± 0,02	

Tabla 109. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 3% de A200 a 30°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 35°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,166	32,88	0,0038
Toma 2	0,166	32,9	0,0034
Toma 3	0,166	32,92	0,0036
Media	0,166	32,9	0,0036
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,166 ± 0,004		32,9 ± 0,02	

Tabla 110. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 3% de A200 a 35°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 40°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,166	37,85	0,0034
Toma 2	0,167	37,91	0,0035
Toma 3	0,166	37,9	0,0038
Media	0,16633	37,8867	0,003567
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,166 ± 0,004		37,89 ± 0,03	

Tabla 111. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 3% de A200 a 40°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 45°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,164	42,82	0,0039
Toma 2	0,164	42,85	0,0037

Toma 3	0,164	42,86	0,0038
Media	0,164	42,8433	0,0038
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,164 ± 0,004		42,84 ± 0,02	

Tabla 112. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 3% de A200 a 45°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 60°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,163	57,68	0,0042
Toma 2	0,163	57,73	0,0041
Toma 3	0,163	57,74	0,004
Media	0,163	57,7167	0,0041
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,163 ± 0,004		57,72 ± 0,03	

Tabla 113. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 3% de A200 a 60°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 90°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,162	87,23	0,0054
Toma 2	0,162	87,21	0,0046
Toma 3	0,163	87,18	0,0047
Media	0,16233	87,2067	0,0049
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,162 ± 0,005		87,21 ± 0,03	

Tabla 114. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 3% de A200 a 90°C. Fuente: Original.

EXPERIMENTO 9

Resultados de las mediciones del fluido compuesto por 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 4% de A200 (AC50AG50 + 4% A200).

TEMPERATURA 5°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,166	3	0,0022
Toma 2	0,166	3,03	0,0025
Toma 3	0,165	3,02	0,0023
Media	0,16567	3,0167	0,00233
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,166 ± 0,003		3,02 ± 0,02	

Tabla 115. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 4% de A200 a 5°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 10°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,17	7,96	0,0025
Toma 2	0,167	7,91	0,0013
Toma 3	0,168	7,93	0,0021
Media	0,16833	7,933	0,001967
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,168 ± 0,003		7,93 ± 0,03	

Tabla 116. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 4% de A200 a 10°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 15°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,181	13,01	0,002
Toma 2	0,179	12,98	0,0021

Toma 3	0,178	12,98	0,0022
Media	0,17933	12,99	0,0021
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,179 ± 0,002		12,99 ± 0,02	

Tabla 117. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 4% de A200 a 15°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 20°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,171	17,8	0,0037
Toma 2	0,171	17,81	0,0034
Toma 3	0,171	17,83	0,0034
Media	0,171	17,8133	0,0035
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,171 ± 0,004		17,81 ± 0,02	

Tabla 118. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 4% de A200 a 20°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 25°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,171	22,69	0,0037
Toma 2	0,171	22,73	0,0034
Toma 3	0,170	22,75	0,0034
Media	0,17067	22,7233	0,0035
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,171 ± 0,004		22,72 ± 0,03	

Tabla 119. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 4% de A200 a 25°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 30°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,17	27,64	0,0034

Toma 2	0,17	27,69	0,0033
Toma 3	0,17	27,68	0,0037
Media	0,17	27,67	0,003467
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,17 ± 0,004		27,67 ± 0,03	

Tabla 120. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 3% de A200 a 30°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 35°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,169	32,82	0,0037
Toma 2	0,166	32,85	0,0034
Toma 3	0,17	32,84	0,0034
Media	0,178	32,8367	0,0035
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,178 ± 0,004		32,84 ± 0,02	

Tabla 121. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 4% de A200 a 35°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 40°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,169	37,71	0,0036
Toma 2	0,17	37,75	0,0037
Toma 3	0,17	37,77	0,0033
Media	0,16967	37,7433	0,003533
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,17 ± 0,004		37,74 ± 0,03	

Tabla 122. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 4% de A200 a 40°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 45°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,169	42,66	0,0036
Toma 2	0,169	42,7	0,0039
Toma 3	0,169	42,7	0,0033
Media	0,169	42,6867	0,0036
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,169 ± 0,004		42,69 ± 0,02	

Tabla 123. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 4% de A200 a 45°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 60°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,167	57,55	0,0038
Toma 2	0,167	57,58	0,0038
Toma 3	0,167	57,6	0,0038
Media	0,167	57,5767	0,0038
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,167 ± 0,004		57,57 ± 0,03	

Tabla 124. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 4% de A200 a 60°C. Fuente: Original.

TEMPERATURA 90°C			
	Conductividad térmica (W/mK)	Temperatura (°C)	Error
Toma 1	0,164	87,22	0,0057
Toma 2	0,164	87,26	0,0059
Toma 3	0,163	87,32	0,0069
Media	0,16367	87,2667	0,006167
RESULTADO			
Conductividad térmica (W/mK)		Temperatura (°C)	
0,164 ± 0,007		87,27 ± 0,05	

Tabla 125. Datos de la conductividad térmica del 50% de aceite de coco, 50% de aceite de girasol y 4% de A200 a 90°C. Fuente: Original.

ANEXO C. AJUSTES LINEALES PARA LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

Para la realización de estos ajustes se utilizó el mismo software que se usó para representar las curvas, el OriginPro 9, que permite la creación de gráficos lineales y no lineales de calidad, además de un análisis estadístico.

Estos ajustes se llevaron a cabo para conseguir una relación lineal entre las dos variables de estudio. Con esto se consigue una línea recta que relaciona todos los puntos o datos seleccionados y, esta línea recta nos permite calcular valores que no se encuentran entre los datos tomados. Gracias a la ecuación de la recta se llega a dicha relación:

$$y = a + m \cdot x \quad (13)$$

Siendo a y b constantes dependientes de cada nanofluido. Para calcular estos valores se puede recurrir al método de los mínimos cuadrados:

$$a = \frac{\sum_i^n x_i \cdot \sum_i^n x_i \cdot y_i - \sum_i^n x_i^2 \cdot \sum_i^n y_i}{n \cdot \sum_i^n x_i^2 - (\sum_i^n x_i)^2} \quad (14)$$

$$m = \frac{\sum_i^n x_i^2 \cdot \sum_i^n y_i - \sum_i^n x_i \cdot \sum_i^n x_i \cdot y_i}{n \cdot \sum_i^n x_i^2 - (\sum_i^n x_i)^2} \quad (15)$$

a = ordenada en el origen

m = pendiente

n = número de datos

x_i, y_i = valores a ajustar

Cada uno de los valores de los que depende la recta tienen su error asignado. Estos se calculan como se indica en las [Ecuaciones 16 y 17](#).

$$\Delta a = \sqrt{\frac{\sum_i^n (y_i - y_i')^2 \cdot \sum_i^n x_i^2}{(n-2) \cdot [n \cdot \sum_i^n x_i^2 - (\sum_i^n x_i)^2]}} \quad (16)$$

$$\Delta m = \sqrt{\frac{\sum_i^n (y_i - y_i')^2}{(n-2) \cdot [n \cdot \sum_i^n x_i^2 - (\sum_i^n x_i)^2]}} \quad (17)$$

Además de esta relación lineal, también hay que tener en cuenta el coeficiente de correlación lineal de Pearson. Se trata de una medida estadística que determina la variación entre las variables y una recta. Según su valor indica si los datos están bien representados con respecto a la recta que los ajusta. Este coeficiente se define de la siguiente forma:

$$r = \frac{n \cdot \sum_i^n x_i \cdot y_i - \sum_i^n x_i \cdot \sum_i^n y_i}{\sqrt{[n \cdot \sum_i^n x_i^2 - (\sum_i^n x_i)^2] \cdot [n \cdot \sum_i^n y_i^2 - (\sum_i^n y_i)^2]}} \quad (18)$$

$$-1 < r < 1$$

Dependiendo del valor que tome este coeficiente mayor o menor será la correlación entre los datos. El valor es negativo cuando el valor de “x” desciende y, positivo cuando asciende. El significado de cada valor es el siguiente:

- $r = 0$ No existe correlación
- $|r| = 1$ Correlación perfecta

Cuanto más próximo esté del mayor será la aproximación de los valores a la recta.

C.I. Ajuste lineal de la conductividad térmica relativa frente a la temperatura

En las *Tablas 126-129* se muestran los valores obtenidos de la conductividad térmica relativa para cada muestra en sus diferentes temperaturas.

VALORES DE LA CONDUCTIVIDAD RELATIVA PARA LA SUSPENSIÓN AL 1% DE A200	
Temperatura (K)	Conductividad relativa
301,07	1,01468
306,03333	1,01899
310,98	1,01911
315,95667	1,01923
331,02	1,03268
360,67333	1,04241

Tabla 126. Datos de la conductividad térmica relativa para el ajuste lineal de la suspensión al 1% de A200. Fuente: Original.

VALORES DE LA CONDUCTIVIDAD RELATIVA PARA LA SUSPENSIÓN AL 2% DE A200	
Temperatura (K)	Conductividad relativa
301,07	1,03983
306,03333	1,03797
310,98	1,03185
315,95667	1,03205
331,02	1,03922
360,67333	1,05134

Tabla 127. Datos de la conductividad térmica relativa para el ajuste lineal de la suspensión al 2% de A200. Fuente: Original.

VALORES DE LA CONDUCTIVIDAD RELATIVA PARA LA SUSPENSIÓN AL 3%	
Temperatura (K)	Conductividad relativa
311,03667	1,05945
315,99333	1,05128
330,86667	1,06536
360,35667	1,08705

Tabla 128. Datos de la conductividad térmica relativa para el ajuste lineal de la suspensión al 3% de A200. Fuente: Original.

VALORES DE LA CONDUCTIVIDAD RELATIVA PARA LA SUSPENSIÓN AL 4% DE A200	
Temperatura (K)	Conductividad relativa
310,89333	1,08068
315,83667	1,08333
330,72667	1,0915
360,41667	1,09598

Tabla 129. Datos de la conductividad térmica relativa para el ajuste lineal de la suspensión al 4 % de A200. Fuente: Original.

C.I.I. Valores de los parámetros calculados con el ajuste lineal conductividad-temperatura

PARÁMETROS DEL AJUSTE LINEAL CONDUCTIVIDAD-TEMPERATURA				
Variables	Ordenada en el origen	Pendiente	R	R ²
$\varphi = 0,01$	$0,9 \pm 0,1$	$0,00048 \pm 0,00005$	0,97887	0,9582
$\varphi = 0,02$	$0,96 \pm 0,05$	$0,0002 \pm 0,0001$	0,76289	0,582001
$\varphi = 0,03$	$0,9 \pm 0,1$	$0,0007 \pm 0,0002$	0,95042	0,903298
$\varphi = 0,04$	$0,99 \pm 0,03$	$0,00030 \pm 0,00007$	0,94989	0,902291

Tabla 130. Ajuste lineal de la conductividad térmica frente a la temperatura. Fuente: Original.

C.II. Ajuste lineal de la conductividad térmica relativa frente a la fracción en volumen

En las [Tablas 131-135](#) se muestran los valores obtenidos de la conductividad térmica relativa para cada muestra en sus diferentes temperaturas.

VALORES DE LA CONDUCTIVIDAD RELATIVA PARA LA SUSPENSIÓN A LOS 35°C	
Fracción en volumen	Conductividad relativa
0	1
0,01	1,01899
0,02	1,03797
0,03	1,05063

Tabla 131. Datos de la conductividad térmica relativa para el ajuste lineal a los 35°C. Fuente: Original.

VALORES DE LA CONDUCTIVIDAD RELATIVA PARA LA SUSPENSIÓN A LOS 40°C	
Fracción en volumen	Conductividad relativa
0	1
0,01	1,01911
0,02	1,03185
0,03	1,05945
0,04	1,08068

Tabla 132. Datos de la conductividad térmica relativa para el ajuste lineal a los 40°C. Fuente: Original.

VALORES DE LA CONDUCTIVIDAD RELATIVA PARA LA SUSPENSIÓN A LOS 45°C	
Fracción en volumen	Conductividad relativa
0	1
0,01	1,01923
0,02	1,03205
0,03	1,05128
0,04	1,08333

Tabla 133. Valores de la conductividad térmica relativa para el ajuste lineal a los 45°C. Fuente: Original.

VALORES DE LA CONDUCTIVIDAD RELATIVA PARA LA SUSPENSIÓN A LOS 60°C	
Fracción en volumen	Conductividad relativa
0	1
0,01	1,03268
0,02	1,03922
0,03	1,06536
0,04	1,0915

Tabla 134. Valores de la conductividad térmica relativa para el ajuste lineal a los 60°C. Fuente: Original.

VALORES DE LA CONDUCTIVIDAD RELATIVA PARA LA SUSPENSIÓN A LOS 90°C	
Fracción en volumen	Conductividad relativa
0	1
0,01	1,04241
0,02	1,05134
0,03	1,08705
0,04	1,09598

Tabla 135. Valores de la conductividad térmica relativa para el ajuste lineal a los 90°C. Fuente: Original.

C.II.1. Valores de los parámetros calculados con el ajuste lineal conductividad-fracción en volumen

Variables	PARÁMETROS DEL AJUSTE LINEAL CONDUCTIVIDAD-FRACCIÓN EN VOLUMEN			
	Ordenada en el origen	Pendiente	R	R ²
T=35°C	1,001 ± 0,002	1,7 ± 0,1	0,99591	0,99183
T=40°C	0,998 ± 0,003	2,0 ± 0,1	0,99369	0,98742
T=45°C	0,997 ± 0,005	2,0 ± 0,2	0,98624	0,97267
T=60°C	1,003 ± 0,005	2,2 ± 0,2	0,98606	0,97231
T=90°C	1,008 ± 0,008	2,4 ± 0,3	0,97383	0,94834

Tabla 136. Ajuste lineal de la conductividad térmica frente a la fracción en volumen. Fuente: Original.

ANEXO D. CÁLCULO DE LA VISCOSIDAD

En este apartado se muestran los datos recopilados sobre la viscosidad del fluido.

D.I. Barridos de temperatura

Estudio de la viscosidad a velocidad de cizalla constante y temperatura variable.

EXPERIMENTO 3

Este experimento corresponde a la muestra de aceite de coco al 50% y aceite de girasol al 50% (AC50AG50), es decir, al fluido base. La velocidad de cizalla es de $5s^{-1}$ y la velocidad de transferencia de calor es de $0,5^{\circ}C/min$. El rango de temperatura va desde los $35^{\circ}C$ hasta los $10^{\circ}C$.

BARRIDO DE TEMPERATURA $5s^{-1}$ y $0,5^{\circ}C/min$			
CRISTALIZACIÓN		FUSIÓN	
Temperatura ($^{\circ}C$)	Viscosidad (Pa·s)	Temperatura ($^{\circ}C$)	Viscosidad (Pa·s)
34,6	0,05072	12,6	14,03
34,03333	0,0516	14,56667	7,726
33,53333	0,05202	14,73333	6,81633
33	0,05256	15	6,022
32,5	0,05315	15,13333	5,391
32	0,05419	15,2	5,23767
31,5	0,05512	15,93333	5,001
31	0,05577	16,7	4,46067
30,5	0,05592	17,33333	3,76233
30	0,05839	18,53333	2,36867
29,56667	0,05977	19,03333	1,31263
29	0,05994	19,5	0,41573

28,5	0,06264	20	0,21817
28	0,06269	20,5	0,13823
27,5	0,06352	21	0,09641
27	0,06591	21,5	0,07558
26,5	0,06834	22	0,06307
26,03333	0,06909	22,5	0,05899
25,5	0,07404	23	0,05802
25	0,07446	23,5	0,0571
24,5	0,0771	24	0,05678
24	0,07756	24,5	0,05557
23,5	0,07982	25	0,05395
23	0,08377	25,5	0,05306
22,53333	0,08605	26	0,05283
22	0,09379	26,5	0,0509
21,5	0,12463	27	0,05086
21	0,44337	27,5	0,0508
20,5	0,87775	28	0,05038
20	1,90647	28,5	0,05031
19,5	3,64713	29	0,05026
19	5,2666	29,5	0,04822
18,5	0,05072	30	0,04812
18	0,0516	30,5	0,04789
17,5	0,05202	31	0,04581
17	0,05256	31,5	0,04473
16,5	0,05315	32,03333	0,04431
16	0,05419	32,5	0,04182
15,5	0,05512	33	0,04155
15,03333	0,05577	33,5	0,04082
14,56667	0,05592	34	0,0398
14,03333	0,05839	34,5	0,03963
13,56667	0,05977	31,5	0,04473
13,13333	0,05994	32,03333	0,04431

12,63333	0,06264	32,5	0,04182
12,2	0,06269	33	0,04155
11,6	0,06352	33,5	0,04082
11,05	0,06591	34	0,0398
10,5	0,06834	34,5	0,03963

Tabla 137. Datos de viscosidad para el aceite de coco 50% y aceite de girasol 50% durante el barrido de temperatura a 5s-1, 0,5°C/min, desde los 35 a los 10°C. Fuente: Original.

EXPERIMENTO 6

Este experimento corresponde a la muestra de aceite de coco al 50%, aceite de girasol al 50% y 1% de A200 (AC50AG50 + 1% A200). La velocidad de cizalla es de $5s^{-1}$ y la velocidad de transferencia de calor es de $0,5^{\circ}C/min$. El rango de temperatura va desde los $35^{\circ}C$ hasta los $10^{\circ}C$.

BARRIDO DE TEMPERATURA 5s-1 y 0,5°C/min			
CRISTALIZACIÓN		FUSIÓN	
Temperatura (°C)	Viscosidad (Pa·s)	Temperatura (°C)	Viscosidad (Pa·s)
34,6	0,3371	10,3	110,6
34	0,3417	11	106,9
33,5	0,3424	11,5	106,6
33	0,345	12	102,5
32,5	0,3463	12,5	83,97
32	0,3466	13	70,11
31,5	0,348	13,5	52,01
31	0,3484	14	43,53
30,5	0,3484	14,5	37,2
30	0,3503	15	34,89
29,5	0,3511	15,5	34,68
29	0,3514	16	33,87
28,5	0,3528	16,5	21,9

28	0,3531	17	14,04
27,5	0,3534	17,4	8,513
27	0,3536	18	5,535
26,5	0,3544	18,5	3,466
26	0,3553	19	2,153
25,5	0,3554	19,5	1,187
25	0,3565	20	0,6967
24,5	0,3572	20,5	0,5208
24	0,3577	21	0,4748
23,5	0,3585	21,5	0,471
23	0,3588	22	0,4669
22,5	0,3595	22,5	0,4648
22	0,3599	23	0,4642
21,5	0,362	23,5	0,4622
21	0,3626	24	0,4613
20,5	0,3634	24,5	0,4574
20	0,3654	25	0,4569
19,5	0,3678	25,5	0,4554
19	0,3686	26	0,454
18,5	0,3688	26,5	0,4536
18	0,3691	27	0,4519
17,5	0,3692	27,5	0,4512
17	0,3692	28	0,451
16,5	0,3779	28,5	0,4508
16	0,3798	29	0,4493
15,5	0,381	29,5	0,4462
15	0,3837	30	0,4455
14,5	0,3848	30,5	0,4441
14,1	0,3888	31	0,4423
13,6	0,3902	31,5	0,4418
13,1	0,3906	32	0,4408
12,6	0,3911	32,5	0,4331

12,2	0,3936	33	0,4278
11,7	0,3938	33,5	0,4276
11,4	0,4162	34	0,4275
11	1,745	34,5	0,425
10,9	20,57	--	--
10,8	69,13	--	--
10,7	85,98	--	--
10,4	86,07	--	--
10,3	95,09	--	--

Tabla 138. Datos de viscosidad para el aceite de coco 50%, aceite de girasol 50% y 1% de A200 durante el barrido de temperatura a 5s-1, 0,5°C/min, desde los 35 a los 10°C.

EXPERIMENTO 7

Este experimento corresponde a la muestra de aceite de coco al 50%, aceite de girasol al 50% y 2% de A200 (AC50AG50 + 2% A200). La velocidad de cizalla es de 5s⁻¹ y la velocidad de transferencia de calor es de 0,5°C/min. El rango de temperatura va desde los 35°C hasta los 10°C.

BARRIDO DE TEMPERATURA 5s-1 y 0,5°C/min			
CRISTALIZACIÓN		FUSIÓN	
Temperatura (°C)	Viscosidad (Pa·s)	Temperatura (°C)	Viscosidad (Pa·s)
34,6	1,818	10,5	176
34	2,487	11	128,8
33,5	2,991	11,6	100,6
33	3,207	12	78,18
32,5	3,487	12,5	71,41
32	3,704	13	62,03
31,6	3,874	13,4	61,51
31	4,153	13,9	57,92
30,5	4,259	14,5	49,28
30	4,358	15	48,53

29,5	4,585	15,5	46,66
29	4,661	16	44,69
28,5	4,711	16,5	44,49
28	4,856	17	43,06
27,5	4,871	17,5	33,64
27	5,031	18	23,1
26,5	5,217	18,5	17,74
26	5,313	19	11,4
25,5	5,354	19,5	7,292
25	5,502	20	5,909
24,5	5,559	20,5	5,769
24	5,669	21	5,682
23,5	5,681	21,5	5,516
23	5,756	22	5,424
22,5	5,787	22,5	5,297
22	5,844	23	5,281
21,5	5,858	23,5	5,196
21	5,917	24	5,152
20,5	5,932	24,5	5,086
20	5,936	25	5,083
19,5	6,008	25,5	5,034
19	6,027	26	5,006
18,5	6,036	26,5	4,88
18	6,06	27	4,692
17,5	6,064	27,5	4,557
17	6,103	28	4,517
16,5	6,138	28,5	4,516
16	6,142	29	4,494
15,5	6,168	29,5	4,458
15	6,18	30	4,294
14,5	6,216	30,5	4,151
14	6,232	31	4,101

13,6	6,306	31,5	4,048
13,1	6,517	32	4,031
12,6	7,072	32,5	3,989
12,1	8,622	33	3,964
11,6	16,89	33,5	3,889
11	25,58	34	3,679
10,5	55,93	34,5	3,617
10,1	153,9	34,5	3,617

Tabla 139. Datos de viscosidad para el aceite de coco 50%, aceite de girasol 50% y 2% de A200 durante el barrido de temperatura a 5s-1, 0,5°C/min, desde los 35 a los 10°C. Fuente: Original.

EXPERIMENTO 8

Este experimento corresponde a la muestra de aceite de coco al 50%, aceite de girasol al 50% y 3% de A200 (AC50AG50 + 3% A200). La velocidad de cizalla es de 5s⁻¹ y la velocidad de transferencia de calor es de 0,5°C/min. El rango de temperatura va desde los 37°C hasta los -2°C.

BARRIDO DE TEMPERATURA 5s-1 y 0,5°C/min			
CRISTALIZACIÓN		FUSIÓN	
Temperatura (°C)	Viscosidad (Pa·s)	Temperatura (°C)	Viscosidad (Pa·s)
36,98667	11,56667	-2,05233	9,329
35,40667	10,32333	-0,50767	10,287
33,74667	9,688	1,14967	38,18333
32,11667	9,364	2,807	77,25
30,47333	9,736	4,47133	124,16
28,88	9,57367	6,11167	128,63
27,25	9,98167	7,75567	110,54333
25,62	10,19067	9,383	89,83667
24,01667	10,256	11,01333	74,31667
22,37333	9,707	12,63333	60,38333
20,76	9,32033	14,25333	58,73333

19,11667	9,667	15,87667	58,24
17,50667	9,55367	17,50333	58,53667
15,90333	10,47567	19,12667	76,62667
14,29667	10,682	20,75333	27,29333
12,69	10,94633	22,41667	20,21667
11,05	10,96033	23,99667	20,56333
9,409	13,92333	25,62333	16,58
7,755	26,73333	27,22333	15,02333
6,082	129,91333	28,87333	14,11333
4,395	238,63333	30,49333	13,39667
2,691	302,73333	32,12667	12,22867
1,068	219,83333	33,76	11,57333
-0,68867	91,62667	35,37667	10,601
-2,212	38,45333	37	9,841

Tabla 140. Datos de viscosidad para el aceite de coco 50%, aceite de girasol 50% y 3% de A200 durante el barrido de temperatura a 5s-1, 0,5°C/min, desde los 37 a los -2°C. Fuente: Original.

EXPERIMENTO 9

Este experimento corresponde a la muestra de aceite de coco al 50%, aceite de girasol al 50% y 4% de A200 (AC50AG50 + 4% A200). La velocidad de cizalla es de 5s⁻¹ y la velocidad de transferencia de calor es de 0,5°C/min. El rango de temperatura va desde los 37°C hasta los 5°C.

BARRIDO DE TEMPERATURA 5s-1 y 0,5°C/min			
CRISTALIZACIÓN		FUSIÓN	
Temperatura (°C)	Viscosidad (Pa·s)	Temperatura (°C)	Viscosidad (Pa·s)
37,00333	20,90667	--	--
35,49667	20,92	7,013	239,9
34,01	20,95	8,52467	239,2
32,50333	21,17	10,01333	224,93333
31,01333	21,35333	11,51333	212,36667

29,49333	21,37333	13,00333	198
28,00333	21,72667	14,5	169,46667
26,47667	22,01333	16	139
25,01	22,20667	17,49	115,26667
23,50333	22,38	19,00667	90,56667
22,02	22,63333	20,5	57,18
20,48667	22,85333	22,01667	24,22333
18,99333	23,19667	23,49	18,08
17,50667	23,62667	24,99	17,80333
16,01333	24,03	26,48333	17,41
14,53	24,48	28,01667	17,24667
13,04	25,35333	29,5	16,56
11,54667	26,33333	30,99667	15,92667
10,04667	28,56	32,49333	15,36
8,51933	40,70333	34,00333	15,22
6,98467	142,36333	35,49333	15,03333
5,45333	454,03333	37	15,02

Tabla 141. Datos de viscosidad para el aceite de coco 50%, aceite de girasol 50% y 4% de A200 durante el barrido de temperatura a 5s-1, 0,5°C/min, desde los 37 a los 5°C- Fuente: Original.

D.II. Curvas de flujo

Estudio de la viscosidad a velocidad de cizalla variable y temperatura constante.

EXPERIMENTO 1

Este experimento se ha realizado manteniendo la temperatura de 35°C constantes y variando la velocidad de cizalla entre 0,01 s⁻¹ y 1200 s⁻¹ para todas las suspensiones y el fluido base.

CURVAS DE FLUJO A 35°C					
Velocidad de cizalla	AG50AC50	AG50AC50 + 1% A200	AG50AC50 + 2% A200	AG50AC50 + 3% A200	AG50AC50 + 4% A200
0,009996	0,9783	1,59216667	33,6333333	472,6	1684,5
0,01794	0,5788	1,2957	24,4933333	425,1	1431
0,03219	0,2048	0,94353333	16,6733333	289,8	875,9
0,05777	0,1795	0,61506667	10,6366667	168,4	457,1
0,1037	0,0675	0,52573333	6,64433333	97,04	269,1
0,186	0,06584	0,34833333	4,159	60,11	169,75
0,3339	0,05694	0,26803333	2,63933333	40,38	114
0,5992	0,0558	0,1994	1,711	27,6	76,175
1	0,05313	0,23536667	1,14066667	17,05	45,715
2	0,05248	0,13076667	0,79143333	9,69	25,75
3	0,05158	0,10907667	0,57223333	5,626	14,835
6	0,079377	0,18307333	0,50833333	3,344	8,836
11,15	0,04615	0,09041667	0,33146667	2,065	5,328
20,01	0,04095	0,07949667	0,26583333	1,332	3,315
35,91	0,04071	0,07920667	0,22463333	0,898	2,0785
64,45	0,04042	0,11169667	0,25066667	0,637	1,446
115,7	0,0404	0,10116	0,20216667	0,474	0,9905
207,6	0,0404	0,0752	0,15152667	0,365	0,757
372,5	0,03957	0,06666333	1,02976667	0,29	0,557
668,4	0,03952	0,06382	0,34803333	0,236	0,382
1200	0,03697	0,06189667	0,12609	0,191	0,2645

Tabla 142. Curva de flujo de todas las suspensiones y el fluido base a 35°C. Fuente: Original.

EXPERIMENTO 2

Este experimento se ha realizado manteniendo la temperatura de 30°C constantes y variando la velocidad de cizalla entre $0,01 \text{ s}^{-1}$ y 1200 s^{-1} para todas las suspensiones y el fluido base.

CURVAS DE FLUJO A 30°C					
Velocidad de cizalla	AG50AC50	AG50AC50 + 1% A200	AG50AC50 + 2% A200	AG50AC50 + 3% A200	AG50AC50 + 4% A200
0,009996	0,63703	1,6385	40,63	484,6	2193,5
0,01794	0,31310	1,2071	28,71	460,5	2141
0,03219	0,21317	0,89245	19,47	320,8	1262
0,05777	0,10315	0,7034	12,27	187,5	607,15
0,1037	0,08923	0,51925	7,52367	108	352,35
0,186	0,07964	0,4001	4,65133	66,47	225
0,3339	0,07498	0,29535	2,93533	44,16	151,35
0,5992	0,05945	0,21605	1,894	29,7	98,155
1,075	0,05755	0,1697	1,25167	17,99	56,875
1,92966667	0,05706	0,1375	0,86303	10,1	31,475
3,46266667	0,05673	0,12665	0,61593	5,796	17,77
6,21466667	0,07175	0,20875	0,53933	3,436	10,355
11,15	0,04933	0,08947	0,3519	2,105	6,186
20,01	0,04706	0,08509	0,28413	1,351	3,815
35,91	0,04646	0,08263	0,23327	0,903	2,445
64,45	0,04637	0,1261	0,25597	0,637	1,638
115,7	0,04604	0,1067	0,192	0,473	1,147
207,6	0,04588	0,07959	0,15186	0,366	0,835
372,5	0,04534	0,0713	2,214	0,294	0,625
668,4	0,04457	0,07035	0,43646667	0,244	0,472
1200	0,04321	0,06932	0,12877	0,202	0,346

Tabla 143. Curva de flujo de todas las suspensiones y el fluido base a 30°C. Fuente: Original.

EXPERIMENTO 3

Este experimento se ha realizado manteniendo la temperatura de 28°C constantes y variando la velocidad de cizalla entre $0,01 \text{ s}^{-1}$ y 1200 s^{-1} para todas las suspensiones y el fluido base.

CURVAS DE FLUJO A 28°C					
Velocidad de cizalla	AG50AC50	AG50AC50 + 1% A200	AG50AC50 + 2% A200	AG50AC50 + 3% A200	AG50AC50 + 4% A200
0,00999567	0,19176	1,61787	44,24333	531,2	2309
0,01794	0,28157	1,3872	31,2	485,8	2197
0,03219	0,20567	0,95567	20,91	336,8	1366
0,05777	0,09342	0,80423	13,18	196	637,45
0,1037	0,10394	0,55117	8,02533	112,7	366,8
0,186	0,08957	0,40847	4,946	68,67	233,55
0,3339	0,08361	0,29313	3,11733	45,1	156,8
0,5992	0,06884	0,22343	2,00267	30,11	101,05
1,075	0,07328	0,1732	1,32233	18,22	58,155
1,92966667	0,0639	0,14243	0,91113	10,24	32,01
3,46266667	0,0756	0,1249	0,64633	5,859	18,01
6,21333333	0,1328	0,12112	0,39523	3,471	10,48
11,15	0,06193	0,09952	0,36963	2,128	6,259
20,01	0,05486	0,08907	0,29417	1,361	3,8535
35,91	0,04831	0,07767	0,24343	0,908	2,463
64,45	0,05	0,13093	0,25867	0,639	1,642
115,7	0,04992	0,1089	0,19737	0,474	1,1465
207,6	0,04856	0,08305	0,15831	0,367	0,8345
372,5	0,04823	0,07499	1,5866	0,295	0,628
668,4	0,04666	0,07326	0,3858	0,246	0,482
1200	0,04542	0,07302	0,14223	0,205	0,3625

Tabla 144. Curva de flujo de todas las suspensiones y el fluido base a 28°C. Fuente: Original.

EXPERIMENTO 4

Este experimento se ha realizado manteniendo la temperatura de 26°C constantes y variando la velocidad de cizalla entre $0,01 \text{ s}^{-1}$ y 1200 s^{-1} para todas las suspensiones y el fluido base

CURVAS DE FLUJO A 26°C					
Velocidad de cizalla	AG50AC50	AG50AC50 + 1% A200	AG50AC50 + 2% A200	AG50AC50 + 3% A200	AG50AC50 + 4% A200
0,00999567	0,3450	2,1415	48,42	576,8	2611
0,01794	0,2799	1,4715	34,04	529,3	2290
0,03219	0,16026	1,298	22,70333	364	1445,5
0,05777	0,09564	0,7831	14,2	211,2	661,75
0,1037	0,08593	0,5684	8,67567	120,2	376,6
0,18603333	0,08263	0,40247	5,37433	73,25	240,2
0,3339	0,08169	0,2883	3,372	48,24	161,35
0,5992	0,07463	0,22483	2,166	31,82	104,15
1,075	0,06252	0,18027	1,42767	18,98	59,835
1,92966667	0,06251	0,1601	0,9722	10,59	32,895
3,46233333	0,05858	0,12893	0,69643	6,064	18,49
6,21433333	0,12669	0,19197	0,5136	3,585	10,765
11,15	0,05831	0,10577	0,39013	2,187	6,418
20,01	0,05456	0,09685	0,3304	1,388	3,9395
35,91	0,0535	0,12696	0,27	0,928	2,5195
64,45	0,05285	0,1591	0,25667	0,652	1,6775
115,7	0,0528	0,1139	0,20407	0,482	1,167
207,6	0,05245	0,08676	0,17405	0,373	0,8485
372,5	0,05235	0,07918	2,1135	0,301	0,6405
668,4	0,05204	0,07714	0,32541	0,252	0,4945
1200	0,05167	0,07751	0,14407	0,213	0,376

Tabla 145. Curva de flujo de todas las suspensiones y el fluido base a 26°C. Fuente: Original.

EXPERIMENTO 5

Este experimento se ha realizado manteniendo la temperatura de 24°C constantes y variando la velocidad de cizalla entre $0,01 \text{ s}^{-1}$ y 1200 s^{-1} para todas las suspensiones y el fluido base.

CURVAS DE FLUJO A 24°C					
Velocidad de cizalla	AG50AC50	AG50AC50 + 1% A200	AG50AC50 + 2% A200	AG50AC50 + 3% A200	AG50AC50 + 4% A200
0,00999767	0,27557	2,174	52,07	586,5	2714,5
0,01794	0,18571	1,61033	36,33333	531,8	2522
0,03219	0,15593	1,30843	24,65	373,5	1565
0,05777	0,142	0,95993	15,38333	216,1	705,25
0,1037	0,093	0,71063	9,37367	123,5	402,35
0,186	0,08697	0,48943	5,743	75,05	255,95
0,3339	0,08139	0,35527	3,608	49,02	170,55
0,5992	0,07332	0,2593	2,31133	32,51	108,55
1,075	0,06864	0,19787	1,51767	19,51	61,685
1,92966667	0,06769	0,15913	1,03567	10,9	33,865
3,46266667	0,06536	0,1432	0,7336	6,232	19,025
6,214	0,09695	0,18043	0,48347	3,691	11,065
11,15	0,06473	0,1141	0,4122	2,262	6,5945
20,01	0,05974	0,10513	0,328	1,437	4,0635
35,91	0,05861	0,09655	0,27753	0,962	2,593
64,45	0,05848	0,14553	0,26927	0,676	1,724
115,7	0,05714	0,11657	0,2127	0,499	1,198
207,6	0,05598	0,1005	0,16397	0,387	0,8695
372,5	0,05546	0,08444	1,57073333	0,312	0,657
668,4	0,05534	0,08329	0,2528	0,262	0,509
1200	0,05043	0,0823	0,12205	0,222	0,391

Tabla 146. Curva de flujo de todas las suspensiones y el fluido base a 24°C. Fuente: Original.

EXPERIMENTO 6

Este experimento se ha realizado manteniendo la temperatura de 22°C constantes y variando la velocidad de cizalla entre $0,01 \text{ s}^{-1}$ y 1200 s^{-1} para todas las suspensiones y el fluido base.

CURVAS DE FLUJO A 22°C					
Velocidad de cizalla	AG50AC50	AG50AC50 + 1% A200	AG50AC50 + 2% A200	AG50AC50 + 3% A200	AG50AC50 + 4% A200
0,00999467	0,553566667	2,387	56,29	600,7	2764,5
0,01794	0,33729	1,441	39,44333	549,3	2542
0,03219	0,156006667	1,125	26,59	389	1655
0,05776667	0,101606667	0,858	16,53667	226,2	698,35
0,1037	0,10161	0,5507	10,04867	129,6	437,55
0,18603333	0,09294	0,454	6,17433	79,14	252,3
0,3339	0,09144	0,3216	3,86267	51,79	170,3
0,5992	0,09003	0,2363	2,47567	34,15	109,7
1,075	0,08824	0,2038	1,62	20,29	62,745
1,92966667	0,08426	0,1786	1,09967	11,29	34,47
3,462	0,08424	0,1479	0,7994	6,462	19,365
6,213	0,060673333	0,1117	0,64503	3,825	11,29
11,15	0,057876667	0,1111	0,44123	2,346	6,742
20,01	0,06492	0,1019	0,35063	1,502	4,15
35,91	0,05947	0,1507	0,28583	1,001	2,652
64,45	0,05788	0,121	0,28967	0,706	1,764
115,7	0,05588	0,09624	0,2251	0,521	1,2245
207,6	0,05536	0,09003	0,17035	0,403	0,89
372,5	0,05458	0,08884	1,36543333	0,325	0,6735
668,4	0,05443	0,0877	0,52336667	0,273	0,5245
1200	0,05382	2,387	0,1573	0,231	0,405

Tabla 147. Curva de flujo de todas las suspensiones y el fluido base a 22°C. Fuente: Original.

EXPERIMENTO 7

Este experimento se ha realizado manteniendo la temperatura de 20°C constantes y variando la velocidad de cizalla entre $0,01 \text{ s}^{-1}$ y 1200 s^{-1} para todas las suspensiones y el fluido base.

CURVAS DE FLUJO A 20°C					
Velocidad de cizalla	AG50AC50	AG50AC50 + 1% A200	AG50AC50 + 2% A200	AG50AC50 + 3% A200	AG50AC50 + 4% A200
0,009996	0,603333333	3,266	58,32	585,1	2766,5
0,01794	0,396066667	2,341	41,35333	568,2	2573,5
0,03219	0,202773333	1,822	27,72	400,8	1683,5
0,05777	0,146283333	1,26367	17,41	234,3	755,2
0,1037	0,14628	0,92107	10,57667	134,3	427,2
0,186	0,10689	0,65387	6,49833	81,89	272,95
0,3339	0,10155	0,47647	4,08767	53,91	181,35
0,5992	0,09764	0,34493	2,63433	35,52	114,25
717,025	0,09102	0,25793	1,73367	21,06	64,575
644,286333	0,09082	0,21483	1,17067	11,69	35,435
2309,48733	0,07361	0,1929	0,8404	6,697	19,895
4144,73833	0,082503	0,20647	0,68137	3,976	11,61
11,15	0,0686	0,14177	0,45827	2,441	6,949
20,01	0,06356	0,12747	0,36987	1,565	4,272
35,91	0,06144	0,12023	0,30563	1,047	2,7295
64,45	0,06131	0,17103	0,30593	0,737	1,8135
115,7	0,05968	0,1308	0,23823	0,544	1,2585
207,6	0,05852	0,10483	0,18827	0,42	0,914
372,5	0,05839	0,09657	1,20233333	0,34	0,694
668,4	0,0582	0,09379	0,49196667	0,286	0,5425
1200	0,05771	0,09212	0,17393	0,243	0,4195

Tabla 148. Curva de flujo de todas las suspensiones y el fluido base a 20°C. Fuente: Original.

EXPERIMENTO 8

Este experimento se ha realizado manteniendo la temperatura de 18°C constantes y variando la velocidad de cizalla entre $0,01 \text{ s}^{-1}$ y 1200 s^{-1} para todas las suspensiones y el fluido base.

CURVAS DE FLUJO A 18°C					
Velocidad de cizalla	AG50AC50	AG50AC50 + 1% A200	AG50AC50 + 2% A200	AG50AC50 + 3% A200	AG50AC50 + 4% A200
0,009996	0,723233333	2,43567	60,91667	668,7	2764
0,01794	0,229475	2,129	43,02	626,9	2804,5
0,03219333	0,17596	1,63767	28,96667	450,8	1813
0,05777	0,158773333	1,25	18,07333	266,1	823,95
0,1037	0,1264	0,8913	11,05333	155,8	460,6
0,186	0,11133	0,64133	6,81433	96,57	294,7
0,3339	0,10325	0,46603	4,27967	61,78	195,1
0,5992	0,10204	0,35113	2,754	39,68	122,15
717,025	0,10097	0,2814	1,822	23,39	69,07
644,286667	0,09516	0,23133	1,24933	12,99	37,96
2309,48767	0,08793	0,18133	0,8939	7,44	21,31
4144,40433	0,12373	0,20545	0,5887	4,392	12,4
11,15	0,07203	0,14367	0,49897	2,669	7,3625
20,01	0,07144	0,1274	0,39443	1,682	4,5005
35,91	0,07111	0,12053	0,3282	1,116	2,864
64,45	0,06469	0,1751	0,31633	0,782	1,898
115,7	0,06306	0,13443	0,25387	0,575	1,3155
207,6	0,0629	0,1091	0,1811	0,444	0,955
372,5	0,06229	0,10071	2,63133333	0,359	0,726
668,4	0,06086	0,09944	0,39723333	0,303	0,57
1200	0,06082	0,09809	0,1963	0,257	0,4465

Tabla 149. Curva de flujo de todas las suspensiones y el fluido base a 18°C. Fuente: Original.

EXPERIMENTO 9

Este experimento se ha realizado manteniendo la temperatura de 16°C constantes y variando la velocidad de cizalla entre $0,01 \text{ s}^{-1}$ y 1200 s^{-1} para todas las suspensiones y el fluido base.

CURVAS DE FLUJO A 16°C					
Velocidad de cizalla	AG50AC50	AG50AC50 + 1% A200	AG50AC50 + 2% A200	AG50AC50 + 3% A200	AG50AC50 + 4% A200
0,009995	10,37466667	161,49367	1624,05	4280	2833
0,01794	7,266666667	112,80733	1230,3	938,92333	2616
0,03219	4,353333333	79,822	820,6	750,23333	1895,5
0,05776667	2,312666667	57,303	543,30333	772,73333	1680,5
0,1037	1,196533333	42,22467	368,76667	866,53333	756
0,186	0,703866667	32,17033	253,64667	864,16667	548
0,3339	0,419266667	25,47853	166,57	702,63333	268,5
0,5992	0,282966667	21,25093	105,34667	545,89667	188,35
1,075	0,183633333	16,4203	66,77667	385,89667	87,25
1,93	0,1209	9,95253	40,07333	249,32667	62,05
3,46233333	0,11787	6,05397	24,368	148,09	42,2
6,21333333	0,10337	3,7809	16,19933	79,234	18,45
11,15	0,079603333	2,4712	10,46867	39,04733	8,975
20,01	0,076933333	1,65467	5,51733	19,60333	4,315
35,91	0,0796	1,11057	2,969	10,13367	3,04
64,45	0,07868	0,73177	1,765	5,39367	2,5815
115,7	0,07693	0,45253	1,10807	3,057	1,703
207,6	0,07261	0,30373	0,7192	1,835	1,008
372,5	0,07103	0,22017	0,4761	1,144	0,9375
668,4	0,07007	0,16737	0,33173333	0,74167	0,57
1200	0,06899	0,13983	0,21963	0,48567	0,4775

Tabla 150. Curva de flujo de todas las suspensiones y el fluido base a 16°C. Fuente: Original.

EXPERIMENTO 8

Este experimento se ha realizado manteniendo la temperatura de 14°C constantes y variando la velocidad de cizalla entre $0,01 \text{ s}^{-1}$ y 1200 s^{-1} para todas las suspensiones y el fluido base.

CURVAS DE FLUJO A 14°C					
Velocidad de cizalla	AG50AC50	AG50AC50 + 1% A200	AG50AC50 + 2% A200	AG50AC50 + 3% A200	AG50AC50 + 4% A200
0,00993733	3808	6611,33	12573,3	110500	12957,5
0,01781	2047	4599,67	4014,3	61830	12884
0,03219	1141,233333	3779,67	3259,67	13830	12957
0,05778667	676,2	2756,367	2202,67	-	11494,5
0,1037	413,4	1753,03	1447,9	-	8333,5
0,18606667	260,2333333	1244,167	889,83333	-	5141
0,33386667	161,74	781,5	523,33333	1253	4030
0,59913333	91,99333333	442,66667	301,3	862,6	3410,5
1,075	68,17333333	220,45333	174,96667	487,2	1286,7
1,93	62,41	121,68	102,56667	240,1	541
3,46233333	25,83666667	69,79333	61,08667	122	245,05
6,216	17,149	42,65667	36,19667	60,81	119,04
11,15	7,741	25,88667	20,21667	-	54,99
20,01	5,188333333	15,766	11,546	29,56	22,91
35,916667	3,684666667	9,88	5,94467	14,86	9,9145
64,4433333	2,342666667	6,337	2,966	8,274	4,3695
115,7	1,342966667	4,18633	1,52367	4,556	2,7795
207,6	0,667033333	2,23727	0,8955	2,765	1,108
372,5	0,432	0,9167	0,56753333	1,687	0,9375
668,4	0,336733333	0,57327	0,38403333	1,124	0,6545
1200	0,254833333	0,36917	0,25683	29,56	0,69654

Tabla 151. Curva de flujo de todas las suspensiones y el fluido base a 14°C. Fuente: Original.

ANEXO E. AJUSTES LINEALES PARA LA VISCOSIDAD

Siguiendo el mismo procedimiento que en el *Anexo C*, se han realizado los ajustes lineales para la viscosidad relativa de cada muestra. Se realizaron para una velocidad de cizalla de 1200s^{-1} , la que mejor se ajustaba a la velocidad del taladro.

E.I. Ajuste lineal para la viscosidad relativa frente a la concentración

VALORES DE LA CONDUCTIVIDAD RELATIVA PARA LA SUSPENSIÓN A LOS 35°C	
Fracción en volumen	Viscosidad relativa
0	1
0,01	1,67433
0,02	3,4106
0,03	5,16635
0,04	7,15445

Tabla 152. Valores de la viscosidad relativa para el ajuste lineal a los 35°C. Fuente: Original.

VALORES DE LA VISCOSIDAD RELATIVA PARA LA SUSPENSIÓN A LOS 30°C	
Fracción en volumen	Viscosidad relativa
0	1
0,01	1,60426
0,02	2,9801
0,03	4,67484
0,04	8,00741

Tabla 153. Valores de la viscosidad relativa para el ajuste lineal a los 30°C. Fuente: Original.

VALORES DE LA VISCOSIDAD RELATIVA PARA LA SUSPENSIÓN A LOS 28°C	
Fracción en volumen	Viscosidad relativa
0	1,60766
0,01	3,13144
0,02	4,51343
0,03	7,98107
0,04	1,60766

Tabla 154. Valores de la viscosidad relativa para el ajuste lineal a los 28°C. Fuente: Original.

VALORES DE LA VISCOSIDAD RELATIVA PARA LA SUSPENSIÓN A LOS 26°C	
Fracción en volumen	Viscosidad relativa
0	1
0,01	1,49294
0,02	2,78827
0,03	4,12231
0,04	7,27695

Tabla 155. Valores de la viscosidad relativa para el ajuste lineal a los 26°C. Fuente: Original.

VALORES DE LA VISCOSIDAD RELATIVA PARA LA SUSPENSIÓN A LOS 24°C	
Fracción en volumen	Viscosidad relativa
0	1
0,01	1,63197
0,02	2,42019
0,03	4,40214
0,04	7,75332

Tabla 156. Valores de la viscosidad relativa para el ajuste lineal a los 24°C. Fuente: Original.

VALORES DE LA VISCOSIDAD RELATIVA PARA LA SUSPENSIÓN A LOS 22°C	
Fracción en volumen	Viscosidad relativa
0	1
0,01	1,62951
0,02	2,92271
0,03	4,29208
0,04	7,52508

Tabla 157. Valores de la viscosidad relativa para el ajuste lineal a los 22°C. Fuente: Original.

VALORES DE LA VISCOSIDAD RELATIVA PARA LA SUSPENSIÓN A LOS 20°C	
Fracción en volumen	Viscosidad relativa
0	1
0,01	1,59626
0,02	3,01386
0,03	4,21071
0,04	7,2691

Tabla 158. Valores de la viscosidad relativa para el ajuste lineal a los 20°C. Fuente: Original.

VALORES DE LA VISCOSIDAD RELATIVA PARA LA SUSPENSIÓN A LOS 18°C	
Fracción en volumen	Viscosidad relativa
0	1
0,01	1,61279
0,02	3,22756
0,03	4,22558
0,04	7,34134

Tabla 159. Valores de la viscosidad relativa para el ajuste lineal a los 18°C. Fuente: Original.

VALORES DE LA VISCOSIDAD RELATIVA PARA LA SUSPENSIÓN A LOS 16°C	
Fracción en volumen	Viscosidad relativa
0	1
0,01	2,02682
0,02	3,1835
0,03	--
0,04	6,92129

Tabla 160. Valores de la viscosidad relativa para el ajuste lineal a los 16°C. Fuente: Original.

E.I.I. Valores de los parámetros calculados con el ajuste lineal viscosidad-fracción en volumen

PARÁMETROS DEL AJUSTE LINEAL VISCOSIDAD-FRACCIÓN EN VOLUMEN				
Variables	Ordenada en el origen	Pendiente	R	R²
T=35°C	0,7 ± 0,3	142 ± 18	0,9833	0,96688
T=30°C	0,7 ± 0,3	124 ± 18	0,98058	0,96153
T=28°C	0,8 ± 0,3	121 ± 14	0,98615	0,972491
T=26°C	0,7 ± 0,3	107 ± 14	0,98236	0,96503
T=24°C	0,7 ± 0,4	110 ± 23	0,96035	0,92227
T=22°C	0,8 ± 0,2	112 ± 12	0,98787	0,97589
T=20°C	0,80 ± 0,22	110 ± 12	0,98837	0,97688
T=18°C	0,8 ± 0,2	113 ± 13	0,98707	0,97431
T=16°C	0,98 ± 0,05	109 ± 4	0,99941	0,99882

Tabla 161. Ajuste lineal de la viscosidad frente a la fracción en volumen. Fuente: Original.