



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

**“ANÁLISIS TERMOGRÁFICO EN UN INTERCAMBIADOR DE
CALOR UTILIZANDO ÓXIDO DE GRAFENO”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO/A EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

AUTORES:

BLADIMIR ORLANDO LEMA LOZADA

KERLY ANDREA TOAPANTA CAJAS

Riobamba-Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

“ANÁLISIS TERMOGRÁFICO EN UN INTERCAMBIADOR DE CALOR UTILIZANDO ÓXIDO DE GRAFENO”

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO/A EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

AUTORES: BLADIMIR ORLANDO LEMA LOZADA

KERLY ANDREA TOAPANTA CAJAS

DIRECTOR: Ing. EDISSON FERNANDO CALDERÓN FREIRE MSc.

Riobamba – Ecuador

2022

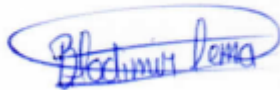
© 2022, **Bladimir Orlando Lema Lozada y Kerly Andrea Toapanta Cajas**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.


Nosotros, Bladimir Orlando Lema Lozada, y Kerly Andrea Toapanta Cajas, declaramos que el presente trabajo de integración curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 09 de agosto de 2022



Bladimir Orlando Lema Lozada
180491710-0



Kerly Andrea Toapanta Cajas
050430844-6

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **ANÁLISIS TERMOGRÁFICO EN UN INTERCAMBIADOR DE CALOR UTILIZANDO ÓXIDO DE GRAFENO**, realizado por los señores: **BLADIMIR ORLANDO LEMA LOZADA y KERLY ANDREA TOAPANTA CAJAS**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Marco Antonio Ordóñez Viñán MsC. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022-08-09
Ing. Edison Fernando Calderón Freire MsC. DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN		2022-08-09
Ing. Gabriela Viviana Tubón Usca PhD. MIEMBRO DEL TRIBUNAL		2022-08-09

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a Dios por haberme bendecido a lo largo de mi vida y permíteme llegar hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mis padres Adolfo Lema y Lupe Lozada por haberme apoyado incondicionalmente en los momentos buenos y malos, son un gran ejemplo de superación, donde siempre me guiaron a completar mis metas y objetivos. A mis hermanos por estar cuando más los necesitaba y ser una motivación en cumplir mis objetivos. A mis docentes por impartir sus conocimientos esenciales para el desarrollo profesional.

Bladimir Lema

El presente trabajó va dedicado a Dios que me ha guiado por el camino del bien a mis padres Narcisa y Andrés, ya que sin el apoyo de ellos no lo hubiera logrado han sido mi pilar fundamental en todo momento y mi razón de superar cada obstáculo. A Javier por apoyarme día tras día.

Kerly Toapanta

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento a Dios por ser mi fortaleza para poder seguir avanzando en mis metas y objetivos. Agradezco a mi familia por el apoyo incondicional en momentos de triunfos y fracasos, quienes me dieron las fuerzas para seguir adelante, A mi amigo Miguel Pogo por el apoyo en mi trayectoria estudiantil. A todas aquellas personas que durante mi proceso de aprendizaje pude compartir gratos momentos. A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Escuela en Mantenimiento Industrial por abrirme su puerta al desarrollo intelectual, a los docentes que nos supieron guiar y dar de sus conocimientos los cuales servirán durante toda la vida

Bladimir Lema

Agradezco a Dios por guiarme, bendecirme y regalarme la sabiduría para poder concluir esta etapa de mi vida profesional y darme la fortaleza en todos los momentos, ha sido difícil pero no imposible. Gracias a mis padres Andrés Toapanta y Narcisa Cajas por ser mi apoyo incondicional quienes no les importaba las noches y madrugadas de trabajo con tal de brindarme el apoyo económico. No tengo palabras para agradecer todo lo que han hecho por mí. A mis hermanos Robinson y Jenny por su cariño y apoyo moral. Agradezco a todos los docentes que con su sabiduría nos han impartido cada una de sus clases. Finalmente quiero expresar mi agradecimiento al Ing. Edison Calderón, que con su amplio conocimiento me ha orientado en el desarrollo de trabajo de Integración Curricular.

Kerly Toapanta

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiv
ÍNDICE DE ECUACIONES	xv
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xvi
ÍNDICE DE ANEXOS	xvii
RESUMEN.....	xviii
SUMMARY	xix
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	2
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Planteamiento del problema	3
1.3. Justificación del problema	3
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. <i>Objetivo general</i>.....	4
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i>	4
1.5. Hipótesis	4
1.6. Variable dependiente.....	4
1.7. Variable independiente	4
1.8. Intercambiadoras de calor	5
1.8.1. <i>Definición de intercambiador de calor</i>	5
1.8.2. <i>Clasificación intercambiadores de calor</i>.....	5
1.8.3. <i>Según la trayectoria</i>	5
1.8.3.1. <i>Flujo paralelo</i>	5
1.8.3.2. <i>Contraflujo</i>.....	6
1.8.3.3. <i>Intercambiadores de flujo cruzado y compactos</i>	6
1.8.4. <i>Según su aplicación</i>	7
1.8.4.1. <i>Caldera</i>.....	7
1.8.4.2. <i>Torres de enfriamiento</i>	7
1.8.4.3. <i>Condensadores</i>	7

1.8.5.	<i>Según su construcción</i>	7
1.8.5.1.	<i>Intercambiador de calor de platos</i>	7
1.8.5.2.	<i>Intercambiador de calor tubular</i>	8
1.8.5.3.	<i>Intercambiador de calor tipo tubo espiral</i>	8
1.8.5.4.	<i>Intercambiador de calor carcasa y tubos</i>	9
1.9.	Nanomateriales	9
1.9.1.	<i>Definición de nanomateriales</i>	9
1.9.2.	<i>Propiedades de los nanomateriales</i>	9
1.9.3.	<i>Aplicaciones de los nanomateriales</i>	10
1.10.	Óxido grafeno	10
1.10.1.	<i>Definición de grafeno</i>	10
1.10.2.	<i>Propiedades del grafeno</i>	11
1.10.3.	<i>Aplicaciones del grafeno</i>	11
1.10.3.1.	<i>En la industria automovilística y aéreo espacial</i>	11
1.10.3.2.	<i>En electrónica</i>	11
1.10.3.3.	<i>En medicina y biomédicas</i>	11
1.10.4.	<i>Métodos de obtención del grafeno</i>	11
1.10.5.	<i>Oxidación y reducción química</i>	12
1.10.6.	<i>Óxido de grafeno</i>	13
1.10.7.	<i>Técnicas de caracterización</i>	14
1.10.7.1.	<i>UV-Visible</i>	14
1.10.7.2.	<i>Microscopia electrónica de barrido SEM y EDS</i>	14
1.10.7.3.	<i>Espectroscopia infrarroja (FTIR)</i>	14
1.11.	Termografía	15
1.11.	<i>Definición de termografía Infrarroja</i>	15
1.11.1.	<i>Principio de funcionamiento</i>	15
1.11.1.1.	<i>Ley de Kirchhoff de radiación térmica</i>	15
1.11.1.2.	<i>Ley de Planck de radiación térmica</i>	15
1.11.1.3.	<i>Ley de Stefan-Boltzmann</i>	16
1.11.2.	<i>Principios físicos de la termografía</i>	16
1.11.2.1.	<i>Emisividad</i>	16
1.11.2.2.	<i>Cuerpo negro</i>	17
1.11.2.3.	<i>Ondas electromagnéticas</i>	17
1.11.2.4.	<i>Propagación de ondas</i>	17
1.11.3.	<i>Tipos de termografía infrarroja</i>	18
1.11.3.1.	<i>Termografía activa</i>	18

1.11.3.2.	<i>Termografía pasiva</i>	18
1.11.3.3.	<i>Termografía comparativa cuantitativa</i>	19
1.11.3.4.	<i>Termografía comparativa cualitativa</i>	19
1.11.4.	Termograma	19
1.11.5.	Cámara termográfica	19
1.11.5.1.	<i>Imagen termográfica</i>	20
1.11.5.2.	<i>Sensibilidad térmica</i>	21
1.11.5.3.	<i>Precisión</i>	21
1.11.6.	Resolución térmica	21
1.11.7.	Aplicaciones de la termografía	21
1.11.8.	Software para el Análisis termográfico	22
1.11.9.	Termografía en el mantenimiento predictivo	22
1.11.10.	Inspecciones directas e indirectas	22
1.11.11.	Ventajas del método	22

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	24
2.1.	Obtención de Óxido de Grafeno mediante el Método de Hummers Modificado . 24	
1.1.2.	Reactivos, materiales y equipos para la síntesis de GO	24
2.1.1.1.	<i>Compuestos reactivos</i>	24
2.1.1.2.	<i>Materiales y equipos</i>	24
2.1.2.	Proceso químico de obtención de óxido de grafeno	25
2.1.2.1.	<i>Armado del equipo</i>	25
2.1.2.2.	<i>Proceso de sintetizado de óxido de grafeno</i>	25
2.1.3.	Microscopia de barrido (SEM) y EDS	29
2.1.4.	Uv-Visible	29
2.1.5.	Espectroscopia infrarroja (FTIR)	30
2.2.	Diagnóstico del módulo de pruebas	30
2.2.1.	Estado técnico del módulo	30
2.2.1.1.	<i>Inspección visual (VT)</i>	30
2.2.1.2.	<i>Prueba neumática</i>	32
2.2.2.	Pruebas de funcionamiento para el manteniendo mejorativo	33
2.2.2.1.	<i>Estado del depósito</i>	33
2.2.3.	Modificaciones del módulo	34
2.2.3.1.	<i>Cambio del depósito</i>	34

2.2.3.2.	<i>Cambio de mangueras</i>	34
2.2.3.3.	<i>Serpentín de cobre</i>	35
2.2.3.4.	<i>Automatización del calentador</i>	35
2.2.3.5.	<i>Adecuaciones para la termografía</i>	36
2.2.4.	<i>Mantenimiento mejorativo del módulo</i>	36
2.3.	Procedimiento termográfico	37
2.3.1.	<i>Equipo necesario para IRT</i>	37
2.3.2.	<i>Pasos a seguir</i>	37
2.3.2.1.	<i>Calibración de la cámara termográfica Hot Find VR</i>	37
2.3.2.2.	<i>Ubicar la cámara térmica en el soporte</i>	37
2.3.2.3.	<i>Enfoque de la imagen</i>	37
2.3.2.4.	<i>Parámetros de medición</i>	37
2.4.	Pruebas de funcionamiento	38
2.4.1.	<i>Pruebas sin óxido de grafeno</i>	39
2.4.2.	<i>Pruebas con diferentes concentraciones</i>	40
2.4.2.1.	<i>Pruebas con el 1,32 % de óxido de grafeno</i>	44
2.4.2.2.	<i>Pruebas con el 2,64% de óxido de grafeno</i>	45
2.4.2.3.	<i>Pruebas con el 3,96% de óxido de grafeno</i>	46
2.4.3.	<i>Recuperación de óxido de grafeno</i>	47

CAPÍTULO III

3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	50
3.1.	Recolección de datos	50
3.2.	Análisis de la Microscopia de barrido (SEM) y EDS	51
3.3.	Análisis de Espectroscopia infrarroja (FTIR)	52
3.4.	Análisis UV-Visible	53
3.5.	Análisis del óxido de grafeno recuperado	53
3.6.	Análisis de los resultados de la termografía sin GO	55
3.6.1.	<i>Cálculo de coeficientes del polinomial</i>	56
3.6.1.1.	<i>Cálculo de sumatorias de datos para la matriz</i>	57
3.6.1.2.	<i>Cálculo para el coeficiente de correlación</i>	58
3.7.	Análisis de los resultados de la termografía con diferentes soluciones	59
3.7.1.	<i>Análisis con el 1,32% de óxido de grafeno</i>	59
3.7.2.	<i>Cálculo de regresión polinomial</i>	60
3.7.2.1.	<i>Cálculo de sumatorias de datos para la matriz</i>	61

3.7.2.2.	<i>Cálculo para el coeficiente de correlación</i>	62
3.7.3.	<i>Análisis con el 2,64% de óxido de grafeno</i>	63
3.7.4.	<i>Cálculo de la regresión polinomial</i>	64
3.7.4.1.	<i>Cálculo de sumatorias de datos para la matriz</i>	65
3.7.4.2.	<i>Cálculo para el coeficiente de correlación</i>	66
3.7.5.	<i>Análisis con el 3,96% de óxido de grafeno</i>	68
3.7.6.	<i>Cálculo de coeficientes del polinomial</i>	69
3.7.6.1.	<i>Cálculo de sumatorias de datos para la matriz</i>	69
3.7.6.2.	<i>Cálculo para el coeficiente de correlación</i>	70
3.8.	Tasa de transferencia de calor	72
3.8.1.	<i>Cálculo de (q), sin GO</i>	73
3.8.2.	<i>Cálculo de (q), con el 1,32% de GO</i>	73
3.8.3.	<i>Cálculo de (q), con el 2,64% de GO</i>	73
3.8.4.	<i>Cálculo de (q), con el 3,96% de GO</i>	74
3.9.	Diferencia de temperaturas media logritmica (LMTD)	74
3.9.1.	<i>Cálculo de LMTD, sin GO</i>	75
3.9.2.	<i>Cálculo de LMTD, con 1,32% de GO</i>	76
3.9.3.	<i>Cálculo de LMTD, con 2,64% de GO</i>	77
3.9.4.	<i>Cálculo de LMTD con 3,96% de GO</i>	78
3.9.5.	<i>Factor de corrección (F)</i>	79
3.10.	Análisis y discusión de resultados	80
3.10.1.	<i>Tendencia de las posiciones relativas y la temperatura</i>	81
	CONCLUSIONES	83
	RECOMENDACIONES	84
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Métodos para la obtención de óxido de grafeno.....	13
Tabla 2-1:	Aplicaciones de la termografía en la industria	22
Tabla 1-2:	Temperaturas del intercambiador de calor sin GO.....	39
Tabla 2-2:	Temperaturas del intercambiador de calor con OG.....	44
Tabla 3-2:	Temperaturas del intercambiador de calor con 2,64% de OG.....	45
Tabla 4-2:	Temperatura del intercambiador de calor con 3,96% de GO	46
Tabla 1-3:	Porcentajes del GO mediante EDS.....	52
Tabla 2-3:	Análisis EDS del GO recuperado	54
Tabla 3-3:	Valores obtenidos del Software.....	55
Tabla 4-3:	Valores a calcular sin GO.....	56
Tabla 5-3:	Sumatorias de los datos necesarios para la regresión.....	57
Tabla 6-3:	Cálculo del coeficiente de correlación.....	58
Tabla 7-3:	Valores obtenidos del Software con el 5% de GO	60
Tabla 8-3:	Valores a calcular con 1,32% de GO.....	60
Tabla 9-3:	Sumatorias de los datos necesarios para la regresión	61
Tabla 10-3:	Cálculo del coeficiente de correlación.....	62
Tabla 11-3:	Valores obtenidos del Software con el 2,64% de GO	64
Tabla 12-3:	Valores a calcular con 2,64% de GO.....	65
Tabla 13-3:	Sumatorias de los datos necesarios para la regresión	65
Tabla 14-3:	Cálculo del coeficiente de correlación.....	67
Tabla 15-3:	Valores obtenidos del Software con el 3,96% de GO.....	68
Tabla 16-3:	Valores a calcular con 3,96% de GO.....	69
Tabla 17-3:	Sumatorias de los datos necesarios para la regresión.....	70
Tabla 18-3:	Cálculo del coeficiente de correlación.....	71
Tabla 19-3:	Resultados de la diferencia de temperaturas media logarítmica.....	80
Tabla 20-3:	Posición relativa y los porcentajes de GO	81
Tabla 21-3:	Posición relativa y los porcentajes de GO	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Intercambiadores de calor	5
Figura 2-1:	Intercambiadores de calor flujo paralelo.....	6
Figura 3-1:	Intercambiadores de calor en contraflujo.....	6
Figura 4-1:	Intercambiar de flujo cruzado y compactos	7
Figura 5-1:	Intercambiador de placas	8
Figura 6-1:	Intercambiador de tubo espiral.....	8
Figura 7-1:	Intercambiador carcasa y tubo	9
Figura 8-1:	Aplicaciones de los nanomateriales	10
Figura 9-1:	Lamina de óxido de grafeno.....	10
Figura 10-1:	Métodos de obtención de grafeno	12
Figura 11-1:	Estructura del GO basada en modelo de Lerf-Klinowski	14
Figura 11-1:	Emisividad de un objeto.....	17
Figura 12-1:	Longitud de onda	18
Figura 13-1:	Termograma de un PLC sobrecargado.....	19
Figura 14-1:	Cámara termográfica.....	20
Figura 15-1:	Escala de temperatura de las imágenes	20
Figura 16-1:	Escala de temperatura de las imágenes	21
Figura 1-2:	Armado del equipo.....	25
Figura 2-2:	Primeros pasos de obtención del óxido de grafeno	25
Figura 3-2:	Control de temperaturas con termómetros en la solución.....	26
Figura 4-2:	Proceso de agregación del agua destilada con el peróxido de hidrógeno	26
Figura 5-2:	Centrifugado del grafito oxidado	27
Figura 6-2:	Suspensión coloidal del grafito oxidado	27
Figura 7-2:	Secado del grafito oxidado.....	27
Figura 8-2:	Sonicado y agitación magnética grafito oxidado	28
Figura 9-2:	Obtención de GO	28
Figura 10-2:	Equipo de Microscopio electrónico de barrido	29
Figura 11-2:	Equipo de espectroscopía UV-Visible Thermo Scientific	29
Figura 12-2:	Equipo de Espectroscopia infrarroja (FTIR).....	30
Figura 13-2:	Intercambiador de calor	31
Figura 14-2:	Tuberías con ensuciamiento y deformadas	31
Figura 15-2:	Fuente de poder.....	32
Figura 16-2:	Radiador y serpentín de cobre.....	32

Figura 17-2:	Bomba de agua de diafragma 12V	33
Figura 18-2:	Depósito con corrosión	33
Figura 19-2:	Depósito de acero inoxidable.....	34
Figura 20-2:	Mangueras cambiadas.....	35
Figura 21-2:	Serpentín de cobre.....	35
Figura 22-2:	Tablero de control	36
Figura 23-2:	Intercambiador de calor	36
Figura 24-2:	Anemómetro	38
Figura 25-2:	Intercambiador de calor modificado	38
Figura 26-2:	Imagen térmica y análisis de todo el serpentín sin GO.....	39
Figura 27-2:	Óxido de grafeno obtenido.....	40
Figura 28-2:	Pesado del OG.....	41
Figura 29-2:	Los 50 mg de GO más los 50 mL	41
Figura 30-2:	Proceso de sonicación.....	42
Figura 31-2:	Proceso de agitación magnética	42
Figura 32-2:	Proceso homogenización del GO.....	43
Figura 33-2:	Proceso de introducción en depósito.....	43
Figura 34-2:	Imagen térmica y análisis de todo el serpentín con 1,32%	44
Figura 35-2:	Imagen térmica y análisis de todo el serpentín con 2,64%	45
Figura 36-2:	Imagen térmica y análisis de todo el serpentín con 3,96%	46
Figura 37-2:	Vasos de precipitación con el GO a recuperar	47
Figura 38-2:	Vasos de precipitación colocados en el horno	47
Figura 39-2:	Estufa a 50°C	48
Figura 40-2:	Espátula en la recuperación de GO.....	48
Figura 41-2:	Peso del material recuperado	49
Figura 1-3:	Morfología del GO.....	51
Figura 2-3:	Análisis de la morfología de GO recuperado.....	53
Figura 3-3:	Análisis sin GO	55
Figura 4-3:	Análisis con el 1,32% de GO.....	59
Figura 5-3:	Análisis con 2,64% de OG.....	64
Figura 6-3:	Análisis con el 3,96% de GO.....	68
Figura 7-3:	Representación del serpentín de cobre.....	72
Figura 8-3:	Representación del fluido en paralelo.....	74

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2:	Análisis termográfico sin GO.....	40
Gráfico 2-2:	Análisis termográfico con 1,32% de GO.....	44
Gráfico 3-2:	Análisis termográfico con 2,34% de OG.....	45
Gráfico 4-2:	Análisis termográfico con 3,96% de GO.....	46
Gráfico 1-3:	Análisis termográfico sin GO y con los diferentes porcentajes de GO	50
Gráfico 2-3:	Análisis de GO obtenido mediante EDS	51
Gráfico 3-3:	Análisis de GO mediante FTIR	52
Gráfico 4-3:	Análisis Uv-Visible	53
Gráfico 5-3:	Análisis EDS del GO recuperado.....	54
Gráfico 6-3:	Regresión polinomial sin GO	59
Gráfico 7-3:	Regresión polinomial con 1,32% GO.....	63
Gráfico 8-3:	Regresión polinomial con el 2,64% GO	67
Gráfico 9-3:	Regresión polinomial con el 3,96% OG.....	71
Gráfico 10-3:	Gráfica del factor de corrección	80
Gráfico 11-3:	Gráfica de la tendencia de la posición relativa.....	81

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-1:	Ley de Kirchhoff.....	15
Ecuación 2-1:	Ley de Planck	15
Ecuación 3-1:	Ley de Wien.....	16
Ecuación 4-1:	Ley de Stefan-Boltzann	16
Ecuación 1-3:	Regresion Polinomial.....	56
Ecuación 2-3:	Coeficiente de Correlación	58
Ecuación 3-3:	Coeficiente de Correlación	58
Ecuación 4-3:	Ley de Fourier.....	72
Ecuación 5-3:	Transferencia de calor para un cilindro	72
Ecuación 6-3:	Área logaritmica media de un cilindro	73
Ecuación 8-3:	Diferencia media logaritmica transferencia de calor	74
Ecuación 9-3:	Área media logaritmica.....	75
Ecuación 10-3:	Eficiencia del lado frío.....	75
Ecuación 11-3:	Capacidad Térmica	75

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

GO:	Óxido de grafeno
CNTs:	Nanotubos de carbón
nm	Nanómetro
MPIs	Polímeros moleculares impresos
C	Carbono
O	Oxígeno
W/mk	Watt por metro Kelvin (Conductividad térmica)
GPa	Giga pascal
2D	Dos dimensiones
CVD	Deposición de vapor químico
LPE	Exfoliación de base líquida
KClO₃	Clorato de potasio
KMnO₄	Permanganato de potasio
NaNO₃	Nitrato de sodio
H₂SO₄	Ácido sulfúrico
HNO₃	Ácido nítrico
IRT	Termografía infrarroja
IR	Radiación infrarroja
END	Ensayo no destructivo
NETD	Diferencia de temperatura equivalente al ruido
mL	Mililitros

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Análisis de los termogramas a sin GO y los diferentes porcentajes de GO

ANEXO B: Análisis de las tendencias de las posiciones relativas

ANEXO C: Microscopia electrónica de barrido SEM de la obtención de GO

ANEXO D: Comparaciones de los 50 termogramas sin GO y con los diferentes porcentaje

ANEXO E: Representación esquemática del procedimiento de la obtención de GO

RESUMEN

El objetivo del presente proyecto de investigación es desarrollar el análisis termográfico en un intercambiador de calor utilizando óxido de grafeno (GO), siendo este compuesto químico sintetizado en el laboratorio y posteriormente aplicado en diferentes concentraciones en el interior del intercambiador de calor. El método utilizado para la obtención de GO es de Hummers Modificado, el cual va ser usado como aislante o semiconductor presenta una alta hidrofiliidad, su conductividad térmica se encuentra en el orden de 18 ± 2 (W/mK); por otra parte, mediante una inspección visual del intercambiador de calor en base a la norma ANSI/ASME B31.G se ha encontrado diferentes fallas como la presencia de corrosión dificultando su funcionamiento óptimo. Además, se realizó pruebas con agua destilada en el módulo de intercambio de calor, y mediante diferentes diluciones de GO sobre agua destilada, comparando las temperaturas de los termogramas obtenidos mediante la norma ISO 18434. Dando resultados a través de la obtención de termogramas a dos metros de distancia por medio de las cámaras termográficas y el análisis con el software Satir Report, sobre el serpentín de cobre, sin el GO y con diferentes diluciones de GO: 1,32%, 2,64%, 3,96% en 3785 mL de agua destilada, por otra parte, para analizar los datos obtenidos se utiliza métodos numéricos y la eficiencia de transferencia de calor, necesarios para realizar una comparación de las temperaturas de las pruebas sin GO y los porcentajes antes mencionados. Concluyendo que al calcular la diferencia de temperaturas media logarítmica se observa que el GO no mejora el diagnóstico técnico, ya que decrementa la capacidad térmica en 0,37 cada grado centígrado en pruebas preliminares. Se recomienda que para futuras investigaciones con nanomateriales es necesario analizar la conductividad térmica para aumentar la temperatura en interior del serpentín de cobre y poder mejorar el diagnóstico técnico.

Palabras clave: <TECNOLOGIA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <INTERCAMBIADOR DE CALOR>, <MANTENIMIENTO>, <ÓXIDO DE GRAFENO (GO)>, <HUMMERS MODIFICADO>, <TERMOGRAFÍA>, <NANOMATERIALES>.

1870-DBRA-UTP-2022



SUMMARY

The objective of this research project was to develop thermographic analysis in a heat exchanger using graphene oxide (GO), this chemical compound being synthesized in the laboratory and subsequently applied in different concentrations inside the heat exchanger. The method used to obtain GO is Hummers Modified, which is going to be used as an insulator or semiconductor, it has a high hydrophilicity, its thermal conductivity is in the order of 18 ± 2 (W/mK); On the other hand, through a visual inspection of the heat exchanger based on the ANSI/ASME B31.G standard, different faults have been found, such as the presence of corrosion, hindering its optimal operation. In addition, tests were carried out with distilled water in the heat exchange module, and by means of different GO dilutions on distilled water, comparing the temperatures of the thermograms obtained through the ISO 18434 standard. Giving results through obtaining thermograms at two meters of distance by means of the thermographic cameras and the analysis with the Satir Report software, on the copper coil, without the GO and with different GO dilutions: 1,32%, 2,64%, 3,96% in 3785 mL of distilled water. To analyze the data obtained, numerical methods and heat transfer efficiency were used, necessary to make a comparison of the temperatures of the tests without GO and the aforementioned percentages. Concluding that when calculating the average logarithmic temperature difference, it is observed that the GO does not improve the technical diagnosis, since it decreases the thermal capacity by 0,37 each degree centigrade in preliminary tests. It is recommended that for future research with nanomaterials it is necessary to analyze the thermal conductivity to increase the temperature inside the copper coil and to improve the technical diagnosis

Keywords: <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCE> <HEAT EXCHANGER>
<GRAPHENE OXIDE (GO)> <MODIFIED HUMMERS> <THERMOGRAPHY>
<NANOMATERIALS>.



Lic. Sandra Paulina Porras Pumalema Mgs
C.I. 0603357062

INTRODUCCIÓN

La termografía infrarroja (IRT) actualmente es utilizada en varios campos de la industria, es una técnica no destructiva y sin contacto, consiste en la detección de la radiación térmica de la superficie a medir con una intensidad específica en tiempo real, el uso de (IRT) aumentado para el análisis de la transferencia de calor por convección. (Imran, Nick y Schotting, 2016, p. 2)

Los nanomateriales de carbono son considerados los materiales del futuro por sus propiedades térmicas, eléctricas, transparencia óptica y mecánicas, las cuales son utilizadas en varios campos como nanotecnología, biodetección, biomédicas (Zhong et al., 2018, p. 8). El grafeno al ser un nanomaterial de carbono de hibridación sp^2 y contar con múltiples propiedades utilizadas en diferentes industrias, su costo de obtención es elevado esto limita sus aplicaciones, se considera al óxido de grafeno (GO) como un precursor del grafeno derivado químicamente. (Gao, 2015, p. 30)

En la obtención de GO se realiza con la síntesis química de la oxidación del grafito con el método de Hummers modificado donde se reemplaza al nitrato de sodio ($NaNO_3$) por más concentraciones de permanganato de potasio ($KMnO_4$), y así mejora el rendimiento y reduce los gases tóxicos, el GO es higroscópico e hidrofílico. (Betancur, 2019, p. 22)

Los intercambiadores de calor son dispositivos que transfieren energía térmica de un fluido de elevada temperatura hacia un fluido de baja temperatura, para la investigación se analiza la introducción del GO en el módulo de intercambio de calor con la IRT y la tasa de transferencia de calor.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes

Un intercambiador de calor es un equipo que sirve para transferir calor mediante dos fluidos, por las condiciones de trabajo, éstos tienden a desgastarse y presentar fallos. Los sedimentos, la reacción química, la cristalización, la corrosión producen la disminución de la tasa de transferencia de calor y aumenta la presión, por ende, reduce la eficiencia y la vida útil.

En el desarrollo de nuevas tecnologías los nanomateriales ocupan un papel importante en la industria de productos alimenticios, la ingeniería de materiales, la medicina, la construcción y la aeroespacial. Razón por lo que en este proyecto se enfoca el óxido de grafeno que es un material de carbono puro, se caracteriza por su elevada dureza, elasticidad, flexibilidad y densidad, además de su alta conductividad térmica y eléctrica, se sintetiza el óxido de grafeno mediante el método de Hummers, donde los materiales es el grafito y sus reactivos químicos son ácido sulfúrico, ácido fosfórico y permanganato de potasio.(Salih et al., 2016, pp. 137-144)

Su descubrimiento se dio en el año 2004, por los investigadores de la Universidad de Manchester; André Geim y Konstantin Novoselov logrando el premio Nobel de Física en el año 2010, desde entonces, el grafeno ha creado una gran expectativa en el mundo científico mostrando el interés debido a su magnificas propiedades antibacterianas, su conductividad, dureza, entre otros y su baja contaminación ambiental (Rodríguez, 2016, pp. 3-10).

Hoy en día el campo de la investigación avanzado a grandes pasos es así que se están se desarrollan estudios como es la purificación del agua, aplicaciones biomédicas, tratamientos de cáncer sin duda el grafeno es un material de futuro. Lo que está claro es que, en su corta vida, el grafeno ha capturado la imaginación de científicos de todo el mundo. Y promete dar mucho más que hablar (Goykhman et al., 2016).

La termografía es una herramienta muy importante del diagnóstico técnico utilizada para el mantenimiento predictivo para analizar los fallos que son invisibles a la vista, donde proporcionan una imagen completa acerca del estado del equipo, esta inspección se realiza cuando el equipo

está en funcionamiento, como en los sistemas eléctricos, instalaciones mecánicas, tuberías, instalaciones refractarias y petroquímicas (FLIR Systems AB., 2011, pp. 12-15).

1.2. Planteamiento del problema

La termografía es una herramienta muy importante del diagnóstico técnico utilizada para el mantenimiento predictivo para analizar los fallos que son invisibles a la vista, donde proporcionan una imagen completa acerca del estado del equipo, esta inspección se realiza cuando el equipo está en funcionamiento, como en los sistemas eléctricos, instalaciones mecánicas, tuberías, instalaciones refractarias y petroquímicas.

Actualmente, en las facultades de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo cuenta con los equipos necesarios para el desarrollo de nuevas investigaciones, pero se carece de apertura para la integración entre facultades, para el Mantenimiento Industrial es muy importante desarrollar nuevas tecnologías y poder aplicarlas al diagnóstico técnico en los diferentes equipos existentes en los Laboratorios de la Facultad de Mecánica como son los intercambiadores de calor.

El módulo de intercambio de calor de la Facultad de Mecánica que se encuentra en laboratorio de Eficiencia Energética y Diagnóstico Técnico, presenta algunos inconvenientes como corrosión, sedimentos que producen la disminución de la tasa de transferencia de calor y aumenta la presión por ende reduce la eficiencia. La termografía es muy importante para el mantenimiento predictivo en detectar fallos las cuales no se visualiza fácilmente, pues al existir materiales los cuales obstruyen la radiación e impiden representar con detalle de las anomalías existentes en los equipos.

1.3. Justificación del problema

El presente proyecto de investigación tiene la finalidad de analizar la introducción del óxido de grafeno en el módulo de intercambio de calor, mediante la termografía se puede visualizar en las fotografías tomadas al equipo la diferencia que existe sin la utilización de nanomateriales y con la utilización de nanomateriales y fomentar nuevas investigaciones de los nanomateriales para aplicaciones en el diagnóstico técnico, dando un mayor realce al mantenimiento predictivo con la utilización de las cámaras termográficas que hoy en día es una herramienta indispensable en la industria para la detección de fallos imperceptibles, a fin reducir los costos de averías y paros de producción.

Con el fin fortalecer lazos de cooperación entre las Facultades de Mecánica y Ciencias de la ESPOCH, promoviendo nuevas investigaciones de los nanomateriales como la obtención y aplicación óxido de grafeno, en los módulos de ingeniería, necesarios en el aprendizaje.

1.4. Objetivos

1.4.1. *Objetivo general*

Desarrollar el análisis termográfico en un intercambiador de calor utilizando óxido de grafeno.

1.4.2. *Objetivos específicos*

Sintetizar el óxido de grafeno en el Laboratorio de Química Instrumental de la Facultad de Ciencias.

Mejorar el módulo para realizar las pruebas pertinentes con la implementación de óxido de grafeno.

Aplicar el método de diagnóstico técnico mediante la utilización de diferentes concentraciones de óxido de grafeno en el interior del dispositivo.

Analizar mediante una cámara termográfica la implicación que tiene las diferentes composiciones de óxido de grafeno presentes en un intercambiador de calor.

1.5. Hipótesis

El óxido grafeno mejora el análisis termográfico de un intercambiador de calor.

1.6. Variable dependiente

Temperatura

1.7. Variable independiente

Porcentajes del soluto de óxido de grafeno en el intercambio de calor.

MARCO TEÓRICO

1.8. Intercambiadoras de calor

1.8.1. Definición de intercambiador de calor

Un intercambiador es un equipo utilizado para transferir calor de dos fluidos que están a diferentes temperaturas. La transferencia se obtiene por el contacto directo entre los fluidos en una superficie sólida y un fluido en movimiento, el intercambio térmico puede ser por convección o conducción y radiación. (Ibarra-Hernández et al., 2019, p. 69)

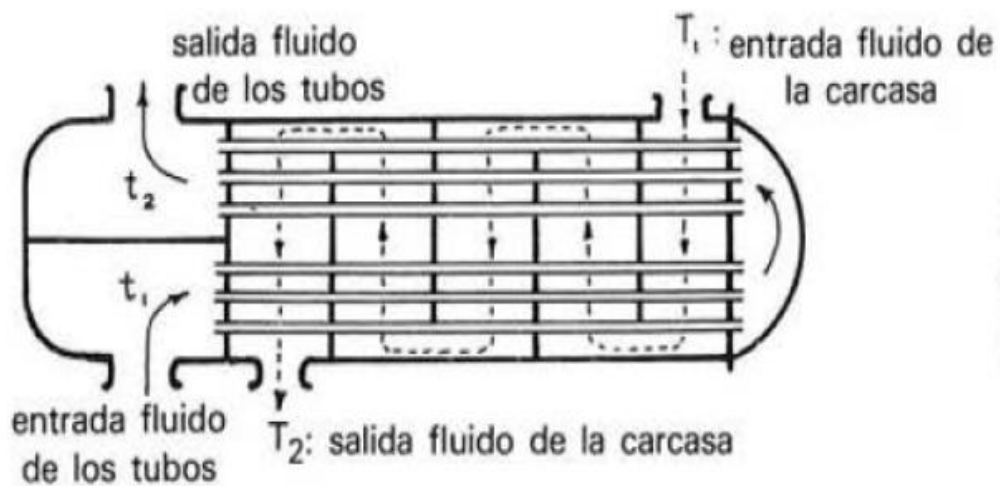


Figura 1-1: Intercambiadores de calor

Fuente: (Levenspiel, 2018, p. 252)

1.8.2. Clasificación intercambiadores de calor

1.8.3. Según la trayectoria

1.8.3.1. Flujo paralelo

Los dos fluidos frío y caliente utilizan el mismo extremo del equipo, estos fluyen en la misma dirección, en la transferencia de calor al ingresar al equipo es alta que irá disminuyendo según la distancia de recorrido hasta alcanzar el equilibrio térmico (Guzmán, 2020, p. 46).

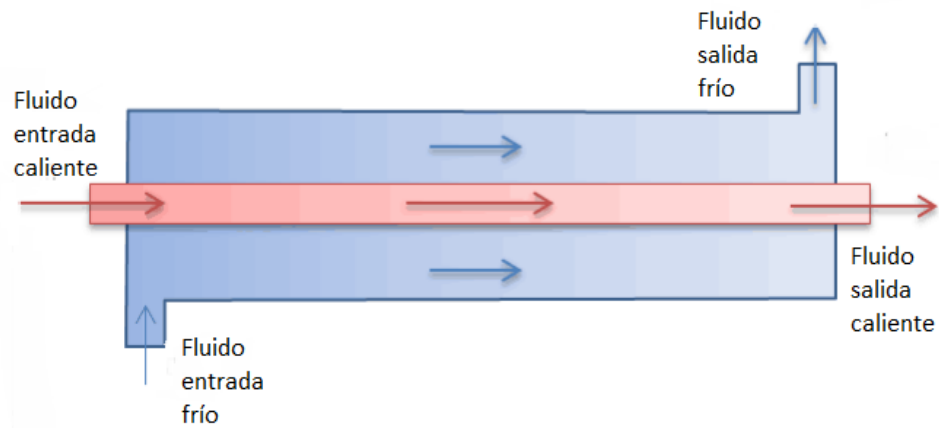


Figura 2-1: Intercambiadores de calor flujo paralelo

Fuente:(Nick, 2019, p. 1)

Realizador por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

1.8.3.2. Contraflujo

Los fluidos entran por los extremos opuestos, estos fluyen en dirección opuesta, por esto la transferencia de calor se mantiene en los extremos tanto fría como caliente.(Guzmán, 2020, p. 46)

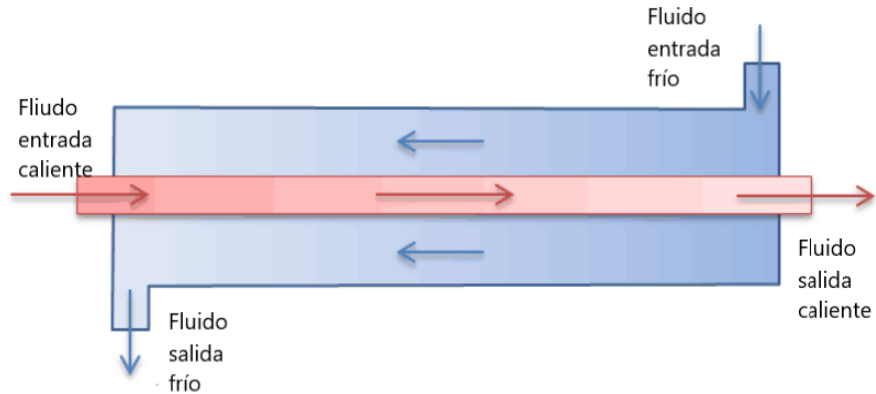


Figura 3-1: Intercambiadores de calor en contraflujo

Fuente:(Nick, 2019, p. 1)

Realizador por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

1.8.3.3. Intercambiadores de flujo cruzado y compactos

En estos intercambiadores de calor existen dos tipos de fluido para una fase, bien mezcla o no mezclado. Sin mezclado lateral el fluido caliente tiende con trayectorias paralelas y separadas en el intercambiador.(Levenspiel, 2018, p. 260)

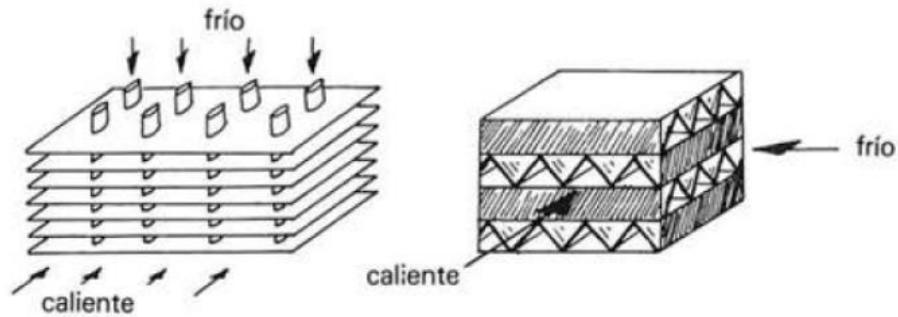


Figura 4-1: Intercambiar de flujo cruzado y compactos

Fuente:(Levenspiel, 2018, p. 260)

1.8.4. *Según su aplicación*

1.8.4.1. *Caldera*

Es un equipo que genera vapor para diferentes aplicaciones industriales y conseguir agua caliente a diferentes cantidades, por lo general transmiten calor por una fuente externa o la combustión de algún material hacia un fluido (Guzmán, 2020, p. 47).

1.8.4.2. *Torres de enfriamiento*

Es un equipo que realiza la transferencia de calor y de masa, se enfría el fluido caliente mediante una corriente de aire frío, que están en contacto directo, se utilizan para enfriar grandes cantidades de agua (Guzmán, 2020, p. 47).

1.8.4.3. *Condensadores*

Es un equipo que cambia el estado de un fluido gaseoso pasa a líquido mediante el enfriamiento la cual se puede generar de forma natural o forzada con equipos mecánicos (Guzmán, 2020, p. 47).

1.8.5. *Según su construcción*

1.8.5.1. *Intercambiador de calor de platos*

Son equipos térmicos conformados por una estructura de placas metálicas corrugadas ensambladas a presión, que sirven para la transferencia de calor, sus orificios están acordes con la dirección de flujo (Guzmán, 2020, p. 48).

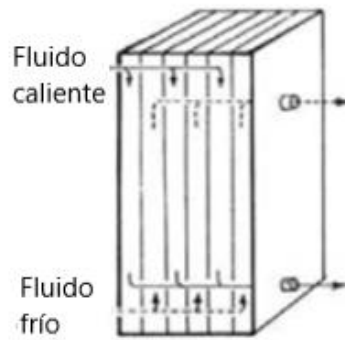


Figura 5-1: Intercambiador de placas

Fuente: (Levenspiel, 2018, p. 238)

1.8.5.2. Intercambiador de calor tubular

Se utilizan para altas presiones, son construidos por tubos redondos, circulares o planos, se utilizan para fluidos de líquido-líquido y en líquidos con cambio de fase en la condensación y evaporación, en la transferencia de calor cuando las presiones y temperaturas son altas se usan para líquido-gas o gas-gas. (Guzmán, 2020, p. 48)

1.8.5.3. Intercambiador de calor tipo tubo espiral

Son intercambiadores de calor formados por bobinas en espiral dentro de un depósito, por la fuerza centrífuga aumenta la transferencia de calor, utilizados en calderas, plantas químicas. Estos intercambiadores de calor son mayores a los de tubos rectos. (Ardila y Hincapié, 2012, p. 204)

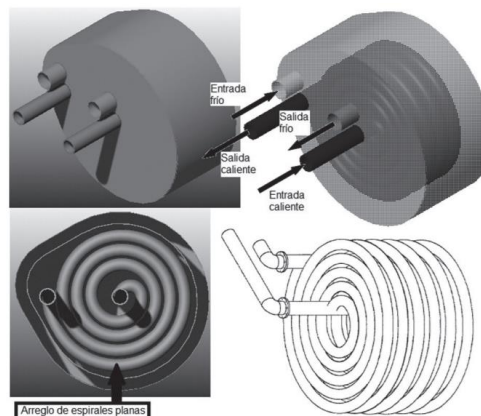


Figura 6-1: Intercambiador de tubo espiral

Fuente: (Ardila y Hincapié, 2012, p. 205)

1.8.5.4. Intercambiador de calor carcasa y tubos

Este tipo de intercambiadores de calor son los más frecuentes en la industria, por ser compactos y menos costosos, el flujo puede ser tanto en paralelo como en contracorriente. Pueden ser un recorrido de carcasa y un recorrido de tubo (Wang et al., 2019, p. 33).

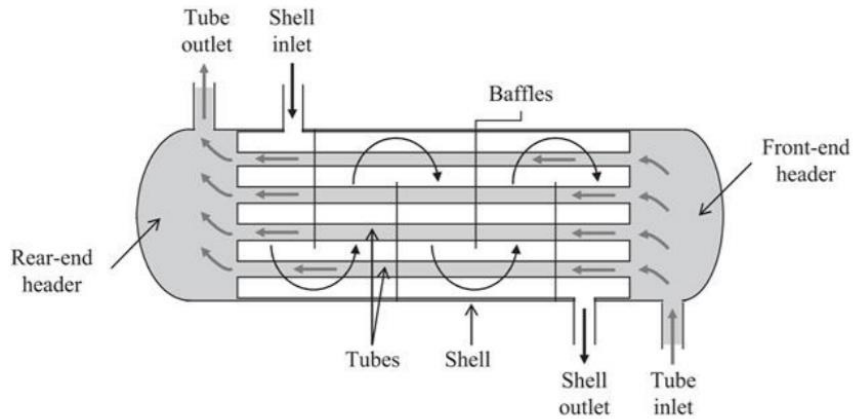


Figura 7-1: Intercambiador carcasa y tubo

Fuente: (Wang et al., 2019, p. 23)

1.9. Nanomateriales

1.9.1. Definición de nanomateriales

Es un conjunto de materiales que se encuentran en la escala nanométrica, por lo menos tiene una dimensión externa al rango de 1 a 100 nm. Los nanomateriales habituales son nanotubos de carbono (CNTs), grafeno, nanopartículas de sílice, nanopartículas de plata, nanopartículas de oro, en la actualidad se han generado novedosos nanomateriales en base de carbono, nanosílice, nanopartículas metálicas, nanomateriales biológicos, entre otros (Li et al., 2021, pp. 1-2).

1.9.2. Propiedades de los nanomateriales

Los nanomateriales poseen propiedades térmicas, eléctricas, mecánicas, catalítica y una gran estabilidad y grandes relaciones de superficie y volumen. El grafeno, los nanotubos de paredes múltiples, nanopartículas de oro presentan una gran actividad electrocatalítica con una alta energía superficial (Zhong et al., 2018). Además, presentan propiedades magnéticas, la alta especificidad que sirven en la modificación superficial en la creación de nuevas propiedades y estructuras, los procesos de absorción a los iones metálicos (Li et al., 2021, p. 2).

1.9.3. Aplicaciones de los nanomateriales

Los nanomateriales se han aplicado en la elaboración de sensores, en resonancia magnética radiométrica (MRI), sensores electroquímicos, biosensores químicos, ópticos y sensores de luminiscencia también en la mejora de las propiedades catalíticas del electrodo modificado de MPIs (Zhong et al., 2018, p. 5).

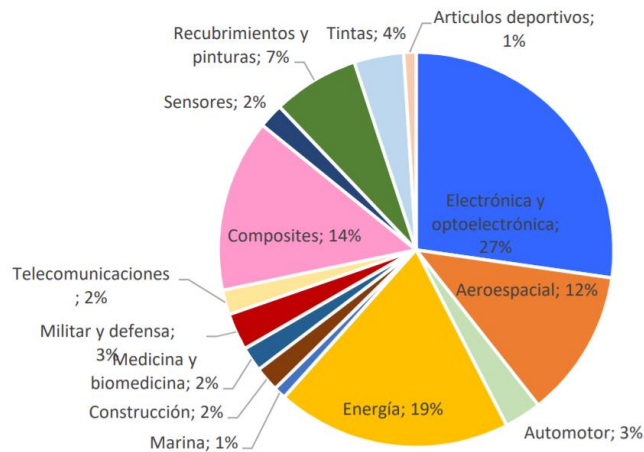


Figura 8-1: Aplicaciones de los nanomateriales

Fuente:(Ortega, 2018, p. 20)

1.10. Óxido grafeno

1.10.1. Definición de grafeno

Es un material de una lámina plana bidimensional (2D), compuesto por un átomo de espesor de sp^2 de carbono (C), se encuentran enlazados formando una estructura hexagonal (Kumar et al., 2021, p. 2-3).

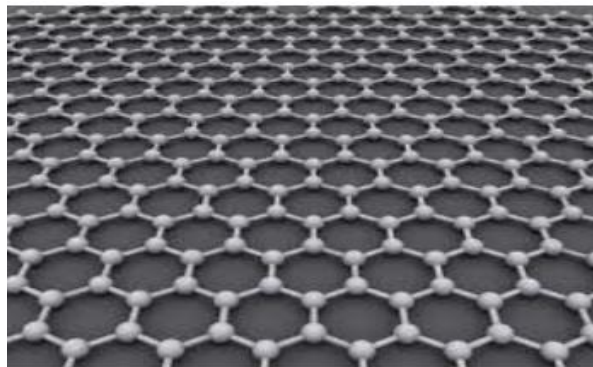


Figura 9-1: Lámina de óxido de grafeno

Fuente: (Herradón, 2020, p. 5)

1.10.2. *Propiedades del grafeno*

El grafeno presenta novedosas propiedades tales como eléctricas, térmicas, magnéticas, ópticas, impermeables, entre otras, razón por la cual se han convertido de gran interés en números investigaciones científicas en todo el mundo (Tiwari et al., 2020, pp. 4-5).

1.10.3. *Aplicaciones del grafeno*

1.10.3.1. En la industria automovilística y aéreo espacial

Por ser químicamente inerte y altamente anticorrosivo en la actualidad se lo utiliza para crear nuevos materiales compuestos, entre ellos están los recubrimientos y carrocerías. En el área aéreo espacial en convenio con la Agencia Espacial Europea están creando tuberías de calor en satélites y velas espaciales solares. (Wang et al., 2019, p. 3)

1.10.3.2. En electrónica

Se utilizan para dispositivos flexibles, estirables y plegables, electrónica imprimible de bajo coste, electrónica de alta frecuencia y principalmente en transistores de alto rendimiento, además se emplean en sensores biológicos de gas y químicos. (Wang et al., 2019, p. 3)

1.10.3.3. En medicina y biomédicas

Gracias a sus magníficas propiedades como es la alta superficie, movilidad de electrones y potencial de funcionalización ha sido capaz de establecer interfaces sobresalientes con tejidos blandos, Ablación térmica de alta resistencia de células cancerosas.(Wang et al., 2019, p. 4)

1.10.4. *Métodos de obtención del grafeno*

En la obtención del grafeno en la actualidad se puede agrupar en los métodos de Top-Down y Bottom up. En la producción abajo-arriba se convierte a los gases portadores de carbono, los hidrocarburos aromáticos y los polímeros se transforman mediante la deposición química de vapor (CVD), la pirolisis térmica y laser, el crecimiento epitaxial y la síntesis orgánica directa e indirecta, estos procesos son muy complicados por su infractora y las sofisticadas condiciones de funcionamiento (Kumar et al., 2021, p. 2).

En la producción con el método arriba-abajo, se convierte al grafito en grafeno con la oxidación-reducción, la exfoliación en fase líquida (LPE), electroquímica, exfoliación en fase sólida. Estos procedimientos son los más utilizados por sus costos (Kumar et al., 2021, p. 2).

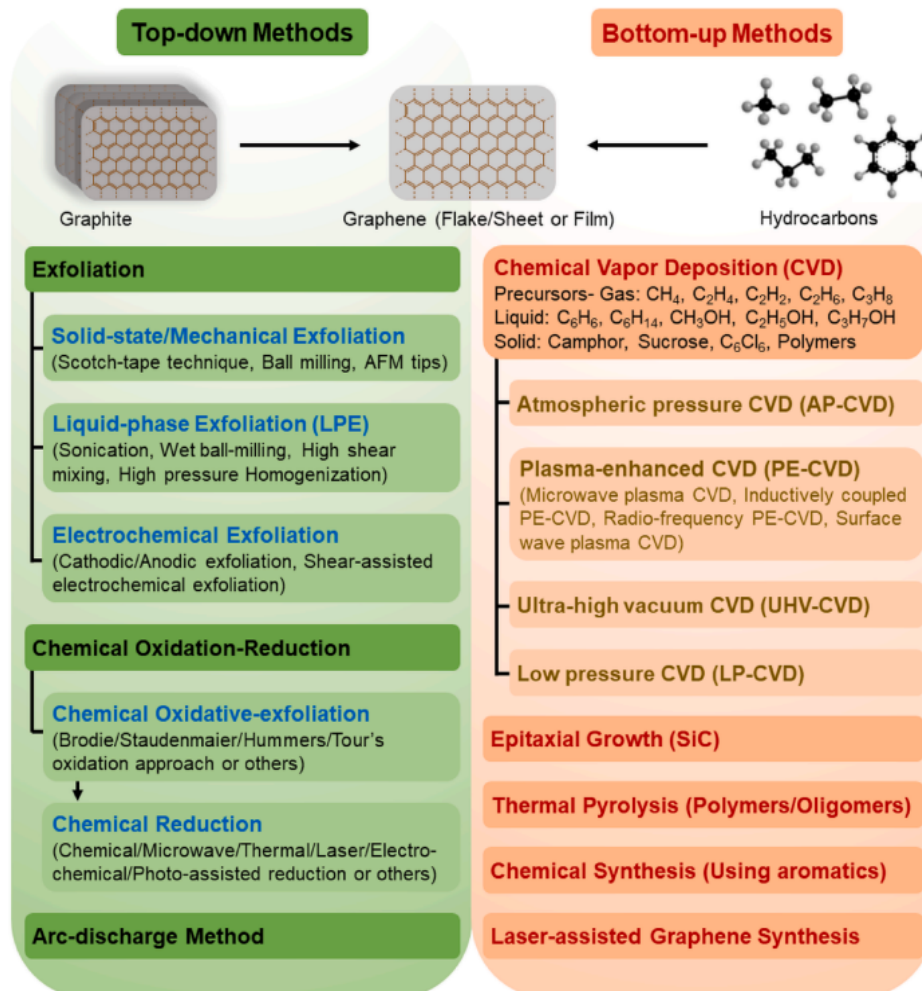


Figura 10-1: Métodos de obtención de grafeno

Fuente: (Kumar et al., 2021, p. 4)

1.10.5. Oxidación y reducción química

Este método consiste en introducir grupos de oxígeno (O) durante la oxidación donde se extiende en la estructura del C, para superar las fuerzas de Van der Waals entre hojas, donde el O tiene la funcionalidad de incrementar entre las capas de grafito. La estructura del óxido de grafito se controla con los agentes oxidantes. Es un proceso más prometedor para la preparación de óxido de grafito y su derivado GO. Se puede obtener el GO y óxido de grafito mediante los métodos de Brodie, Staudenmaier, Hofmann, Hummers, Hummers modificado y Tour (Kumar et al., 2021, p. 6).

Tabla 1-1: Métodos para la obtención de óxido de grafeno

Método	Oxidante	Reacción	Proporción de Carbón y Oxígeno	Raman espectral I_D/I_G	Carga de transferencia Resistencia (Rct)a (k Ω)	Notas
Brodie	KClO ₃	HNO ₃ +H ₂ SO ₄	-	-	-	KClO ₃ añadido paso a paso en lugar de un solo bolo
Staudenmaier	KClO ₃	HNO ₃ Humeante	1.17	0.89	1.74	-
Hofman	KClO ₃	HNO ₃ Sin humo	1.15	0.87	1.98	-
Hummers	KMnO ₄ +NaNO ₃	H ₂ SO ₄	0.84	0.87	1.98	Modificaciones pueden eliminar la necesidad de NaNO ₃
Tour	KMnO ₄	H ₂ SO ₄ +H ₃ PO ₄	0.74	0.85	2.15	-

Fuente:(Gao, 2015, p. 5)

Realizador por: Lema B., Toapanta K, 2022,

1.10.6. Óxido de grafeno

El óxido de grafeno también es un compuesto no estequiométrico que posee una red de átomos de C sp³ parecido al grafeno, pero con grupos funcionales oxigenados intercalados, La relación de C/O en la estructura molecular influye en las propiedades físicas. El GO se obtiene de la oxidación del grafito, el método más utilizado es de Hummers Modificado, las funcionalidades oxigenadas que se introducen en estructura del grafito aumentan las capas y la hidrolizan, separándose en una dispersión térmica (Colom et al., 2020, p. 168).

El GO al ser una red atómica delgada semi aromática de C, incluyen los grupos funcionales como hidroxilo (OH), carboxilo (COOH), carbonilo (C=O) y epoxi (C-O-C), existiendo el OH y el C-O-C como los grupos dominantes en la base del GO (Gao, 2015, p. 30). Los grupos funciones modifican su color sea marrón, además es aislante y semiconductor dependiendo del grado de oxidación y es dispersable con en agua (Avilés, 2017, p. 11).

El GO con el 46% de carbono tiene una conductividad térmica de 18±2 (W/mK), debido a los enlaces covalentes de oxígeno y carbono (Mahanta y Abramson, 2012, p. 5).

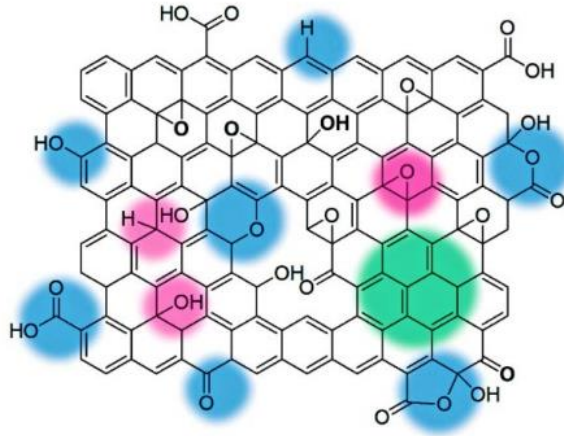


Figura 11-1: Estructura del GO basada en modelo de Lerf-Klinowski

Fuente:(Su y Loh, 2013, p. 2)

1.10.7. Técnicas de caracterización

1.10.7.1. UV-Visible

Es una técnica para medir la absorción de la radiación ultra violeta o visible, para identificar grupos funcionales orgánicos e inorgánicos a través de un análisis cualitativo y cuantitativo (Lunavictoria, 2020, p. 16).

1.10.7.2. Microscopia electrónica de barrido SEM y EDS

En la caracterización SEM se crea un haz electrones que inciden sobre la superficie de un material, generando una imagen con los detectores que recogen los diferentes tipos de electrones generados, transformando en imágenes de alta calidad, con resoluciones de 0,4 a 20 nm conocidas como nano imágenes, para analizar su morfología, textura y composición.(ATRIA INNOVATION, 2016, p. 2)

La técnica de caracterización EDS realiza una búsqueda de los elementos, de la composición atómica de una superficie de forma cuantitativa y cualitativa, genera un haz de electrones pasan sobre los elementos a detectar.(Lunavictoria, 2020, p. 26)

1.10.7.3. Espectroscopia infrarroja (FTIR)

El FTIR absorbe la luz infrarroja que provoca vibraciones en los átomos del elemento analizado, obteniendo los grupos funcionales presentes en las muestras, dando una Gráfica única. Los grupos

funcionales tiene un espectro característico de cada región de la absorción, permite apreciar la transmitancia y los números de onda (Avilés, 2017, p. 34).

1.11. Termografía

1.1.1. Definición de termografía Infrarroja

La termografía infrarroja (IRT), es un ensayo no destructivo (END), sin la necesidad de contacto físico, la cual se basa en la medición de la energía térmica radiante (calor), emitida por un objeto y en su conservación de los termogramas de diferentes intensidades de radiación (ISO, 2008, p. 5).

1.1.1.1. Principio de funcionamiento

En la Termografía Infrarroja (IRT) interviene las leyes esenciales de la radiación, como es la Ley de Kirchhoff, la Ley de Planck y la ley de Stefan-Boltzmann (Ganem Karlen, 2018, p. 82).

1.1.1.1.1. Ley de Kirchhoff de radiación térmica

Esta ley menciona la correlación entre la absorción y la emisión de energía, hace referencia a que un cuerpo, así como absorbe este también emite, todo cuerpo que supera el cero absoluto emite calor radiante. El coeficiente emisividad oscila entre 0 y 1 esto dependerá de la longitud de onda y de la temperatura del cuerpo analizado. (Ganem Karlen, 2018, p. 82)

$$\varepsilon = E/E_Z \quad (1-1)$$

Donde:

ε = relación de emisividad.

E = cuerpo real a la emisividad.

E_Z = cuerpo negro bajo la misma temperatura.

1.1.1.1.2. Ley de Planck de radiación térmica

Se refiere a la radiación espectral de un cuerpo negro ideal.

$$I(\lambda, T) = \frac{2\pi hc}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1} \quad (2-1)$$

Donde:

I = longitud de onda.

T = temperatura absoluta h es la constante de Planck.

c = velocidad de la luz.

e = base del logaritmo natural de la constante de Boltzmann

Se puede graficar la longitud de onda en función de la temperatura se adquiere las curvas de Planck, donde las curvas cambian según se aumenta la temperatura hacia la longitud menor de onda según la ley de Wien en el desplazamiento (Ganem Karlen, 2018, p. 83).

$$(\lambda=b/T) \quad (3-1)$$

Donde:

λ = largo de la onda.

T = temperatura absoluta del cuerpo negro.

b = constante proporcional llamado constante de desplazamiento de Wien que es $(2.8977685 \times 10^{-3})$

1.11.1.3. Ley de Stefan-Boltzmann

Se emplea en la manifestación de todas las longitudes de onda de una superficie y aplica en la Ley de Planck, donde se aumenta el cuarto poder de la temperatura de la radiación. (Ganem Karlen, 2018, p. 83)

$$E=\varepsilon\sigma T^4 \quad (4-1)$$

Donde:

E = energía de radiación (W/m^2)

ε = emisividad hemisférica total de superficie ($0 < \varepsilon < 1$) no dimensional, es la constante de Stefan-Boltzmann ($5.67051 \times 10^{-8} W/m^2 K^4$)

T = temperatura (K)

1.11.2. Principios físicos de la termografía

1.11.2.1. Emisividad

La emisividad se conoce a la propiedad que tiene los cuerpos al emitir infrarrojos, el cual dependerá de las propiedades del material de los objetos medidos (FLIR Systems AB., 2011, p. 26).



Figura 11-1: Emisividad de un objeto

Fuente: (FLIR Systems AB., 2011, p. 26)

1.11.2.2. Cuerpo negro

El cuerpo absorbe toda la radiación térmica y la energía radiante en todas las longitudes de las ondas. (ISO, 2008, p. 8)x

1.11.2.3. Ondas electromagnéticas

Son aquellas que se originan por las vibraciones de campos magnéticos y eléctricos son perpendiculares entre sí, además a la dirección de propagación, se refractan, tiene un comportamiento parecido a las ondas de luz. Estas ondas tienen las propiedades de viajar en el vacío a la velocidad de la luz a 300000 km/s (Rodríguez, 2017, p. 5).

1.11.2.4. Propagación de ondas

Se relaciona el concepto de longitud de onda y frecuencia para su estudio

- La longitud de onda: Es la distancia que existe entre dos puntos máximos sucesivos, se encuentra en el rango de radiación infrarroja del rango de 0.75 a 1000 μm .
- La frecuencia: Es el número de ciclos que se repiten en un segundo. (Rodríguez, 2017, p. 5)

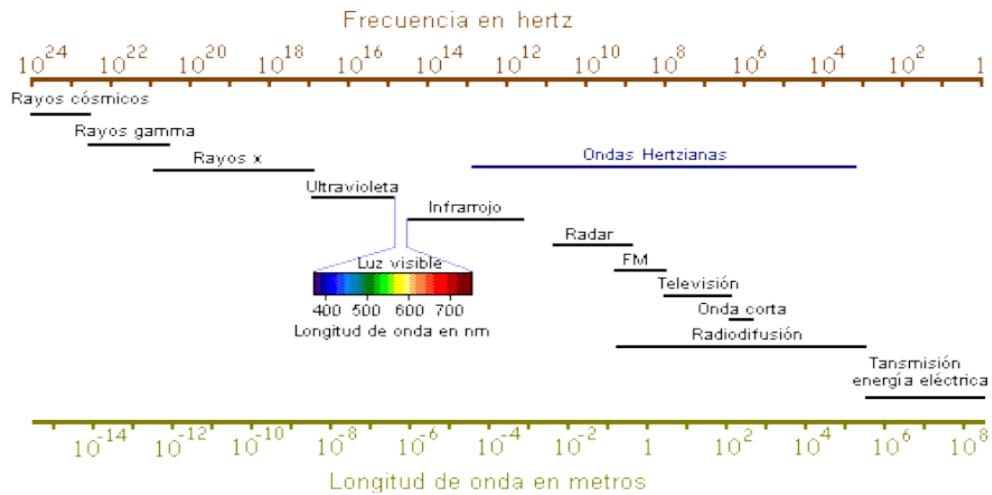


Figura 12-1: Longitud de onda

Fuente: (Olarte, Botero y Zabaleta, 2011, p. 254)

1.11.3. Tipos de termografía infrarroja

Entre los diferentes tipos de termografía tenemos:

- Termografía activa
- Termografía pasiva
- Termografía comparativa cuantitativa
- Termografía comparativa cualitativa

1.11.3.1. Termografía activa

En este tipo de termografía se utiliza una fuente de energía ajena, que incurra en el equipo de estudio para originar un contraste térmico, admitiendo imágenes claras de las fallas y creando patrones de temperatura en la superficie (Lucchi, 2018, p. 5).

1.11.3.2. Termografía pasiva

Es aquella que mide las diferencias de temperatura, en este método no hace referencia a una fuente de energía ajena, la radiación está dado por un proceso de transferencia de calor, originado por el rozamiento mecánico, fluidos en movimiento, corriente eléctrica del equipo analizado (Rodríguez, 2017, p. 25).

1.11.3.3. Termografía comparativa cuantitativa

Este tipo de termografía es un procedimiento eficiente en la evaluación de las condiciones en los equipos, mediante el análisis de temperaturas, empleando aproximaciones rápidas de emisividad, reflectiva y transmisividad (Rodríguez, 2017, p. 42).

1.11.3.4. Termografía comparativa cualitativa

Realiza una comparación de patrones o perfiles térmicos de los equipos, con uno igual o parecido que este en las mismas condiciones de trabajo, las variaciones se identifican por variaciones de intensidad entre los componentes de los equipos (Rodríguez, 2017, p. 42).

1.11.4. Termograma

El termograma es la imagen térmica que resulta de la captura de un objeto que emita radiación, por medio de un dispositivo el cual consta de un sistema de video, termómetros ópticos, proporcionando como resultado la diferencia de colores del cuerpo de estudio para apreciar y leer de forma concisa las temperaturas de la imagen (Silva-Juárez et al., 2017, p. 26).

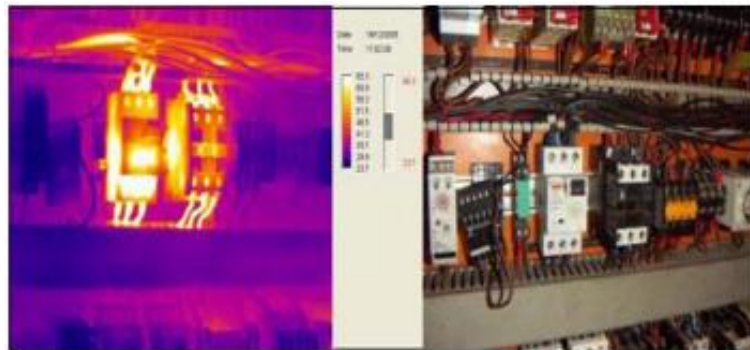


Figura 13-1: Termograma de un PLC sobrecargado

Fuente:(Silva-Juárez et al., 2017, p. 26)

1.11.5. Cámara termográfica

Las cámaras IRT son equipos que pueden medir la emisión natural de la radiación infrarroja del objeto a monitorear, determinando la temperatura y crear una imagen térmica, obteniendo un procesamiento digital de las muestras realizadas (Silva-Juárez et al., 2017, p. 26).



Figura 14-1: Cámara termográfica

Fuente: (HotFind VR, p. 1)

1.11.5.1. Imagen termográfica

Las imágenes termográficas están dadas por un código de color, que se los denomina paletas de colores, cada color corresponde a una imagen isotérmica y gradientes de temperatura, favoreciendo la interpretación de los niveles de la misma (Rodríguez, 2017, p. 30).

Para una mejor interpretación se efectúa una comparación de las imágenes termográficas, entre las paletas de escala gris y las paletas de hierro.(Cruz-Albarrán et al., 2019, pp. 9-10)

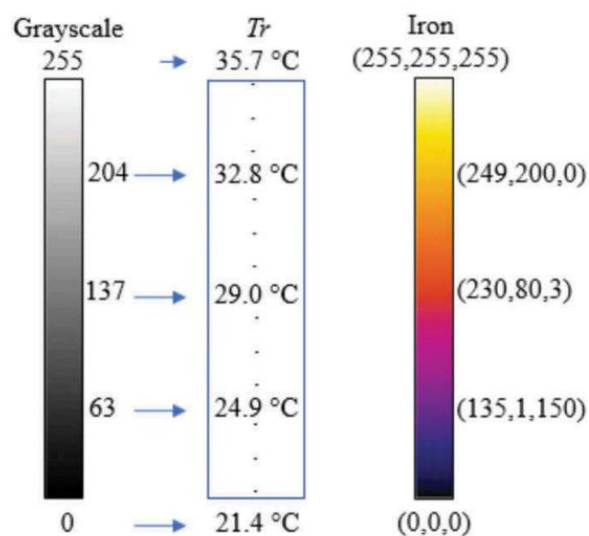


Figura 15-1: Escala de temperatura de las imágenes

Fuente: (Cruz-Albarran et al., 2019, p. 10)

1.11.5.2. Sensibilidad térmica

La sensibilidad térmica o NETD, es la diferencia de temperatura que una cámara termográfica puede percibir, cuando más bajo sea mejor se puede apreciar el contraste térmico sobre el ruido del sistema, esta se expresa en °C o mK. El NETD dependerá de la cámara utilizada y del fabricante (Cifuentes et al., 2018, p. 6).

1.11.5.3. Precisión

Es la medida precisa de temperatura de un objeto con respecto a la temperatura real, por lo general las cámaras tiene la precisión de ± 2 °C o $\pm 2\%$ para los diferentes rangos más extendidos, esto dependerá de la cámara termográfica utilizada, para visualizar (Cifuentes et al., 2018, p. 6).

1.11.6. Resolución térmica

A mayor número de píxeles se puede visualizar los detalles imperceptibles, para ello es necesario una resolución superior con el fin de observar a gran distancia los elementos y así localizar los fallos, mejorando los detalles de la imagen del diagnóstico (Rodríguez, 2017, p. 29).

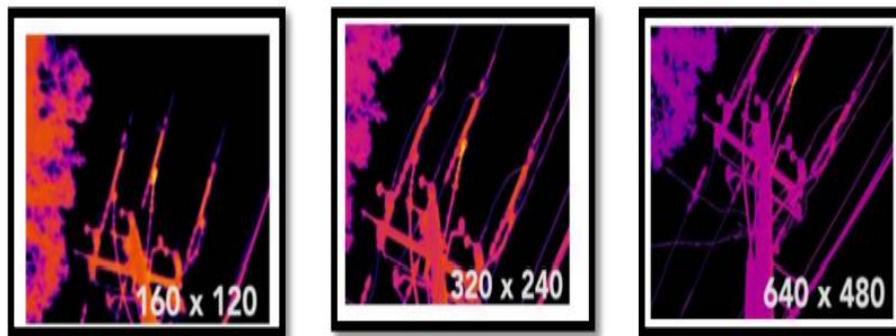


Figura 16-1: Escala de temperatura de las imágenes

Fuente (Rodríguez, 2017, p. 29)

1.11.7. Aplicaciones de la termografía

La termografía se puede aplicar en diferentes campos industriales como la generación de energía, cemento, la automatización, fabricación de aceros además en el sector marítimos, el vidrio y la electrónica (Thomas, Jones y Donne, 2017, p. 25).

Tabla 2-1: Aplicaciones de la termografía en la industria

Análisis termográfico	
Aplicaciones para la industria	
Sistemas	Eléctrico
	Mecánicos
	Energéticos
	Médicos

Fuente: (Thomas, Jones y Donne, 2017)

Realizador por: Lema B., Toapanta K, 2022

1.11.8. *Software para el Análisis termográfico*

En la actualidad existen varios softwares para el análisis termográfico de los diferentes equipos de la industria, con la finalidad de interpretar y analizar los termogramas, para lo cual el software presenta características como son medir temperatura en áreas, cambiar paletas de colores, determinar isothermas, realizar histogramas y crear la información esencial de la inspección. (Silva-Juárez et al., 2017, p. 32)

1.11.9. *Termografía en el mantenimiento predictivo*

La termografía se utiliza para las inspecciones en el mantenimiento predictivo, generalmente se usan para el diagnóstico técnico de los equipos ya sean eléctricos o mecánicos donde se pueden analizar los fallos, también se puede analizar los conductos, tuberías y válvulas en la pérdida de calor. En el mantenimiento predictivo la termografía constituye un papel fundamental por ser un ensayo no destructivo, utilizado en la detección de fallos en los sistemas mecánicos y eléctricos (FLIR Systems AB., 2011, p. 12).

1.11.10. *Inspecciones directas e indirectas*

En las inspecciones se puede obtener medidas directas de un punto caliente sin aislamiento térmico y la IRT es pequeña, para las inspecciones indirectas de un punto caliente cuando existe aislamiento térmico con respecto a la IRT (Rodríguez, 2017, p. 26).

1.11.11. *Ventajas del método*

- Reconoce de manera ágil y contundente los dispositivos que originan los fallos en los equipos.

- Posibilita el monitoreo continuo de las piezas que ocasionan daños, resultando conveniente la planificación de su inspección y arreglo.
- En el ámbito económico minimiza los gastos por pérdidas de producción y paradas de máquinas de las empresas, interviniendo de forma inmediata en los fallos para su debida reparación.
- Este método de análisis no destructivo es seguro, ya que no existe la necesidad del contacto físico del personal con activo físico.

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Obtención de Óxido de Grafeno mediante el Método de Hummers Modificado

En la obtención de GO se utiliza el método de Hummers modificado con su respectiva adaptación, reside en reemplazar el NaNO_3 en la oxidación del grafito con mayores cantidades de KMnO_4 y H_2SO_4 según (Kumar et al., 2021, p. 7). El NaNO_3 es altamente contaminante por la liberación de gases tóxicos como el NO_2 y N_2O_4 , al eliminarlo redujo los gases tóxicos y se mejora el rendimiento en la obtención de GO (Betancur, 2019, p. 22).

1.1.2. *Reactivos, materiales y equipos para la síntesis de GO*

2.1.1.1. *Compuestos reactivos*

- 3g de grafito en polvo
- 70mL de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4)
- 9 g de permanganato de potasio (KMnO_4)
- 650 mL de agua destilada
- 30 mL de peróxido de hidrógeno al 30 % (H_2O_2)
- 750 mL de ácido clorhídrico 1:10 (HCl)
- Aceite de cocina

2.1.1.2. *Materiales y equipos*

- Balón de 3 bocas
- Bureta
- Pipeta
- Vasos de precipitación
- Vidrios de reloj
- Termómetro
- Agitador magnético con magneto
- Vidrio Pyrex
- Soporte universal

- Tubos falcón de 50mL

2.1.2. *Proceso químico de obtención de óxido de grafeno*

2.1.2.1. *Armado del equipo*



Figura 1-2: Armado del equipo

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

2.1.2.2. *Proceso de sintetizado de óxido de grafeno*

Los 3gr de grafito se añade en el balón consecuentemente, se agrega los 70 mL H_2SO_4 en el mismo, este proceso se realiza bajo agitación vigorosa, **LENTAMENTE** se añade los 9gr de $KMnO_4$.



Figura 2-2: Primeros pasos de obtención del óxido de grafeno

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

La temperatura de la reacción no debe superar los 20°C por lo que se utiliza el baño de hielo. Transcurridos 45 min transferimos al baño de aceite el cual debe ser precalentado a 60°C y se controla que la temperatura de la solución no exceda los 60 °C por 2 horas bajo vigorosa agitación.



Figura 3-2: Control de temperaturas con termómetros en la solución

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

Se agrega 150 mL de agua destilada gota a gota por 20 min, la temperatura incrementa a 90°C y por los 45 min debe ser controlada, a continuación, se añade 500mL de agua destilada la reacción, seguidamente 15 mL de peróxido de hidrógeno se colocan gota a gota, en este paso la coloración de la mezcla cambia de café oscuro a amarillo brillante, esto representa la obtención del **ÓXIDO DE GRAFITO**.



Figura 4-2: Proceso de agregación del agua destilada con el peróxido de hidrógeno

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

Esta solución es centrifugada a 3000 rpm por 20 min, el precipitado es lavado por 1 vez con una solución de 1:10 de HCL, luego se lo lava solo con agua destilada hasta llegar a un pH de 7 (generalmente de 5 a 7 lavados).



Figura 5-2: Centrifugado del grafito oxidado

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)



Figura 6-2: Suspensión coloidal del grafito oxidado

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

Finalmente, el precipitado es secado en una estufa a 50°C por 48 horas (ocupar los pyrex que son para horno).



Figura 7-2: Secado del grafito oxidado

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

El material debe ser recuperado y por cada gramo de material disolver en 1 litro de agua destilada, esta solución debe ser homogénea por lo que se sónica por 1 hora hasta que todo este disuelto.



Figura 8-2: Sonicado y agitación magnética grafito oxidado

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

Posterior a esto se centrifuga por 30 min a 1000 rpm obteniendo una suspensión de óxido de grafeno menos denso que representa el sobrenadante y óxido de grafito el material que no fue exfoliado.



Figura 9-2: Obtención de GO

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

2.1.3. *Microscopia de barrido (SEM) y EDS*

En el análisis SEM se toma fotografías de la morfología del GO, con el microscopio electrónico de barrido modelo JSM-IT100LA a diferentes micras, y en el análisis EDS la obtención de los porcentajes de los elementos presentes en las muestras de GO.



Figura 10-2: Equipo de Microscopio electrónico de barrido

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

2.1.4. *Uv-Visible*

En análisis Uv- Visible del GO se realiza con la espectroscopía UV-Visible Thermo Scientific, para observar sus características y su pico de absorción, la muestra se la coloca en cubetas de cuarzo.

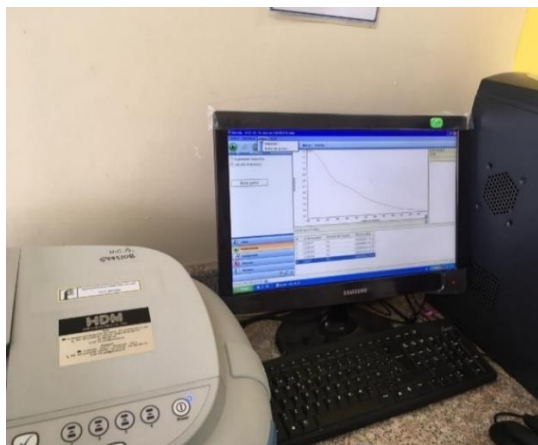


Figura 11-2: Equipo de espectroscopía UV-Visible Thermo Scientific

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

2.1.5. *Espectroscopia infrarroja (FTIR)*

El análisis FTIR del GO se utilizó para verificar los grupos funcionales, en la muestra se hace atravesar una luz de onda visible.



Figura 12-2: Equipo de Espectroscopia infrarroja (FTIR)

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

2.2. Diagnóstico del módulo de pruebas

2.2.1. *Estado técnico del módulo*

Después de haber realizado una inspección visual donde nos permite evaluar el estado real del módulo el cual presenta diferentes fallas como la corrosión, sedimentos, ensuciamiento, las cuales dificultaba la operación óptima de su funcionamiento. El módulo no cumplía con las condiciones necesarias para el análisis termográfico.

2.2.1.1. *Inspección visual (VT)*

Al realizar un ensayo no destructivo (END) o NDT (Non Destructive Testing), usado por su economía y practicidad, se evidencia las siguientes fallas que presentaba el intercambiador de calor como el ensuciamiento de las tuberías, fugas y corrosión en las entradas y salidas del radiador como en las del serpentín de cobre, una mala disposición de las fuentes de energía, y un mal diseño para el análisis termográfico. Las herramientas utilizadas son el flexómetro, calibrador pie de rey y una lupa.

La inspección visual se debe realizar bajo las normas ANSI/ASME B31.G, el código ASME SECCIÓN VIII, API STANDARTD y API 510 según corresponda. (Guzmán, 2020, p. 73)

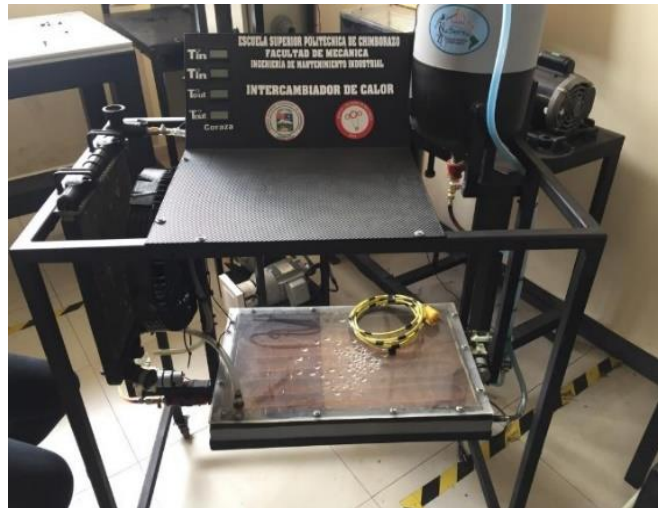


Figura 13-2: Intercambiador de calor

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

Al poner en funcionamiento el módulo de intercambio de calor esta alcanza temperaturas de trabajo (30 a 40 °C), haciendo que las tuberías pierdan sus propiedades, como es su resistencia, obstruyendo el paso del fluido y generando un sobre esfuerzo en la bomba de alimentación como se muestra en la figura 14-2.

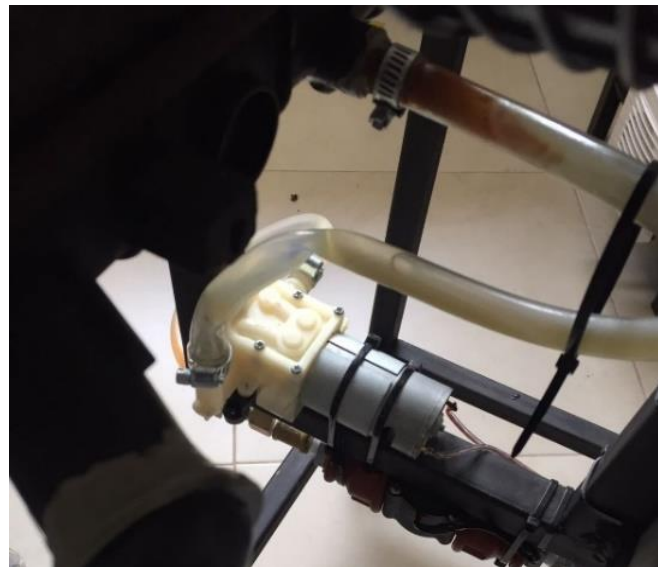


Figura 14-2: Tuberías con ensuciamiento y deformadas

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

Para poder poner en funcionamiento el módulo se encontraba con tres enchufes los cuales son incensarios, y se necesitaba de tres toma corrientes, ya que de la fuente de poder solo funcionaba una salida, y no se aprovecha en su totalidad, se cambia con otra fuente de poder.



Figura 15-2: Fuente de poder

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

2.2.1.2. Prueba neumática

Al realizar la prueba de sobre presión en el intercambiador de calor, para verificar su estanqueidad con la ayuda de un compresor, se utilizó tapones de goma en la salida de radiador y del serpentín, con una presión de 25% sobre la de diseño, donde el radiador no presenta fugas y se puede seguir utilizando. Se sometió a presión el serpentín de cobre para verificar su hermeticidad y resistencia mecánica donde se sostuvo la presión durante 3 minutos, en el serpentín se encontró con residuos de corrosión, pues el depósito se encontraba oxidado y se procede a cambiar de serpentín de cobre, en la introducción de GO no debe existir ningún agente patógeno o de ensuciamiento por que se va a recuperar el material después pruebas de trabajo.



Figura 16-2: Radiador y serpentín de cobre

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

2.2.2. Pruebas de funcionamiento para el manteniendo mejorativo

Al realizar las pruebas de funcionamiento se detectaron algunas fallas en la conexión de la bomba que hace la recirculación a través del serpentín de cobre con el depósito por condiciones de trabajo y una mala instalación anterior presenta fisuras en la entrada de la misma y debe ser reemplazada.



Figura 17-2: Bomba de agua de diafragma 12V

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

2.2.2.1. Estado del depósito

EL depósito del módulo por las condiciones de trabajo anteriores y al no realizar una protección interior este presenta corrosión y sedimentos de pintura. Donde para el OG no debe existir corrosión o ningún agente que haga que se pierda el material.



Figura 18-2: Depósito con corrosión

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

2.2.3. Modificaciones del módulo

Después de realizar la inspección visual, las pruebas neumáticas, se modifica ciertas partes del módulo conservando su estructura, y adaptando una base para la cámara termográfica a una distancia de dos metros, sin embargo, se cambia ciertas partes del intercambiador de calor como el depósito, las mangueras, el serpentín de cobre, una bomba de agua caliente y la automatización del calentador dentro del depósito.

2.2.3.1. Cambio del depósito

Se cambia el depósito por uno de acero inoxidable evitando que se produzca la corrosión en interior, con sus respectivas conexiones en la recirculación del fluido, además sus adaptaciones para la automatización en el control de temperatura.



Figura 19-2: Depósito de acero inoxidable

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

2.2.3.2. Cambio de mangueras

Las mangueras se remplazan por unas de mayor calidad, especificadas para el trabajo de alta temperatura y presión, eliminando la expansión volumétrica.



Figura 20-2: Mangueras cambiadas

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

2.2.3.3. *Serpentín de cobre*

Por el estado que se encontraba el anterior serpentín de cobre se adquiere un nuevo, conservando sus respectivas medidas para no afectar su funcionamiento.



Figura 21-2: Serpentín de cobre

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

2.2.3.4. *Automatización del calentador*

Para realizar el análisis tanto sin GO como con las concentraciones de óxido de grafeno, y la variable dependiente es la temperatura la cual debe mantenerse a 40 °C, se opta por automatizar el módulo con una termocupla tipo J, relé de estado sólido y un controlador de temperatura.



Figura 22-2: Tablero de control
Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

2.2.3.5. *Adecuaciones para la termografía*

Para realizar la termografía infrarroja es necesario ubicar la carcasa del serpentín a una distancia de un metro, para poder analizar la toma de datos obtenidas mediante la cámara termográfica, también color un soporté para la cámara termográfica y para un celular para poder registrar la toma de datos.



Figura 23-2: Intercambiador de calor
Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

2.2.4. *Mantenimiento mejorativo del módulo*

El mantenimiento de los intercambiadores de calor, se recomienda realizar periódicamente donde se debe realizar inspecciones de las partes internas y externas del módulo, por la ausencia del mantenimiento adecuado en los tubos puede generar obstrucción total, generando tensiones

térmicas, fugas en las conexiones de los tubos y/o daños estructurales en los demás componentes del equipo. Se debe tener precaución a equipos que puedan presentar incrustaciones, las cuales se debe implementar un estricto plan de remoción periódico.

2.3. Procedimiento termográfico

Mediante la norma ISO 18434 realiza una introducción a la termografía infrarroja (IRT) para el monitoreo de la condición y diagnóstico de maquinaria, ya que describe los métodos y requisitos para la realización de TI de máquinas con su respectiva seguridad y como se debe realizar la interpretación de datos y los criterios de evaluación.

2.3.1. *Equipo necesario para IRT*

- Cámara termográfica Hot Find VR
- Software Satir Report

2.3.2. *Pasos a seguir*

2.3.2.1. *Calibración de la cámara termográfica Hot Find VR*

La calibración de la cámara termográfica se realiza mediante la comparación y determinación de los valores reales con los nominales, con esto podemos saber si los termogramas obtenidos están dentro de los límites permisibles y los rangos de tolerancia.

2.3.2.2. *Ubicar la cámara térmica en el soporte*

Colocar la cámara termográfica en la posición adecuada en el soporte y el campo de visión y la distancia respectiva del serpentín de cobre.

2.3.2.3. *Enfoque de la imagen*

Se debe enfocar el serpentín de cobre para no tener imágenes desenfocadas las cuales pueden provocar resultados y mediciones erróneas.

2.3.2.4. *Parámetros de medición*

Se debe introducir los parámetros de medición de la emisividad y la temperatura ambiente. Con la ayuda del anemómetro verificamos la temperatura ambiente, la humedad relativa.



Figura 24-2: Anemómetro

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

2.4. Pruebas de funcionamiento

En las pruebas de funcionamiento se realiza a una temperatura que oscila entre 40.1 a 40.9 °C, la cual debe mantenerse en estos rangos de temperatura, se obtuvo los primeros termogramas la adecuación de la cámara con el módulo a estudiar.



Figura 25-2: Intercambiador de calor modificado

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

2.4.1. Pruebas sin óxido de grafeno

En las pruebas sin GO, donde se obtiene los datos de las temperaturas de entrada y de salida tanto del fluido caliente como del frío. El intercambiador de calor desde el momento de su encendido hasta llegar a las condiciones de trabajo tarda un tiempo de 4 minutos y 18 segundos. Las termografías obtenidas se realizan a una distancia de dos metros.

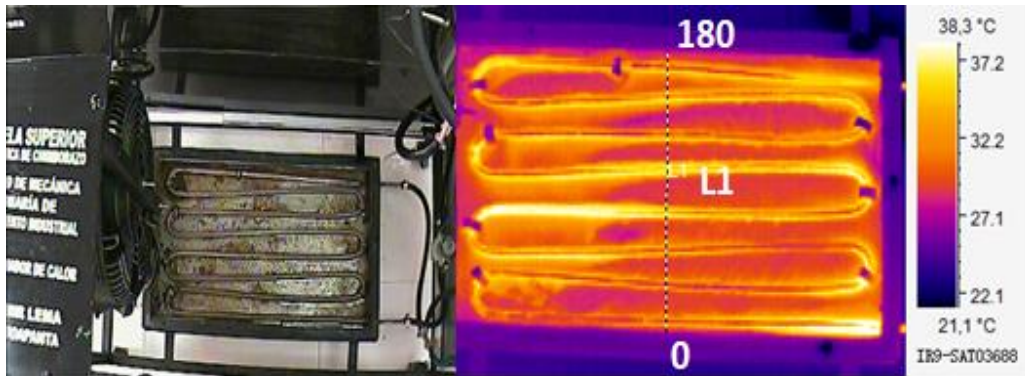


Figura 26-2: Imagen térmica y análisis de todo el serpentín sin GO

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

Tabla 1-2: Temperaturas del intercambiador de calor sin GO

TEMPERATURAS DE TRABAJO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR				
CALENTADOR		ENFRIADOR		DEPÓSITO
T _{in} °C	T _{out} °C	T _{in} °C	T _{out} °C	T constante °C
43,4	37,2	25,5	26,3	40,4

Realizado por: Lema B., Toapanta K. 2022

Las gráficas obtenidas para el análisis termográfico son de Temperatura vs Posición relativa, esta posición se obtiene de la medida de la distancia que existe de la longitud L1, que mide 324 mm, en el intercambiador de calor. En el software SatIr Report nos da un aproximado de 175 a 180 unidades relativas, se interpretan mediante una relación para saber el valor aproximado en mm.

$$\begin{aligned}
 &324 \text{ mm} \qquad \qquad \qquad 180 \text{ Unidades relativas} \\
 &\text{distancia mm} =? \qquad \qquad \qquad 1 \text{ Unidad relativa} \\
 &\text{distancia} = \frac{324 \text{ mm} * 1}{180} \\
 &\text{distancia} = 1,8 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

La distancia de cada unidad relativas es 1,8 mm, respecto a los datos obtenidos del software.

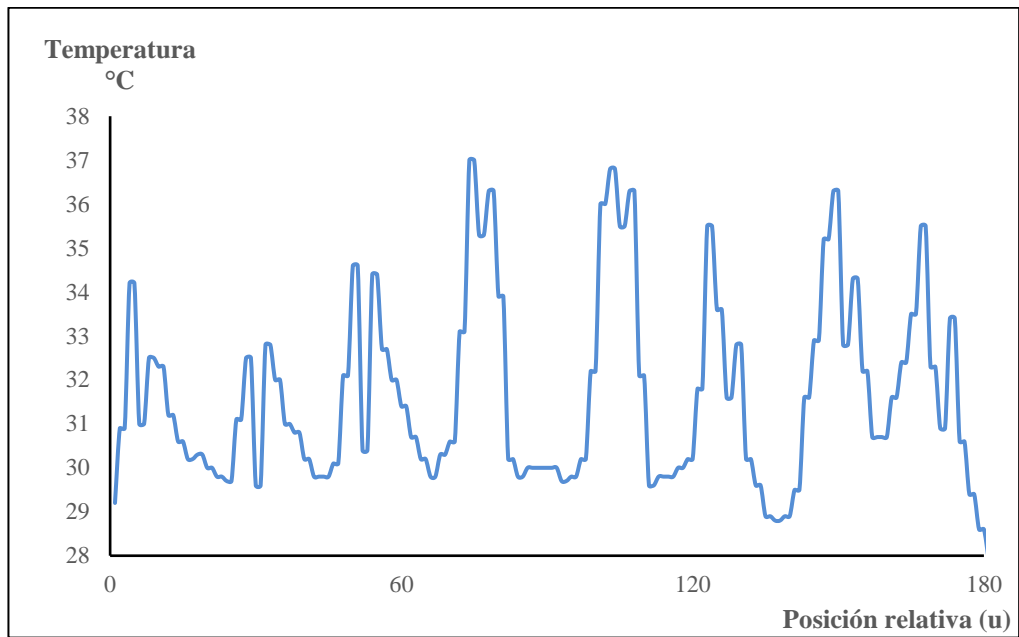


Gráfico 1-2: Análisis termográfico sin GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

2.4.2. Pruebas con diferentes concentraciones

Al contar con el GO, necesario para la introducción en el depósito del intercambiador de calor, se realiza la dilución, con las concentraciones necesarias en cada prueba requerida, con la ayuda del vaso de precipitación de 100 mL, se coloca los 50 mg de GO más los 50mL de agua destilada obteniendo una solución de 1mg/mL.



Figura 27-2: Óxido de grafeno obtenido.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

Mediante la balanza digital pesamos los 50 mg de GO para realizar la dilución. Es necesario primero pesar el vidrio reloj, encerrar la balanza y agregar el GO para la primera prueba.



Figura 28-2: Pesado del OG.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

Colocar el GO pesado en el vaso de precipitación más el agua destilada, el cual se lo debe tapar con parafilm para que no se derrame la solución.



Figura 29-2: Los 50 mg de GO más los 50 mL.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

El proceso de sonicación consiste en aplicar ultrasonido durante 10 minutos, con el objetivo que el GO que se encuentra de manera sólida, forme una dispersión a una determinada concentración.



Figura 30-2: Proceso de sonicación.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

En la agitación magnética consiste en mezclar durante 30 minutos la solución, para que esta sea homogénea. La cual se mantendrá cubierta con parafilm para no tener pérdidas del GO. La velocidad de la agitación debe ser baja, si se aumenta los rpm el magneto se vuelve inestable e impide la agitación.



Figura 31-2: Proceso de agitación magnética.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

Al final se obtiene una solución perfectamente homogénea del GO con al agua destilada para la introducción del intercambiador de calor.



Figura 32-2: Proceso homogenización del GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

Esta solución homogénea se introduce en el depósito del intercambiador de calor para la toma de datos necesarios de la investigación. Tener mucha precaución al colocar en el depósito. El intercambiador de calor debe estar apagado para observar el tiempo tarda en llegar a las condiciones de trabajo.



Figura 33-2: Proceso de introducción en depósito.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

2.4.2.1. Pruebas con el 1,32 % de óxido de grafeno

En las pruebas con 1,32% de GO, también se logró obtener las temperaturas de entrada y salida del fluido. El intercambiador de calor desde el momento de su encendido hasta llegar a las condiciones de trabajo tarda un tiempo de 4 minutos y 14 segundos. Las termografías obtenidas son importantes para el análisis se realizan a una distancia de dos metros.

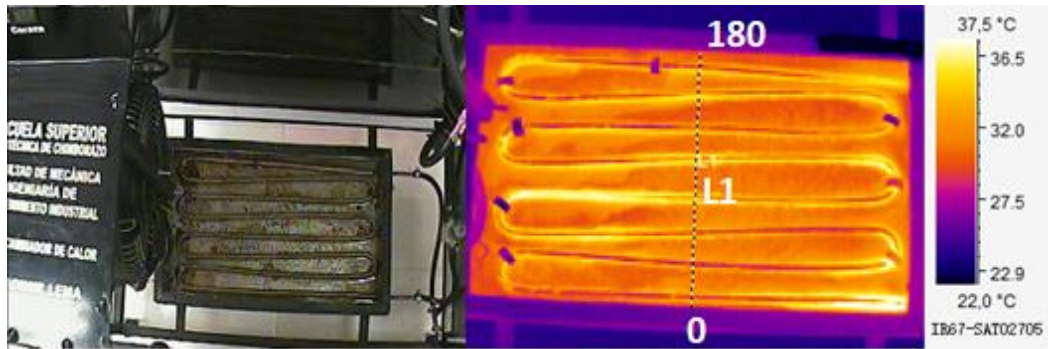


Figura 34-2: Imagen térmica y análisis de todo el serpentín con 1,32%

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

Tabla 2-2: Temperaturas del intercambiador de calor con OG

TEMPERATURAS DE TRABAJO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR				
CALENTADOR		ENFRIDOR		DEPÓSITO
Tin °C	Tout °C	Tin °C	Tout °C	T constante °C
40,7	36,2	28,5	29,8	40,8

Realizado por: Lema B., Toapanta K. 2022

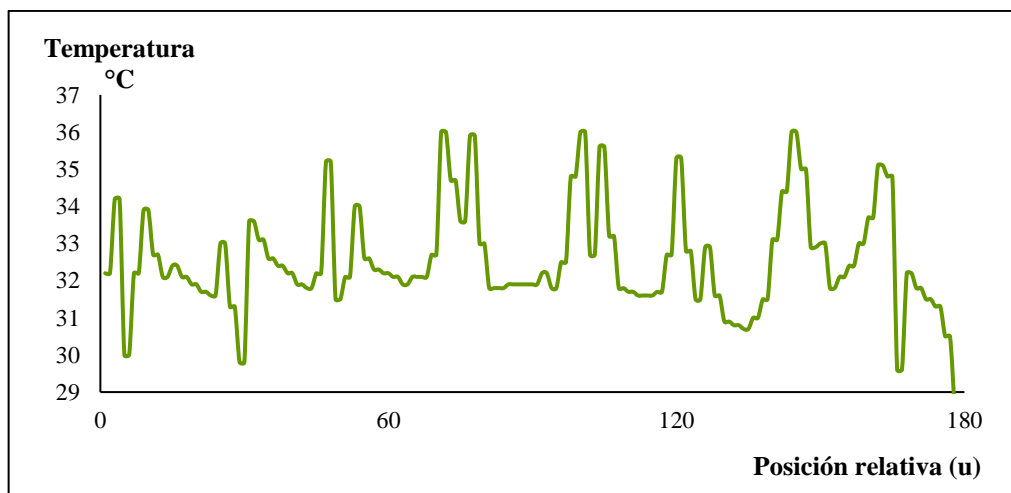


Gráfico 2-2: Análisis termográfico con 1,32% de GO

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

2.4.2.2. Pruebas con el 2,64% de óxido de grafeno

En las pruebas con 2,64% de GO, donde también se logró obtener las temperaturas de entrada y salida del fluido. El intercambiador de calor desde el momento de su encendido hasta llegar a las condiciones de trabajo tarda un tiempo de 4 minutos y 14 segundos. Las termografías obtenidas se lo realizo a una distancia de dos metros.

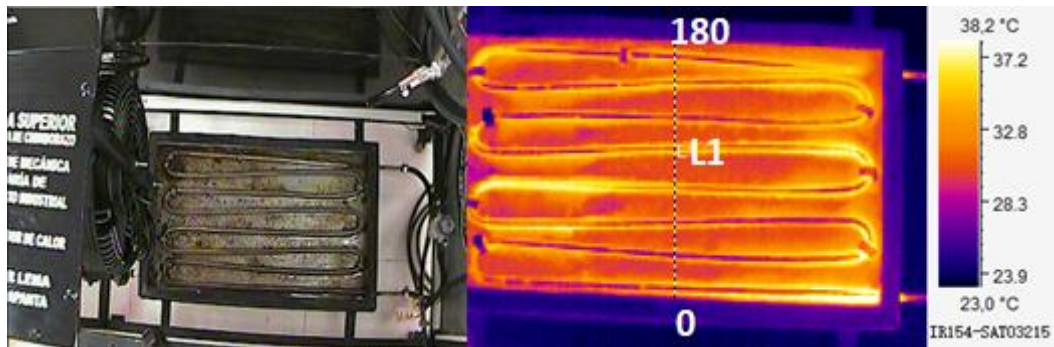


Figura 35-2: Imagen térmica y análisis de todo el serpentín con 2,64%

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

Tabla 3-2: Temperaturas del intercambiador de calor con 2,64% de OG

TEMPERATURAS DE TRABAJO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR				
CALENTADOR		ENFRIDOR		DEPÓSITO
Tin °C	Tout °C	Tin °C	Tout °C	T constante °C
40,8	37,2	27,8	29,3	40,9

Realizado por: Lema B., Toapanta K. 2022

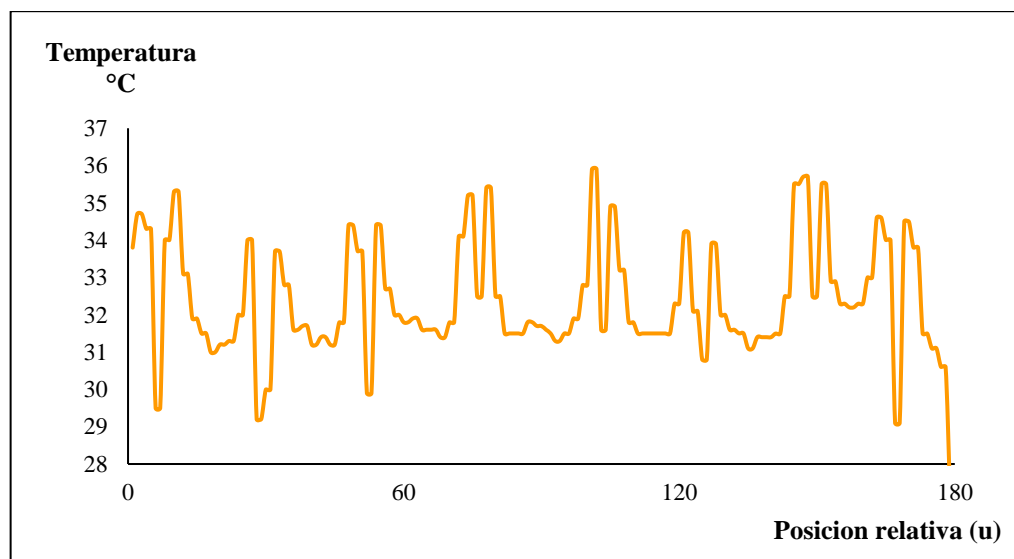


Gráfico 3-2: Análisis termográfico con 2,34% de OG

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

2.4.2.3. Pruebas con el 3,96% de óxido de grafeno

En las pruebas con 3,96% de GO, donde también se logró obtener las temperaturas de entrada y salida del fluido. El intercambiador de calor desde el momento de su encendido hasta llegar a las condiciones de trabajo tarda un tiempo de 4 minutos y 14 segundos. Los termogramas obtenidos se lo realizo a una distancia de dos metros.

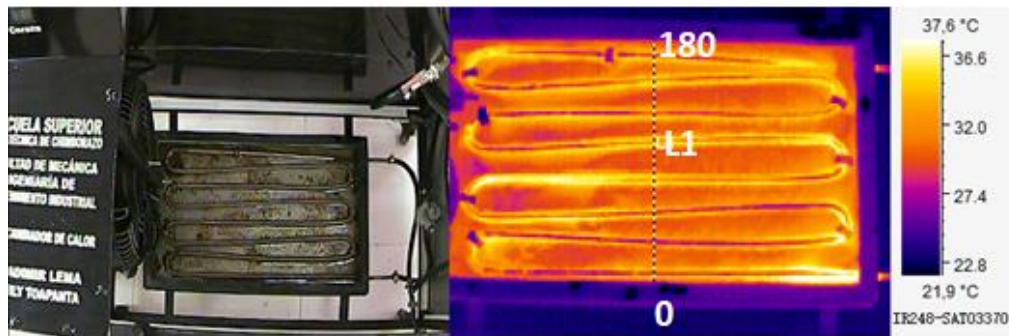


Figura 36-2: Imagen térmica y análisis de todo el serpentín con 3,96%

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

Tabla 4-2: Temperatura del intercambiador de calor con 3,96% de GO

TEMPERATURAS DE TRABAJO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR				
CALENTADOR		ENFRIDOR		DEPÓSITO
T _{in} °C	T _{out} °C	T _{in} °C	T _{out} °C	T constante °C
42,2	36,2	27,4	28,9	40,6

Realizado por: Lema B., Toapanta K. 2022

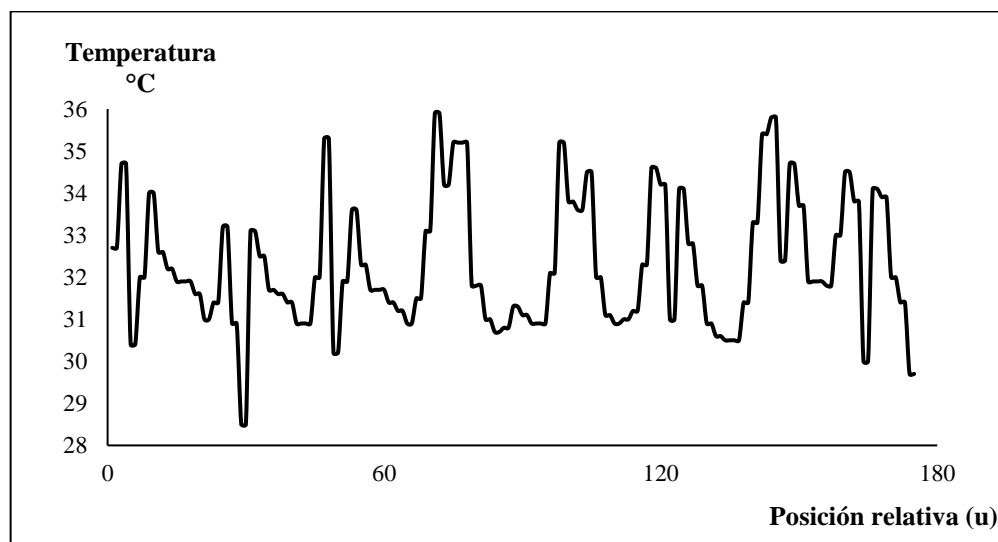


Gráfico 4-2: Análisis termográfico con 3,96% de GO

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

2.4.3. *Recuperación de óxido de grafeno*

En la recuperación de los porcentajes de GO se coloca en vasos de precipitación de 1000 ml, el GO que se introdujo en las pruebas pertinentes, donde se los tapa con papel aluminio es perforado en pequeños agujeros para que pueda secar el nanomaterial.



Figura 37-2: Vasos de precipitación con el GO a recuperar

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

Se coloca los vasos de precipitación dentro del horno o estufa donde se debe programar la temperatura



Figura 38-2: Vasos de precipitación colocados en el horno

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

En el horno se programa la temperatura a 60°C, donde en el panel de control nos indica la temperatura actual del horno con la temperatura programada para el secado total.



Figura 39-2: Estufa a 50°C

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

Al observar que el agua destilada se ha evaporado retiramos de la estufa, donde el material está prácticamente pegado a las paredes y en fondo de los vasos de precipitación, con la ayuda de una espátula removemos el GO.



Figura 40-2: Espátula en la recuperación de GO

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

Al recolectar de los 4 vasos de precipitación se procede a pesar material que fue introducido en intercambiador de calor. Al pesar el material se tiene 215 mg de GO, pero al inicio se utiliza 150 mg, se realiza el estudio del SEM y EDS para saber que elementos están presentes con el GO.



Figura 41-2: Peso del material recuperado

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Recolección de datos

En la recolección de los datos se considera las pruebas sin GO, con las de los diferentes porcentajes de GO, donde se tiene las temperaturas y las posiciones relativas, para lo cual se utiliza la regresión polinomial de las 50 termografías sin GO, las termografías con el 1,32%, el 2,64% y el 3,96% de GO.

De los datos obtenidos de las termografías, donde se trazó una línea transversal que atraviesa por la mitad del serpentín de cobre, de longitud L1, para la dispersión de los gráficos se pueda comparar las diluciones de GO.

Donde se puede observar que al introducir el GO este tiende a reducir la temperatura.

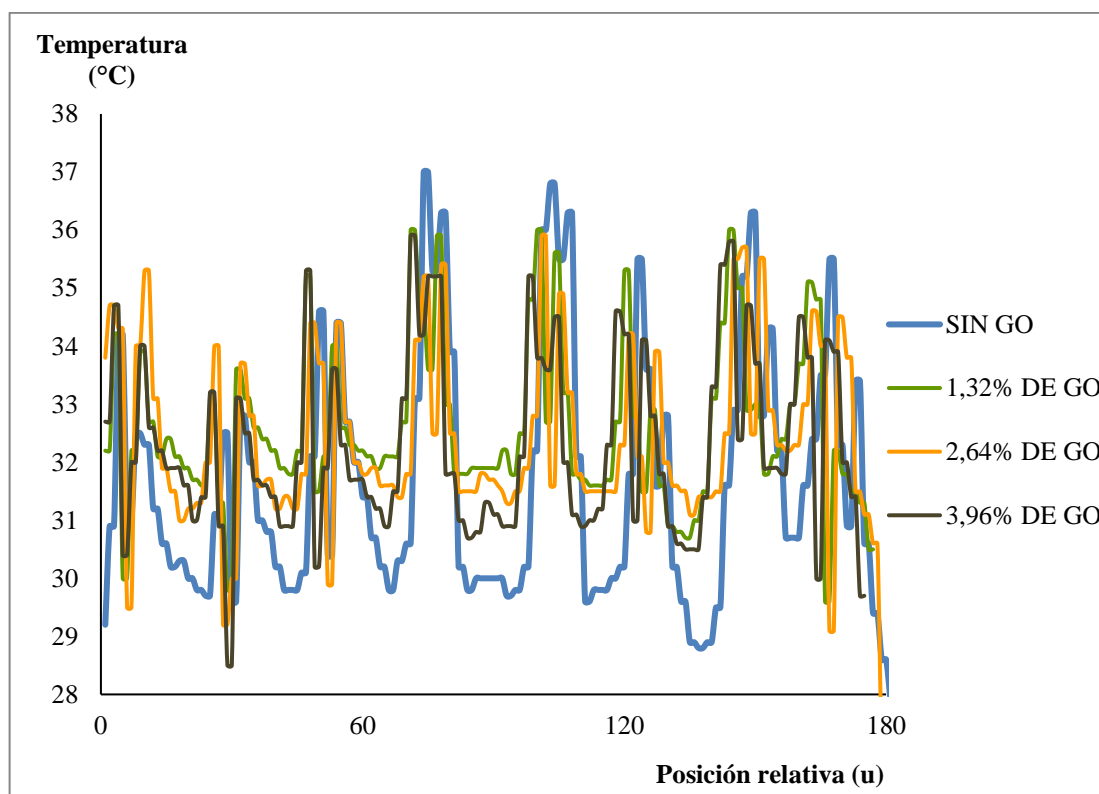


Gráfico 1-3: Análisis termográfico sin GO y con los diferentes porcentajes de GO

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

3.2. Análisis de la Microscopía de barrido (SEM) y EDS

En el análisis SEM se toma fotografías de la morfología del GO, al ser un elemento no conductor se dificulta la obtención de las imágenes a menores de 20 μm ., se aprecia en la figura 1-3.

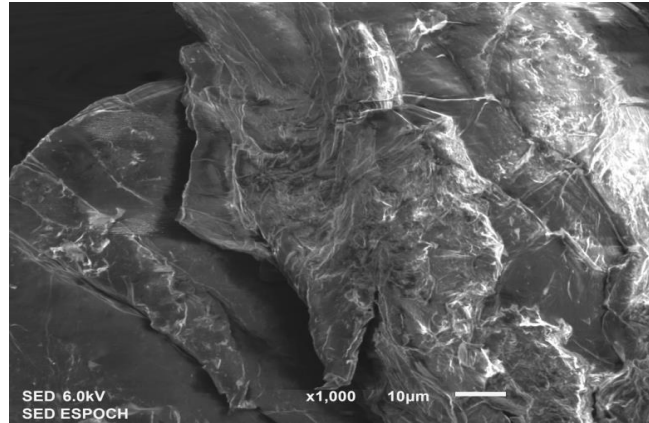


Figura 1-3: Morfología del GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

El análisis EDS preliminar del GO muestra que el material está parcialmente oxidado, donde el porcentaje de carbono (C) alcanza un 60,44% mientras que el porcentaje de oxígeno (O) se ubica en 37,54%. La técnica de Hummers modificado produce la oxidación del grafito, reportado por (Marcano et al., 2010) y (Avilés, 2017), sin embargo, se puede apreciar que todavía posee una pequeña cantidad de azufre (S), el cual fue utilizado como agente oxidante y de Sodio (Na), estos porcentajes se muestran como mínimos, por lo tanto se pueden despreciar.

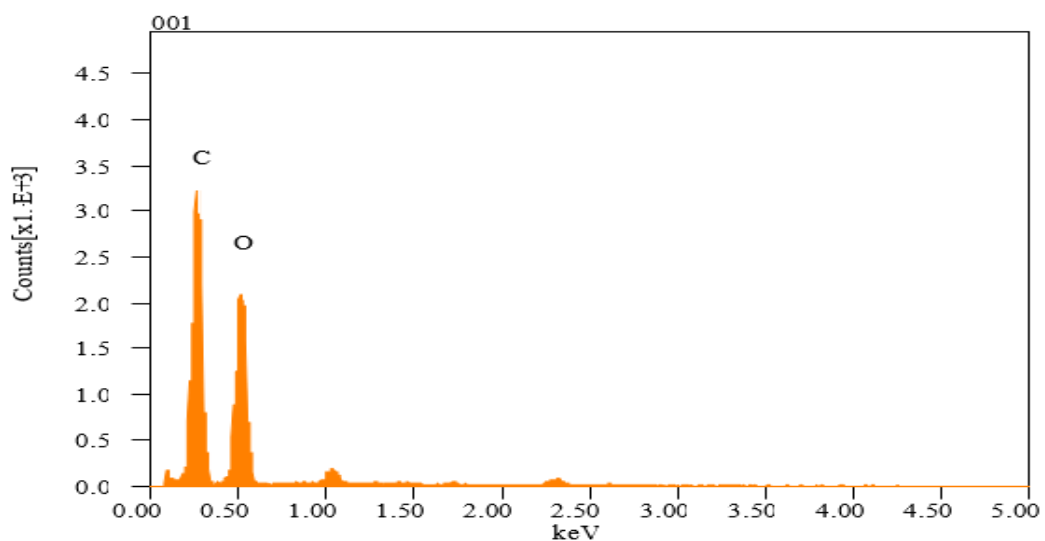


Gráfico 2-3: Análisis de GO obtenido mediante EDS.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

En la siguiente tabla se muestra los porcentajes de carbono y oxígeno, en el óxido de grafeno obtenido.

Tabla 1-3: Porcentajes del GO mediante EDS.

Formula	Masa %	Atom%	Sigma	Net	K ratio	Line
C	12.69	60.44	0.06	15626	0.0824692	K
O	10.50	37.54	0.06	11205	0.0563326	K
Na	0.53	1.31	0.01	1130	0.0033455	K
S	0.40	0.72	0.01	663	0.0029975	K
Total	24.11	100.00				

Realizado por: Lema B., Toapanta K. 2022

3.3. Análisis de Espectroscopia infrarroja (FTIR)

El GO analizado por FTIR muestra los principales grupos funcionales, donde el número de onda está en (cm^{-1}), en 3316 cm^{-1} corresponde a los estiramientos de los enlaces O-H de los grupos hidroxilos, en 2920 cm^{-1} del grupo C-H, además en 1735 cm^{-1} , 1646 cm^{-1} y 1427 cm^{-1} los grupos hidroxilos y carbonilos (C=O) y en 1218 y 1041 a los grupos funcionales epoxi (C-O-C), reportado por (Marcano et al., 2010), (Avilés, 2017).

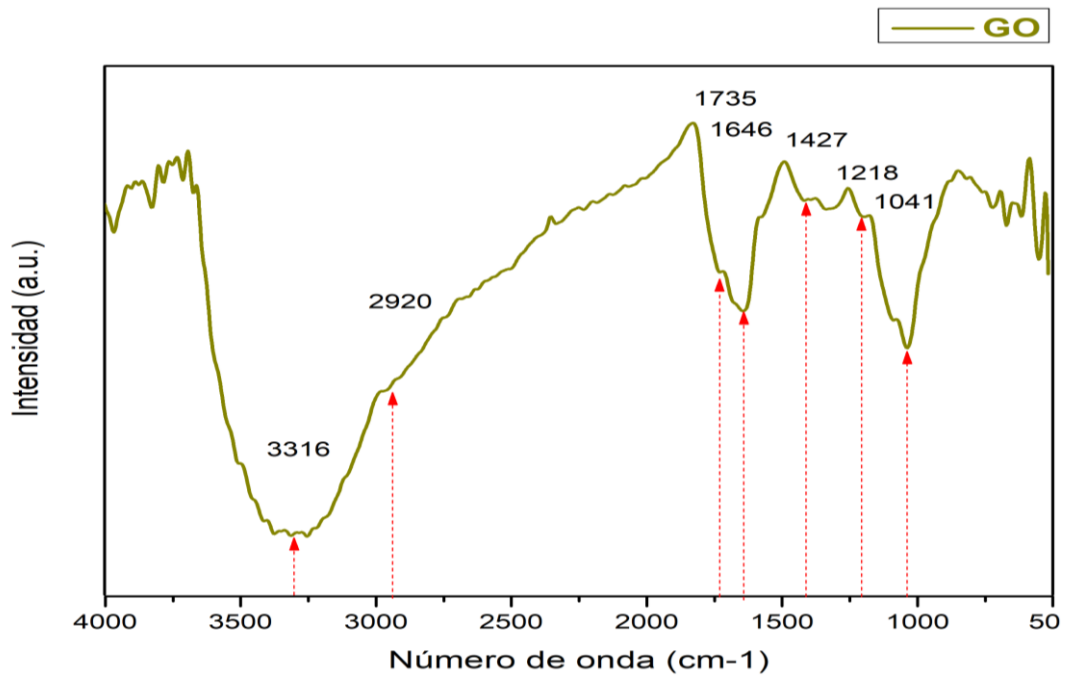


Gráfico 3-3: Análisis de GO mediante FT-IR.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

3.4. Análisis UV-Visible

En el espectro UV- visible de GO se aprecia el pico de absorción ubicado a 231 nm, el cual se debe a la transición $\pi-\pi^*$ de los enlaces aromáticos C=C, y a 300 nm la transición $n-\pi^*$ de los enlaces C=O reportados por (Marcano et al., 2010), (Avilés, 2017).

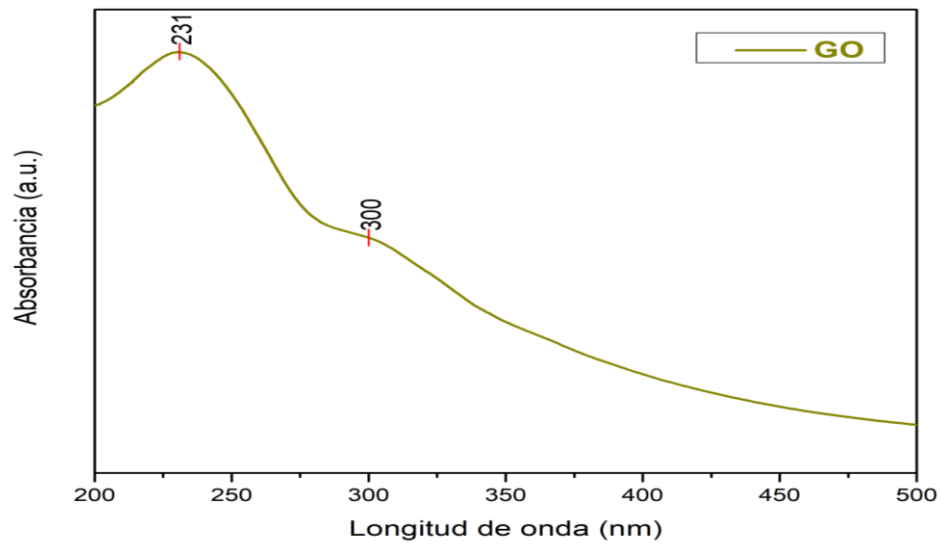


Gráfico 4-3: Análisis UV-Visible

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

3.5. Análisis del óxido de grafeno recuperado

El GO recuperado del proceso de transferencia de calor, tiene un peso mayor al introducido, al analizar su morfología a través de la microscopía electrónica de barrido (SEM) a 20 μ m y 9.0 kV se observa su textura la cual es diferentes de la figura 1-3.

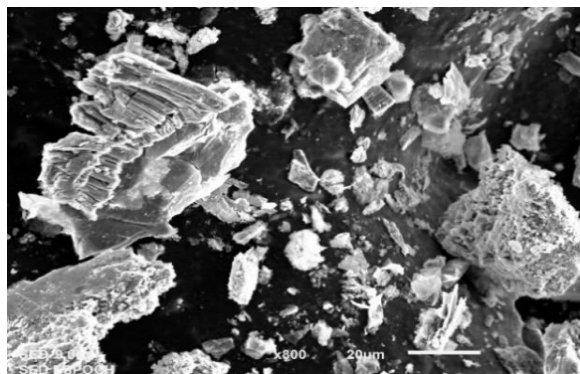


Figura 2-3: Análisis de la morfología de GO recuperado.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

En el análisis EDS de la Figura 2-3, da que el GO presenta en mayor cantidad C/O y elementos ajenos como silicio (Si), potasio (K), calcio (Ca) y cobre (Cu).

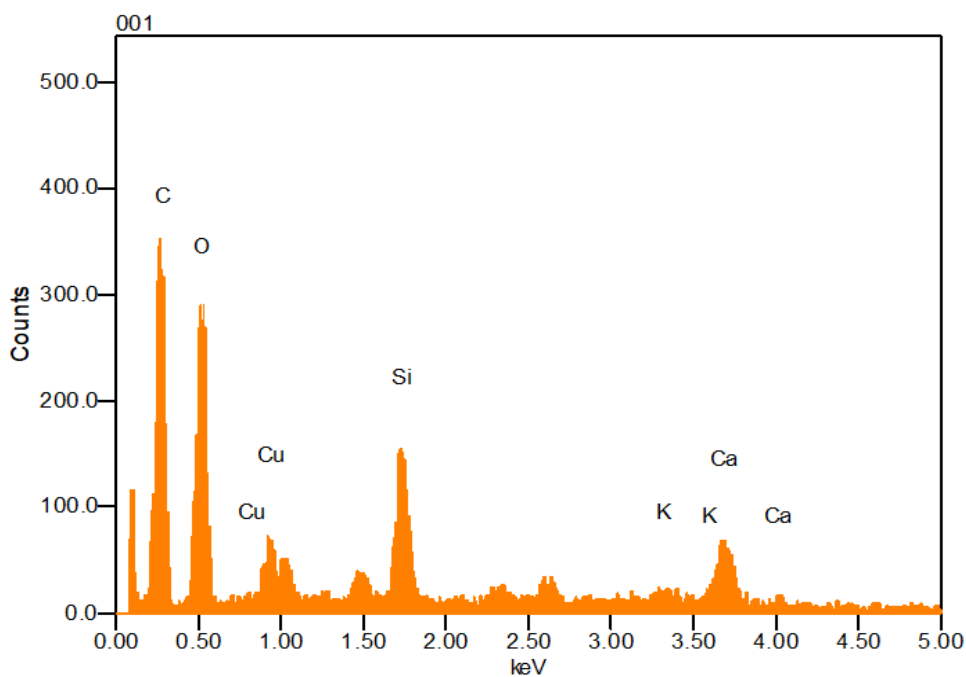


Gráfico 5-3: Análisis EDS del GO recuperado.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

En la tabla se especifica la masa con sus respectivos porcentajes de cada elemento que contienen la muestra introducida en intercambiador.

Tabla 2-3: Análisis EDS del GO recuperado

Formula	Masa %	Atom%	Sigma	Net	K ratio	Line
C	1.76	51.47	0.03	1719	0.0086251	K
O	1.44	31.73	0.02	1456	0.0069608	K
Si	0.53	6.68	0.01	1227	0.0040539	K
K	0.13	1.19	0.02	130	0.0009857	K
Ca	0.82	7.15	0.03	673	0.0061989	K
Cu	0.32	1.78	0.02	331	0.0014427	L
Total	5.00	100.00				

Realizado por: Lema B., Toapanta K. 2022

3.6. Análisis de los resultados de la termografía sin GO

El análisis sin GO es importante, ya que los resultados sirven como base para comparar, los datos con los diferentes porcentajes de GO introducidos en el intercambiador de calor, mediante mínimos cuadrados.

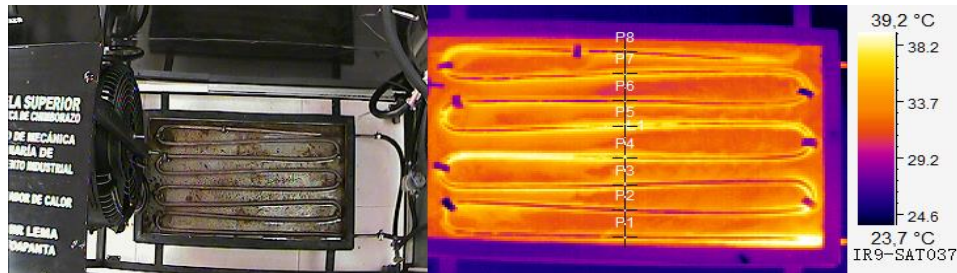


Figura 3-3: Análisis sin GO.
Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

En el software SatIr Report obtenemos los puntos de contacto del serpentín de cobre con la temperatura máxima, sobre la línea transversal.

Valores obtenidos del Software

Tabla 3-3: Valores obtenidos del Software

Image Info	Value
File Name	IR_SAT03698.SAT
Min Temp	18,0 °C
Distancie	2m
Max Temp	40,4 °C
Ambient Temp	23,4 °C
Shooting Time	3/2/2022 11:29
P1: Max Temp	31,3 °C
P2: Max Temp	30,0 °C
P3: Max Temp	30,8 °C
P4: Max Temp	36,1 °C
P5: Max Temp	36,0 °C
P6: Max Temp	31,3 °C
P7: Max Temp	33,6 °C
P8: Max Temp	29,4 °C
L1:X1-Pos	149
L1: Min Temp	28,5 °C
L1: Max Temp	36,8 °C
L1:Y2-Pos	31
L1:Y1-Pos	212
L1:X2-Pos	151

Realizado por: Lema B., Toapanta K. 2022

3.6.1. Cálculo de coeficientes del polinomial

Para el cálculo de la tendencia de temperatura en el intercambiador de calor, los datos se obtienen de la posición relativa y la temperatura de cada punto de contacto en la longitud L1 con el serpentín de cobre, para (X) los valores son de los 8 puntos de contacto, para (Y) los valores son las temperaturas obtenidas con el software Satir Report.

Tabla 4-3: Valores a calcular sin GO

X (Posición relativa)	Y (Temperatura °C)
1	31
2	29,6
3	30,4
4	36,3
5	35,5
6	31,6
7	32,8
8	30,9

Realizado por: Lema B., Toapanta K. 2022

Se realiza el cálculo de las tendencias de temperatura sobre el serpentín de cobre con los mínimos cuadrados, en nuestros datos obtenidos a través de la cámara termográfica la que mejor se ajusta, es la regresión polinomial. Donde el procedimiento de mínimos cuadrados se ajusta a los datos con un polinomio de grado superior. La ecuación se puede extender a un polinomio de m-ésimo grado, utilizando el libro de Métodos Numéricos para Ingenieros de (Chapra y Raymond, 2011).

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_mx^m + e \quad (1-3)$$

Al derivar la ecuación con respecto a cada coeficiente desconocido del polinomio, estas se igualan a cero y encontramos la matriz.

$$\begin{bmatrix} n & \sum x & \sum x^2 & \sum x^3 & \sum x^4 & \sum x^5 & \sum x^6 \\ \sum x & \sum x^2 & \sum x^3 & \sum x^4 & \sum x^5 & \sum x^6 & \sum x^7 \\ \sum x^2 & \sum x^3 & \sum x^4 & \sum x^5 & \sum x^6 & \sum x^7 & \sum x^8 \\ \sum x^3 & \sum x^4 & \sum x^5 & \sum x^6 & \sum x^7 & \sum x^8 & \sum x^9 \\ \sum x^4 & \sum x^5 & \sum x^6 & \sum x^7 & \sum x^8 & \sum x^9 & \sum x^{10} \\ \sum x^5 & \sum x^6 & \sum x^7 & \sum x^8 & \sum x^9 & \sum x^{10} & \sum x^{11} \\ \sum x^6 & \sum x^7 & \sum x^8 & \sum x^9 & \sum x^{10} & \sum x^{11} & \sum x^{12} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum y \\ \sum xy \\ \sum x^2y \\ \sum x^3y \\ \sum x^4y \\ \sum x^5y \\ \sum x^6y \end{bmatrix}$$

3.6.1.1. Cálculo de sumatorias de datos para la matriz

Tabla 5-3: Sumatorias de los datos necesarios para la regresión.

Sumatoria	Valor	Sumatoria	Valor
N	8	X ¹⁰	1,43E+09
X	36	x ¹¹	1,1E+10
x ²	204	x ¹²	8,5E+10
x ³	1296	y	258,1
x ⁴	8772	xy	1170,5
x ⁵	61776	x ² y	6613,7
x ⁶	446964	x ³ y	41746,1
x ⁷	327456	x ⁴ y	280720,1
x ⁸	2,4E+07	x ⁵ y	1965997
x ⁹	1,87E+08	x ⁶ y	14160926

Realizado por: Lema B., Toapanta K. 2022

Reemplazar los datos de la tabla 3-5, en la matriz tendremos los valores de a₀, a₁, a₂, a₃, a₄, a₅ y a₆ y obtener la ecuación de sexto grado por mínimos cuadrados.

$$\begin{bmatrix} 8 & 36 & 204 & 1296 & 8772 & 61776 & 446964 \\ 36 & 204 & 1296 & 8772 & 61776 & 446964 & 327456 \\ 204 & 1296 & 8772 & 61776 & 446964 & 327456 & 2,4E+07 \\ 1296 & 8772 & 61776 & 446964 & 327456 & 2,4E+07 & 1,87E+08 \\ 8772 & 61776 & 446964 & 327456 & 2,4E+07 & 1,87E+08 & 1,43E+09 \\ 61776 & 446964 & 327456 & 2,4E+07 & 1,87E+08 & 1,43E+09 & 1,1E+10 \\ 446964 & 327456 & 2,4E+07 & 1,87E+08 & 1,43E+09 & 1,1E+10 & 8,5E+10 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 258,1 \\ 1170,5 \\ 6613,7 \\ 41746,1 \\ 280720,1 \\ 1965997 \\ 14160926 \end{bmatrix}$$

Resolviendo

$$\begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -27,1375 \\ 137,7186 \\ -118,4815 \\ 47,5843 \\ -9,5764 \\ 0,9370 \\ -0,03548 \end{bmatrix}$$

Donde la ecuación será:

$$y = -0,035x^6 + 0,937x^5 - 9,57x^4 + 47,58x^3 - 118,48x^2 + 137,71x - 27,13$$

3.6.1.2. Cálculo para el coeficiente de correlación

Para el cálculo del coeficiente de correlación mediante según la fórmula del libro (Chapra y Raymond, 2011).

$$r^2 = \frac{\text{Variación explicada}}{\text{Variación total}} \quad (2-3)$$

$$r^2 = \frac{\sum (y' - \bar{y})^2}{\sum (y - \bar{y})^2} \quad (3-3)$$

La variación total es la desviación de los valores reales respecto a la media. La variación no explicada es la variación de los valores reales con respecto a la recta de regresión.

Tabla 6-3: Cálculo del coeficiente de correlación.

Cálculo del coeficiente de correlación				
x	y	y'	(y' - \bar{y})²	(y - \bar{y})²
1	31	31,0089383	1,593906	1,571417
2	29,6	29,5373783	7,088906	7,426288
3	30,4	30,5878459	3,468906	2,804466
4	36,3	35,9869147	16,30141	13,87126
5	35,5	35,8130812	10,48141	12,60663
6	31,6	31,4121495	0,438906	0,723096
7	32,8	32,8626165	0,288906	0,36014
8	30,9	30,8910554	1,856406	1,88086
Σ Total			41,51875	41,24416

Realizado por: Lema B., Toapanta K. 2022

Reemplazando los datos en la ecuación del coeficiente de correlación

$$r^2 = \frac{\sum (y' - \bar{y})^2}{\sum (y - \bar{y})^2}$$

$$r^2 = \frac{41,24416}{41,51875}$$

$$r^2 = 0,99338$$

$$r = 0,996687$$

Gráfica 6-3, de la representación de la regresión polinomial de sexto orden y su coeficiente de determinación, se comprueba los datos calculados con los obtenidos del Excel

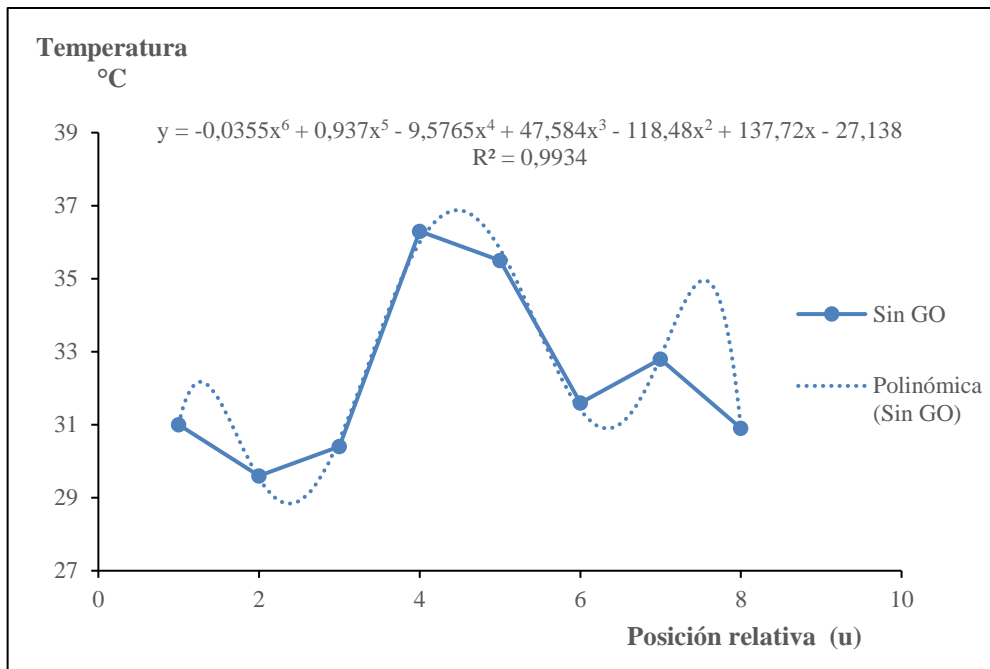


Gráfico 6-3: Regresión polinomial sin GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

3.7. Análisis de los resultados de la termografía con diferentes soluciones

3.7.1. Análisis con el 1,32% de óxido de grafeno

Al introducir el 1,32% de GO en el depósito para observar si ayuda en diagnóstico técnico de los intercambiadores, para lo cual se realiza la regresión polinomial.

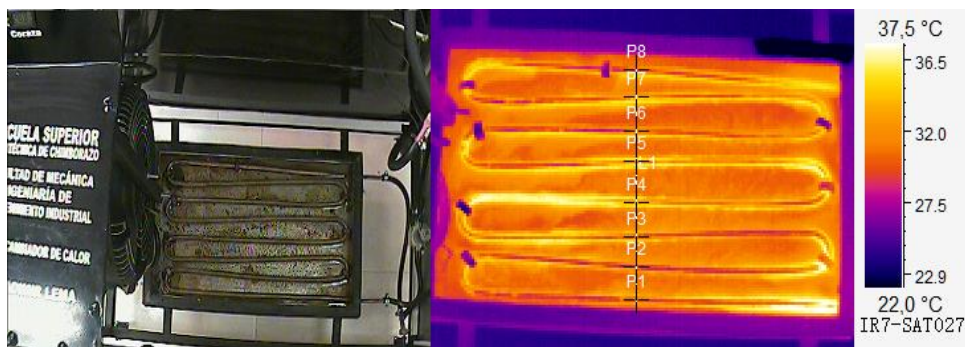


Figura 4-3: Análisis con el 1,32% de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

En el software SatIr Report obtenemos los puntos de contacto del serpentín de cobre con la temperatura máxima, sobre la línea transversal.

Tabla 7-3: Valores obtenidos del Software con el 5% de GO

Image Info	Value
File Name	IR_SAT02705.SAT
Min Temp	19,8 °C
Distancie	2m
Max Temp	39,2 °C
Ambient Temp	24,7 °C
Shooting Time	31/1/2022 14:46
P1: Max Temp	30,0 °C
P2: Max Temp	29,8 °C
P3: Max Temp	31,5 °C
P4: Max Temp	33,6 °C
P5: Max Temp	32,7 °C
P6: Max Temp	31,5 °C
P7: Max Temp	32,9 °C
P8: Max Temp	29,6 °C
L1:X1-Pos	155
L1: Min Temp	27,1 °C
L1: Max Temp	36,0 °C
L1:Y2-Pos	34
L1:Y1-Pos	212
L1:X2-Pos	155

Realizado por: Lema B., Toapanta K. 2022

3.7.2. *Cálculo de regresión polinomial*

En el cálculo de la tendencia de temperatura en el intercambiador de calor, los datos se obtienen de la posición relativa y la temperatura de cada punto de contacto de la longitud L1 con el serpentín de cobre.

Tabla 8-3: Valores a calcular con 1,32% de GO

X (Posición relativa)	Y (Temperatura °C)
1	30
2	29,8
3	31,5
4	33,6
5	32,7
6	31,5
7	32,9
8	29,6

Realizado por: Lema B., Toapanta K. 2022.

Se realiza un ajuste del polinomio a través de la regresión polinomial con los mínimos cuadrados, de la introducción de 1,32% de GO en interior del intercambiador de calor.

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_mx^m + e$$

Al derivar la ecuación con respecto a cada coeficiente desconocido del polinomio, estas se igualan a cero y encontramos la matriz.

$$\begin{bmatrix} n & \sum x & \sum x^2 & \sum x^3 & \sum x^4 & \sum x^5 & \sum x^6 \\ \sum x & \sum x^2 & \sum x^3 & \sum x^4 & \sum x^5 & \sum x^6 & \sum x^7 \\ \sum x^2 & \sum x^3 & \sum x^4 & \sum x^5 & \sum x^6 & \sum x^7 & \sum x^8 \\ \sum x^3 & \sum x^4 & \sum x^5 & \sum x^6 & \sum x^7 & \sum x^8 & \sum x^9 \\ \sum x^4 & \sum x^5 & \sum x^6 & \sum x^7 & \sum x^8 & \sum x^9 & \sum x^{10} \\ \sum x^5 & \sum x^6 & \sum x^7 & \sum x^8 & \sum x^9 & \sum x^{10} & \sum x^{11} \\ \sum x^6 & \sum x^7 & \sum x^8 & \sum x^9 & \sum x^{10} & \sum x^{11} & \sum x^{12} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum y \\ \sum xy \\ \sum x^2y \\ \sum x^3y \\ \sum x^4y \\ \sum x^5y \\ \sum x^6y \end{bmatrix}$$

3.7.2.1. Cálculo de sumatorias de datos para la matriz

Tabla 9-3: Sumatorias de los datos necesarios para la regresión

Sumatoria	Valor	Sumatoria	Valor
N	8	X ¹⁰	1,4E+09
X	36	x ¹¹	1,1E+10
x ²	204	x ¹²	8,5E+10
x ³	1296	y	251,6
x ⁴	8772	xy	1138,1
x ⁵	61776	x ² y	6428,3
x ⁶	446964	x ³ y	40600,7
x ⁷	3297456	x ⁴ y	273156
x ⁸	24684612	x ⁵ y	1913059
x ⁹	1,87E+0.8	x ⁶ y	1,4E+07

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

Reemplazar los datos de la tabla 9-3, en la matriz tendremos los valores de a₀, a₁, a₂, a₃, a₄, a₅ y a₆ y obtener la ecuación de sexto por mínimos cuadrados.

$$\begin{bmatrix} 8 & 36 & 204 & 1296 & 8772 & 61776 & 446964 \\ 36 & 204 & 1296 & 8772 & 61776 & 446964 & 327456 \\ 204 & 1296 & 8772 & 61776 & 446964 & 327456 & 2,4E+07 \\ 1296 & 8772 & 61776 & 446964 & 327456 & 2,4E+07 & 1,87E+08 \\ 8772 & 61776 & 446964 & 327456 & 2,4E+07 & 1,87E+08 & 1,43E+09 \\ 61776 & 446964 & 327456 & 2,4E+07 & 1,87E+08 & 1,43E+09 & 1,1E+10 \\ 446964 & 327456 & 2,4E+07 & 1,87E+08 & 1,43E+09 & 1,1E+10 & 8,5E+10 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 244,6 \\ 1109,2 \\ 6282,8 \\ 39769 \\ 267968 \\ 1878632 \\ 1,4E+07 \end{bmatrix}$$

Resolviendo

$$\begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 18,0249 \\ 31,3565 \\ -30,3085 \\ 13,6320 \\ -3,0064 \\ 0,3169 \\ -0,0127 \end{bmatrix}$$

Donde la ecuación será:

$$y = -0,0127x^6 + 0,316x^5 - 3,006x^4 + 13,632x^3 - 13,63x^2 + 31,35x + 18,02$$

3.7.2.2. Cálculo para el coeficiente de correlación

Para el cálculo del coeficiente de correlación mediante

$$r^2 = \frac{\sum (y' - \bar{y})^2}{\sum (y - \bar{y})^2}$$

Cálculo del coeficiente de correlación.

Tabla 10-3: Cálculo del coeficiente de correlación

Cálculo del coeficiente de correlación				
x	Y	y'	(y' - \bar{y}) ²	(y - \bar{y}) ²
1	30	30	2,1025	2,094584
2	29,8	29,78	2,7225	2,786154
3	31,5	31,55	0,0025	0,011559
4	33,6	33,50	4,6225	4,219471
5	32,7	32,91	1,5625	1,811342
6	31,5	31,44	0,0025	5,65E-05
7	32,9	32,91	2,1025	2,158467
8	29,6	29,59	3,4225	3,432642
Σ Total			16,54	16,5142

Realizado por: Lema B., Toapanta K. 2022.

Reemplazando los datos en la ecuación del coeficiente de correlación

$$r^2 = \frac{\sum (y' - \bar{y})^2}{\sum (y - \bar{y})^2}$$

$$r^2 = \frac{16,5142}{16,54}$$

$$r^2 = 0,9984446$$

$$r = 0,9992219$$

Gráfica 7-3, de la representación de la regresión polinomial de sexto orden y su coeficiente de determinación, se comprueba los datos calculados con los obtenidos del Excel.

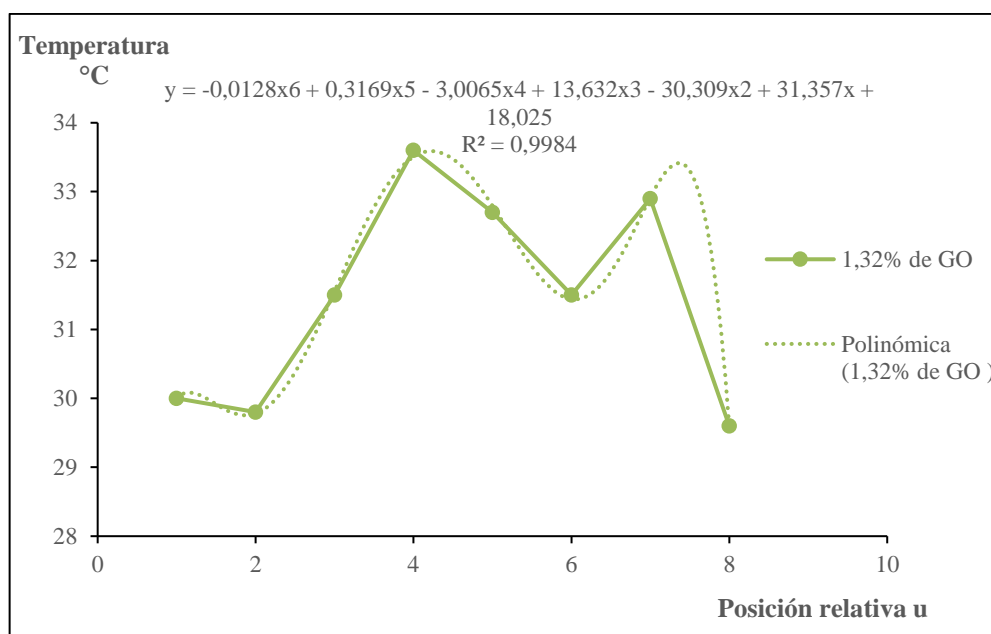


Gráfico 7-3: Regresión polinomial con 1,32% GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

3.7.3. Análisis con el 2,64% de óxido de grafeno

En la introducción de 2,64% de OG en el depósito para observar si ayuda en diagnóstico técnico de los intercambiadores, para lo cual se realiza la regresión lineal.

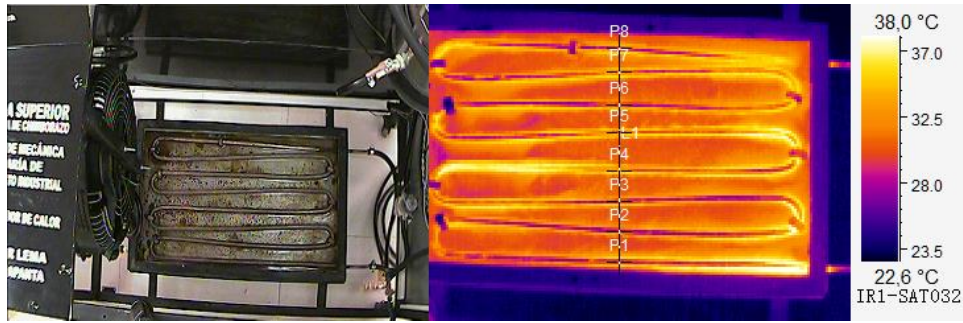


Figura 5-3: Análisis con 2,64% de OG.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

En el software SatIr Report obtenemos los puntos de contacto del serpentín de cobre con la temperatura máxima, sobre la línea transversal.

Tabla 11-3: Valores obtenidos del Software con el 2,64% de GO

Image Info	Value
Min Temp	22,1 °C
Distancie	2m
Max Temp	40,1 °C
Ambient Temp	23,7 °C
File Name	IR_SAT03215.SAT
Shooting Time	1/2/2022 9:14
P1: Max Temp	29,3 °C
P2: Max Temp	29,2 °C
P3: Max Temp	29,8 °C
P4: Max Temp	32,4 °C
P5: Max Temp	31,6 °C
P6: Max Temp	30,7 °C
P7: Max Temp	32,5 °C
P8: Max Temp	29,1 °C
L1:X1-Pos	144
L1: Min Temp	29,1 °C
L1: Max Temp	35,9 °C
L1:Y2-Pos	24
L1:Y1-Pos	202
L1:X2-Pos	144

Realizado por: Lema B., Toapanta K. 2022.

3.7.4. Cálculo de la regresión polinomial

En el cálculo de la tendencia de temperatura en el intercambiador de calor, los datos se obtienen de la posición relativa y la temperatura de cada punto de contacto de la longitud L1.

Tabla 12-3: Valores a calcular con 2,64% de GO

X (Posición relativa)	Y (Temperatura °C)
1	29,3
2	29,2
3	29,8
4	32,4
5	31,6
6	30,7
7	32,5
8	29,1

Realizado por: Lema B., Toapanta K. 2022

Se realiza un ajuste del polinomio a través de la regresión polinomial con los mínimos cuadrados, de la introducción de 2,64% de GO en interior del intercambiador de calor.

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_mx^m + e$$

Al derivar la ecuación con respecto a cada coeficiente desconocido del polinomio, estas se igualan a cero y encontramos la matriz.

$$\begin{bmatrix} n & \sum x & \sum x^2 & \sum x^3 & \sum x^4 & \sum x^5 & \sum x^6 \\ \sum x & \sum x^2 & \sum x^3 & \sum x^4 & \sum x^5 & \sum x^6 & \sum x^7 \\ \sum x^2 & \sum x^3 & \sum x^4 & \sum x^5 & \sum x^6 & \sum x^7 & \sum x^8 \\ \sum x^3 & \sum x^4 & \sum x^5 & \sum x^6 & \sum x^7 & \sum x^8 & \sum x^9 \\ \sum x^4 & \sum x^5 & \sum x^6 & \sum x^7 & \sum x^8 & \sum x^9 & \sum x^{10} \\ \sum x^5 & \sum x^6 & \sum x^7 & \sum x^8 & \sum x^9 & \sum x^{10} & \sum x^{11} \\ \sum x^6 & \sum x^7 & \sum x^8 & \sum x^9 & \sum x^{10} & \sum x^{11} & \sum x^{12} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum y \\ \sum xy \\ \sum x^2y \\ \sum x^3y \\ \sum x^4y \\ \sum x^5y \\ \sum x^6y \end{bmatrix}$$

3.7.4.1. Cálculo de sumatorias de datos para la matriz

Tabla 13-3: Sumatorias de los datos necesarios para la regresión

t	Valor	Sumatoria	Valor
n	8	X ¹⁰	1,4E+09
x	36	x ¹¹	1,1E+10
x ²	204	x ¹²	8,5E+10
x ³	1296	y	244,6
x ⁴	8772	xy	1109,2

x^5	61776	x^2y	6282,8
x^6	446964	x^3y	39769
x^7	3297456	x^4y	267968
x^8	24684612	x^5y	1878632
x^9	1,87E+08	x^6y	1,4E+07

Realizado por: Lema B., Toapanta K. 2022

Reemplazar los datos de la tabla 13-3, en la matriz tendremos los valores de $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$ y a_6 y obtener la ecuación de sexto por mínimos cuadrados.

$$\begin{bmatrix} 8 & 36 & 204 & 1296 & 8772 & 61776 & 446964 \\ 36 & 204 & 1296 & 8772 & 61776 & 446964 & 327456 \\ 204 & 1296 & 8772 & 61776 & 446964 & 327456 & 2,4E+07 \\ 1296 & 8772 & 61776 & 446964 & 327456 & 2,4E+07 & 1,87E+08 \\ 8772 & 61776 & 446964 & 327456 & 2,4E+07 & 1,87E+08 & 1,43E+09 \\ 61776 & 446964 & 327456 & 2,4E+07 & 1,87E+08 & 1,43E+09 & 1,1E+10 \\ 446964 & 327456 & 2,4E+07 & 1,87E+08 & 1,43E+09 & 1,1E+10 & 8,5E+10 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 244,6 \\ 1109,2 \\ 6282,8 \\ 39769 \\ 267968 \\ 1878632 \\ 13534405 \end{bmatrix}$$

Resolviendo

$$\begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2,7499 \\ 62,6128 \\ -53,9971 \\ 22,0426 \\ -4,5399 \\ 0,4562 \\ -0,0177 \end{bmatrix}$$

Donde la ecuación será:

$$y = -0,0177x^6 + 0,456x^5 - 4,539x^4 + 22,042x^3 - 53,99x^2 + 62,612x + 2,749$$

3.7.4.2. Cálculo para el coeficiente de correlación

Para el cálculo del coeficiente de correlación mediante

$$r^2 = \frac{\sum (y' - \bar{y})^2}{\sum (y - \bar{y})^2}$$

Tabla 14-3: Cálculo del coeficiente de correlación

Cálculo del coeficiente de correlación				
x	y	y'	(y'- \bar{y}) ²	(y- \bar{y}) ²
1	29,3	29,3068	1,6256	1,6081
2	29,2	29,1518	1,8906	2,0253
3	29,8	29,9444	0,6006	0,3976
4	32,4	32,1593	3,3306	2,5100
5	31,6	31,8406	1,0506	1,6019
6	30,7	30,5555	0,0156	0,0003
7	32,5	32,5481	3,7056	3,8932
8	29,1	29,0931	2,1756	2,1959
Σ Total			14,395	14,2327

Realizado por: Lema B., Toapanta K. 2022

Reemplazando los datos en la ecuación del coeficiente de correlación

$$r^2 = \frac{\sum (y' - \bar{y})^2}{\sum (y - \bar{y})^2}$$

$$r^2 = \frac{14,2327}{14,395}$$

$$r^2 = 0,9887$$

$$r = 0,9943$$

Gráfica 8-3, de la representación de la regresión polinomial de sexto orden y su coeficiente de determinación, se comprueba los datos calculados con los obtenidos del Excel.

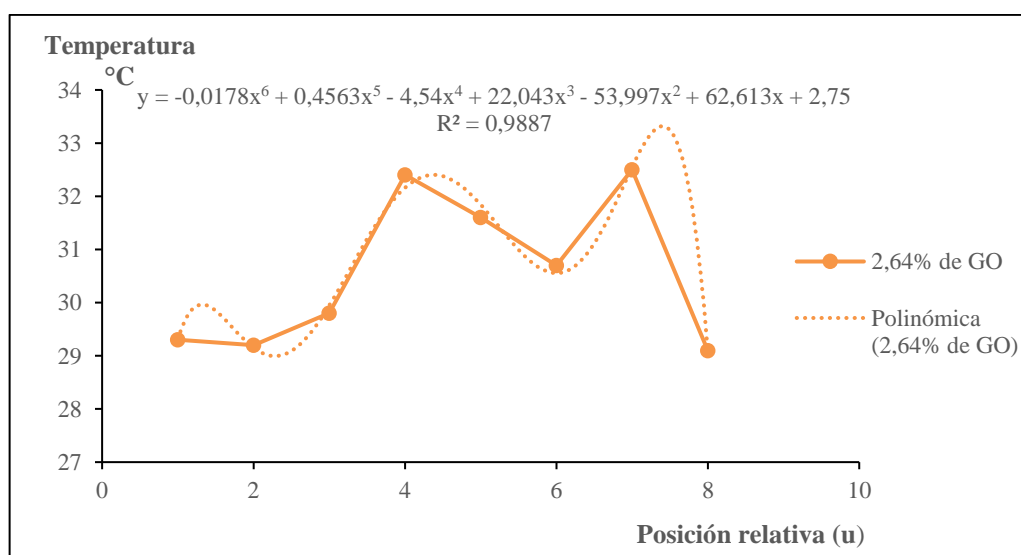


Gráfico 8-3: Regresión polinomial con el 2,64% GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

3.7.5. Análisis con el 3,96% de óxido de grafeno

Con la introducción de 3,96% de GO en el depósito para observar si ayuda en diagnóstico técnico de los intercambiadores, para lo cual se realiza la regresión lineal.

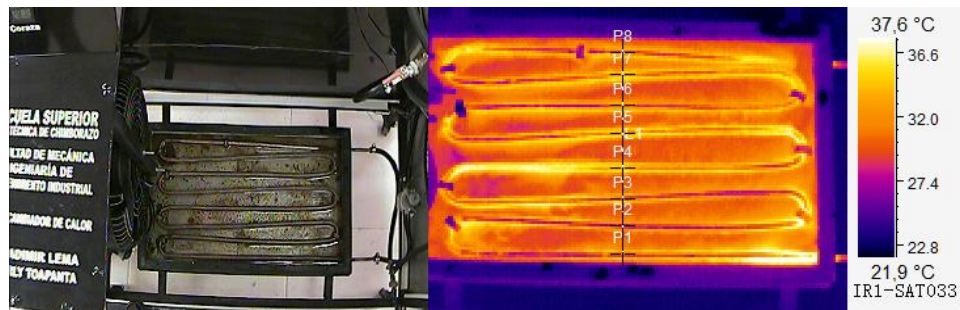


Figura 6-3: Análisis con el 3,96% de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

En el software SatIr Report obtenemos los puntos de contacto del serpentín de cobre con la temperatura máxima, sobre la línea transversal.

Tabla 15-3: Valores obtenidos del Software con el 3,96% de GO

Image Info	Value
Min Temp	18,7 °C
Distancie	2m
Max Temp	39,9 °C
Ambient Temp	23,7 °C
File Name	IR_SAT03370.SAT
Shooting Time	2/2/2022 10:33
P1: Max Temp	32,0 °C
P2: Max Temp	28,5 °C
P3: Max Temp	30,2 °C
P4: Max Temp	34,2 °C
P5: Max Temp	33,8 °C
P6: Max Temp	31,0 °C
P7: Max Temp	32,4 °C
P8: Max Temp	30,0 °C
L1:X1-Pos	148
L1: Min Temp	28,5 °C
L1: Max Temp	35,9 °C
L1:Y2-Pos	24
L1:Y1-Pos	199
L1:X2-Pos	148

Realizado por: Lema B., Toapanta K. 2022.

3.7.6. Cálculo de coeficientes del polinomial

En el cálculo de la tendencia de temperatura en el intercambiador de calor, los datos se obtienen de la posición relativa y la temperatura de cada punto de contacto de la longitud L1.

Tabla 16-3: Valores a calcular con 3,96% de GO

X (Posición relativa)	Y (Temperatura °C)
1	29,3
2	29,2
3	29,8
4	32,4
5	31,6
6	30,7
7	32,5
8	29,1

Realizado por: Lema B., Toapanta K. 2022.

Se realiza un ajuste del polinomio a través de la regresión polinomial con los mínimos cuadrados, de la introducción de 2,64 de GO en interior del intercambiador de calor.

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_mx^m + e$$

Al derivar la ecuación con respecto a cada coeficiente desconocido del polinomio, estas se igualan a cero y encontramos la matriz.

$$\begin{bmatrix} n & \sum x & \sum x^2 & \sum x^3 & \sum x^4 & \sum x^5 & \sum x^6 \\ \sum x & \sum x^2 & \sum x^3 & \sum x^4 & \sum x^5 & \sum x^6 & \sum x^7 \\ \sum x^2 & \sum x^3 & \sum x^4 & \sum x^5 & \sum x^6 & \sum x^7 & \sum x^8 \\ \sum x^3 & \sum x^4 & \sum x^5 & \sum x^6 & \sum x^7 & \sum x^8 & \sum x^9 \\ \sum x^4 & \sum x^5 & \sum x^6 & \sum x^7 & \sum x^8 & \sum x^9 & \sum x^{10} \\ \sum x^5 & \sum x^6 & \sum x^7 & \sum x^8 & \sum x^9 & \sum x^{10} & \sum x^{11} \\ \sum x^6 & \sum x^7 & \sum x^8 & \sum x^9 & \sum x^{10} & \sum x^{11} & \sum x^{12} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum y \\ \sum xy \\ \sum x^2y \\ \sum x^3y \\ \sum x^4y \\ \sum x^5y \\ \sum x^6y \end{bmatrix}$$

3.7.6.1. Cálculo de sumatorias de datos para la matriz

Tabla 17-3: Sumatorias de los datos necesarios para la regresión.

Sumatoria	Valor	Sumatoria	Valor
n	8	X ¹⁰	1,4E+09
x	36	x ¹¹	1,1E+10
x ²	204	x ¹²	8,5E+10
x ³	1296	y	252,1
x ⁴	8772	xy	1138,2
x ⁵	61776	x ² y	6433,6
x ⁶	446964	x ³ y	40658,4
x ⁷	3297456	x ⁴ y	273663
x ⁸	24684612	x ⁵ y	1917571
x ⁹	1,87E+08	x ⁶ y	1,4E+07

Realizado por: Lema B., Toapanta K. 2022

Reemplazar los datos de la tabla 17-3, en la matriz tendremos los valores de a₀, a₁, a₂, a₃, a₄, a₅ y a₆ y obtener la ecuación de sexto por mínimos cuadrados.

$$\begin{bmatrix} 8 & 36 & 204 & 1296 & 8772 & 61776 & 446964 \\ 36 & 204 & 1296 & 8772 & 61776 & 446964 & 327456 \\ 204 & 1296 & 8772 & 61776 & 446964 & 327456 & 2,4E+07 \\ 1296 & 8772 & 61776 & 446964 & 327456 & 2,4E+07 & 1,87E+08 \\ 8772 & 61776 & 446964 & 327456 & 2,4E+07 & 1,87E+08 & 1,43E+09 \\ 61776 & 446964 & 327456 & 2,4E+07 & 1,87E+08 & 1,43E+09 & 1,1E+10 \\ 446964 & 327456 & 2,4E+07 & 1,87E+08 & 1,43E+09 & 1,1E+10 & 8,5E+10 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 252,1 \\ 1138,2 \\ 6433,6 \\ 40658,4 \\ 273663 \\ 1917871 \\ 1,4E+07 \end{bmatrix}$$

Resolviendo

$$\begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 12,0124 \\ 57,4600 \\ -58,310 \\ 25,8203 \\ -5,5239 \\ 0,5635 \\ -0,0220 \end{bmatrix}$$

Donde la ecuación será:

$$y = -0,22x^6 + 0,5635x^5 - 5,523x^4 + 25,82x^3 - 58,31x^2 + 57,460x + 12,012$$

3.7.6.2. Cálculo para el coeficiente de correlación

Para el cálculo del coeficiente de correlación mediante

$$r^2 = \frac{\sum (y' - \bar{y})^2}{\sum (y - \bar{y})^2}$$

Tabla 18-3: Cálculo del coeficiente de correlación

Cálculo del coeficiente de correlación				
x	y	y'	(y' - \bar{y}) ²	(y - \bar{y}) ²
1	32	32,0004	0,2376	0,2380
2	28,5	28,4969	9,0751	9,0936
3	30,2	30,2091	1,7226	1,6986
4	34,2	34,1847	7,2226	7,1406
5	33,8	33,8152	5,2326	5,3028
6	31	30,9908	0,2626	0,2721
7	32,4	32,4030	0,7876	0,7930
8	30	29,9995	2,2876	2,2889
Σ Total			26,8287	26,8281

Realizado por: Lema B., Toapanta K. 2022.

Reemplazando los datos en la ecuación del coeficiente de correlación

$$r^2 = \frac{\sum (y' - \bar{y})^2}{\sum (y - \bar{y})^2}$$

$$r^2 = \frac{26,8281}{26,8287}$$

$$r^2 = 0,9999$$

$$r = 0,9999$$

Gráfica 9-3, de la representación de la regresión polinomial de sexto orden y su coeficiente de determinación, se comprueba los datos calculados con los obtenidos del Excel

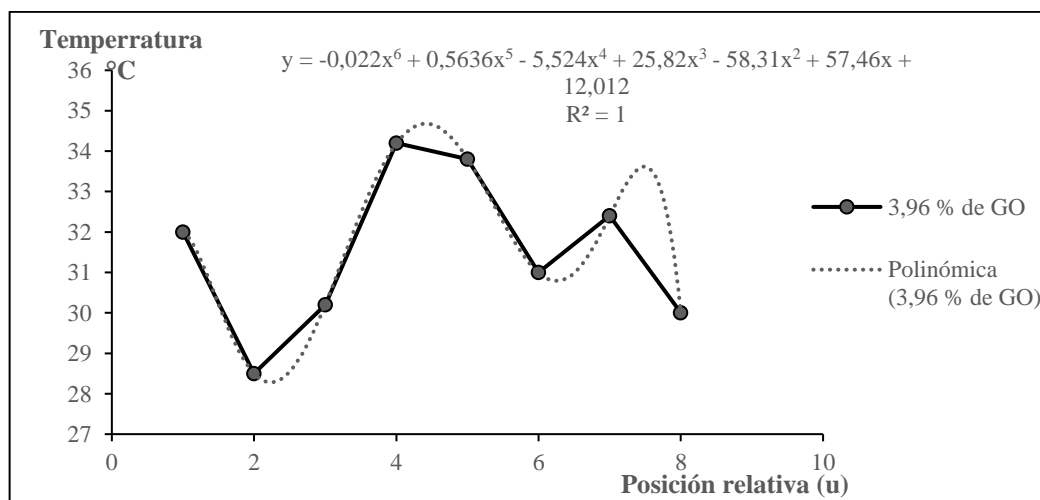


Gráfico 9-3: Regresión polinomial con el 3,96% OG.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

3.8. Tasa de transferencia de calor

Para el cálculo de la transferencia de calor del módulo se recurre la Ley de Fourier, en la conducción de calor a través de una pared cilíndrica.

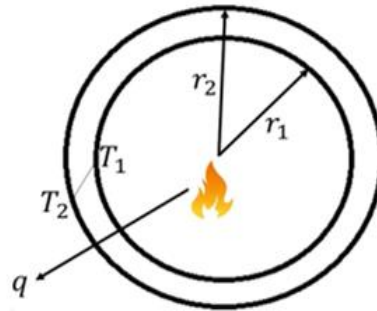


Figura 7-3: Representación del serpentín de cobre.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

Fórmula de transferencia calor es tomada del libro de termodinámica séptima edición de (Cengel y Boles, 2005).

$$q = -Ak \frac{dT}{dR} \quad (4-3)$$

Donde:

K=constante de Conductividad térmica

L= Longitud del tramo del serpentín

T₁ = Temperatura del interior

T₂=Temperatura de del exterior

Al integrar y derivar la ecuación de la transferencia de calor para un cilindro se obtiene la ecuación a calcular.

$$q = k \frac{2\pi L(T_1 - T_2)}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \quad (5-3)$$

Al reemplazar los datos obtenidos en el intercambiador de calor en la ecuación 5-3, donde se calcula el área logarítmica media.

$$q=k*Aml \frac{T1-T2}{r2-r1} \quad (6-3)$$

Para el cálculo del área logarítmica media se representa en la ecuacion 7-3.

$$Aml = \frac{2\pi l(r2-r1)}{\ln(\frac{r2}{r1})} \quad (7-3)$$

3.8.1. Cálculo de (q), sin GO

$$q=k*Aml \frac{T1-T2}{r2-r1}$$

$$q=390 \frac{W}{mK} * \frac{2\pi*0,5m*(0,097-0,077)m}{\ln(\frac{0,097m}{0,077m})} * \frac{(316,4-304)K}{(0,097-0,077)m}$$

$$q=65796,3 \text{ W}$$

3.8.2. Cálculo de (q), con el 1,32% de GO

$$q=k*Aml \frac{T1-T2}{r2-r1}$$

$$q=390 \frac{W}{mK} * \frac{2\pi*0,5m*(0,097-0,077)m}{\ln(\frac{0,097m}{0,077m})} * \frac{(313,7-303)K}{(0,097-0,077)m}$$

$$q=56775,8 \text{ W}$$

3.8.3. Cálculo de (q), con el 2,64% de GO

$$q=k*Aml \frac{T1-T2}{r2-r1}$$

$$q=390 \frac{W}{mK} * \frac{2\pi*0,5m*(0,097-0,077)m}{\ln(\frac{0,097m}{0,077m})} * \frac{(313,8-302,4)K}{(0,097-0,077)m}$$

$$q=60490,1 \text{ W}$$

3.8.4. Cálculo de (q), con el 3,96% de GO

$$q=k \cdot A_{ml} \frac{T_1-T_2}{r_2-r_1}$$

$$q=390 \frac{\text{W}}{\text{mK}} * \frac{2\pi * 0,5\text{m} * (0,097-0,077)\text{m}}{\ln\left(\frac{0,097\text{m}}{0,077\text{m}}\right)} * \frac{(315,2-305)\text{K}}{(0,097-0,077)\text{m}}$$

$$q=54122,8 \text{ W}$$

3.9. Diferencia de temperaturas media logritmica (LMTD)

En la diferencia de temperatura media logarítmica es un promedio logarítmico de la diferencia de temperatura entre las entradas de calor y frío en cada extremo del intercambiador de calor, de flujo paralelo y contracorriente.

$$Q=U \cdot A \cdot \text{LMTD} \quad (8-3)$$

Donde:

U= coeficiente global transmisión de calor.

A= Área del flujo de calor.

ΔT_{ml} o (LMTD)= variación de temperatura media logarítmica.

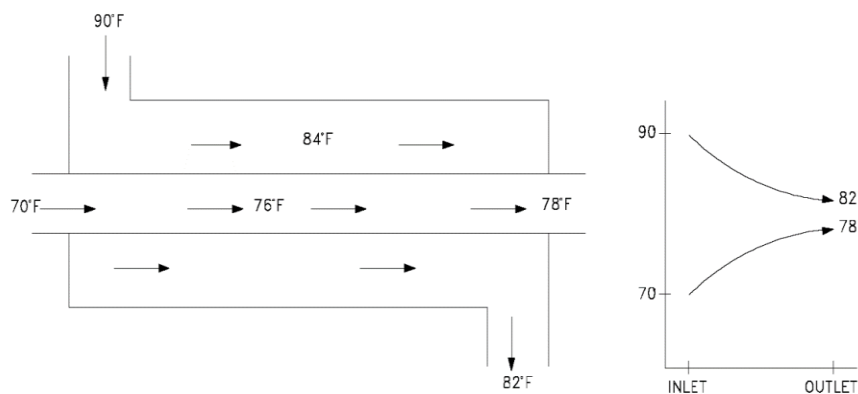


Figura 8-3: Representación del fluido en paralelo.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

Como se muestra en la figura 8-3, se puede observar la dirección del fluido, el intercambiador de calor se encuentra en paralelo para lo cual se realiza los cálculos de ΔT_{lm} o LMTD.

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \quad (9-3)$$

Para determinar la variación de temperaturas en flujo paralelo.

$$\Delta T_1 = T_{c1} - T_{f1}$$

$$\Delta T_2 = T_{c2} - T_{f2}$$

Donde:

T_{c1} = temperatura de entrada caliente.

T_{c2} = temperatura de salida caliente.

T_{f1} = temperatura de entrada fría.

T_{f2} = temperatura de salida fría.

Para el cálculo del factor de correlación se calcula la eficiencia del lado frío (P) y la razón de capacidad térmica (R).

Eficiencia del lado frío

$$P = \frac{T_{f2} - T_{f1}}{T_{c1} - T_{f1}} \quad (10-3)$$

Capacidad térmica

$$R = \frac{T_{c1} - T_{c2}}{T_{f2} - T_{f1}} \quad (11-3)$$

3.9.1. Cálculo de LMTD, sin GO

El cálculo de la diferencia de temperatura media logarítmica, se efectúa con las temperaturas que se obtienen de las termocuplas tipo K de las entradas y salidas del intercambiador de calor, que están en contacto con el fluido frío como caliente. Se calcula la variación de temperatura con la consideración que el intercambiador de calor es de flujo paralelo, donde las corrientes entran por el mismo extremo.

Cálculo de la variación de temperatura del fluido caliente y frío de las entradas y salidas.

$$\Delta T_1 = (43,4 - 25,8)^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_1 = 17,6^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_2 = (37,2 - 26,3)$$

$$\Delta T_2 = 10,9^\circ\text{C}$$

Al reemplazar en la ecuación 9-3, la variación de temperatura para un intercambiador de calor de flujo paralelo, así obteniendo la diferencia de temperatura media logarítmica sin la introducción de óxido de grafeno.

$$\text{LMTD} = \frac{(17,6 - 10,9)^\circ\text{C}}{\ln\left(\frac{17,6^\circ\text{C}}{10,9^\circ\text{C}}\right)}$$

$$\text{LMTD} = 13,98^\circ\text{C}$$

Factor de correlación se determina a través del gráfico 10-3, con los valores de la eficiencia del lado frío y la capacidad térmica.

$$P = \frac{(26,3 - 25,8)^\circ\text{C}}{(43,4 - 25,8)^\circ\text{C}}$$

$$P = 0,02$$

$$R = \frac{(43,4 - 37,2)^\circ\text{C}}{(26,3 - 25,8)^\circ\text{C}}$$

$$R = 12,4$$

Entonces el factor de corrección es igual a 1, ya que $P=0,02$ y $R=12,4$ son los valores utilizados en el gráfico 10-3.

3.9.2. Cálculo de LMTD, con 1,32% de GO.

El cálculo de la diferencia de temperatura media logarítmica, con la introducción del 1,32% de GO, las temperaturas se obtienen a través de las termocuplas tipo K que están en contacto directo con el fluido en las entradas y salidas del intercambiador de calor.

Cálculo de la variación de temperatura del fluido caliente y frío de las entradas y salidas.

$$\Delta T_1 = (40,7 - 28,5)^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_1 = 12,2^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_2 = (36,2 - 29,8)^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_2 = 6,4^\circ\text{C}$$

Al reemplazar en la ecuación 9-3, la variación de temperatura para un intercambiador de calor de flujo paralelo, así obteniendo la diferencia de temperatura media logarítmica con la introducción del 1,32% de GO.

$$\text{LMTD} = \frac{(12,2^\circ - 6,4^\circ)\text{C}}{\ln\left(\frac{12,2^\circ\text{C}}{6,4^\circ\text{C}}\right)}$$

$$\text{LMTD} = 8,9^\circ\text{C}$$

Factor de correlación de determina mediante el grafico 10-3, con los valores de la eficiencia del lado frío y la capacidad térmica.

$$P = \frac{(29,8 - 28,5)^\circ\text{C}}{(40,7 - 28,5)^\circ\text{C}}$$

$$P = 0,1$$

$$R = \frac{(40,7 - 36,2)^\circ\text{C}}{(29,8 - 28,5)^\circ\text{C}}$$

$$R = 3,46$$

El factor de corrección es igual a 0,99, ya que $P=0,1$ y $R=3,46$ son los valores utilizados en el gráfico 10-3.

3.9.3. Cálculo de LMTD, con 2,64% de GO.

El cálculo de la diferencia de temperatura media logarítmica, con la introducción del 2,64% de GO, las temperaturas se obtienen a través de las termocuplas tipo K que están en contacto directo con el fluido en las entradas y salidas del intercambiador de calor.

Cálculo de la variación de temperatura del fluido caliente y frío de las entradas y salidas.

$$\Delta T_1 = (40,8 - 27,8)^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_1 = 13^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_2 = (37,2 - 29,3)^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_2 = 7,9^\circ\text{C}$$

Al reemplazar en la ecuación 9-3, la variación de temperatura para un intercambiador de calor de flujo paralelo, así obteniendo la diferencia de temperatura media logarítmica con la introducción del 2,64% de GO.

$$\text{LMTD} = \frac{(13 - 7,9)^\circ\text{C}}{\ln\left(\frac{13^\circ\text{C}}{7,9^\circ\text{C}}\right)}$$

$$\text{LMTD} = 10,2^\circ\text{C}$$

Factor de correlación se determina con la Gráfica 10-3, con los valores de la eficiencia del lado frío y la capacidad térmica.

$$P = \frac{(29,3 - 27,8)^\circ\text{C}}{(40,8 - 27,8)^\circ\text{C}}$$

$$P = 0,1$$

$$R = \frac{(40,8 - 37,2)^\circ\text{C}}{(29,3 - 27,8)^\circ\text{C}}$$

$$R = 2,4$$

El Factor de corrección es igual a 0,99, ya que $P=0,1$ y $R=2,4$ son los valores utilizados en el gráfico 10-3.

3.9.4. Cálculo de LMTD con 3,96% de GO.

El cálculo de la diferencia de temperatura media logarítmica, con la introducción del 3,96% de GO, las temperaturas se obtienen a través de las termocuplas tipo K que están en contacto directo con el fluido en las entradas y salidas del intercambiador de calor.

Cálculo de la variación de temperatura del fluido caliente y frío de las entradas y salidas.

$$\Delta T_1 = (42,2 - 27,4)^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_1 = 14,8^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_2 = (36,2 - 28,9)^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_2 = 7,1^\circ\text{C}$$

Al reemplazar en la ecuación 9-3, la variación de temperatura para un intercambiador de calor de flujo paralelo, así obteniendo la diferencia de temperatura media logarítmica con la introducción del 3,96% de GO.

$$\text{LMTD} = \frac{(14,8 - 7,1)^\circ\text{C}}{\ln\left(\frac{14,8^\circ\text{C}}{7,1^\circ\text{C}}\right)}$$

$$\text{LMTD} = 10,4^\circ\text{C}$$

Factor de correlación se determina a través tabla del gráfico 10-3, con los valores de la eficiencia del lado frío y la capacidad térmica.

$$P = \frac{(28,9 - 27,4)^\circ\text{C}}{(42,2 - 27,4)^\circ\text{C}}$$

$$P = 0,1$$

$$R = \frac{(42,2 - 36,2)^\circ\text{C}}{(28,9 - 27,4)^\circ\text{C}}$$

$$R = 4$$

Entonces Factor de corrección es igual a 0,98, ya que $P=0,1$ y $R=4$ son los valores utilizados en el gráfico 10-3.

3.9.5. Factor de corrección (F)

En la Gráfica 10-3, para del factor de corrección de la diferencia de temperaturas media logarítmica para intercambiadores de coraza tubo con un solo paso de carcaza y pasando por el

par de tubos. Se encuentra de color azul el valor sin la introducción de GO, y con la introducción de GO representados de los colores, el color verde el 1,32% de GO, el color naranja el 2,64% de GO y el color negro el 3,96% de GO.

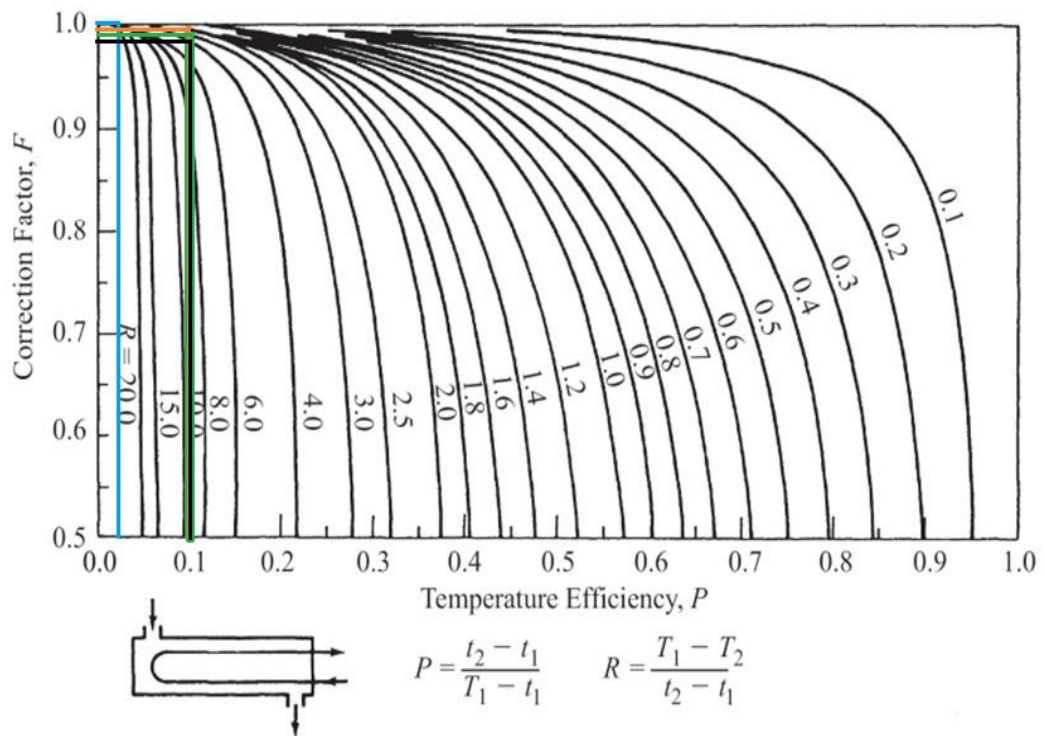


Gráfico 10-3: Gráfica del factor de corrección.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

Resultados de la LMTD y el factor de correlación sin GO y los diferentes porcentajes de GO.

Tabla 19-3: Resultados de la diferencia de temperaturas media logarítmica

DIFERENCIAS DE TEMPERATURA MEDIA LOGARITMICA				
% DE GO	LMTD (°C)	P	R	F
SIN GO	13,98	0,02	12,4	1
1,32% DE GO	8,9	0,1	3,46	0,99
2,64% DE GO	10,2	0,1	2,4	0,99
3,96% DE GO	10,4	0,1	4	0,98

Realizado por: Lema B., Toapanta K. 2022.

3.10. Análisis y discusión de resultados

Los resultados de los cálculos de la tasa de transferencia de calor para una pared cilíndrica del serpentín de cobre, sin GO y con las diferentes diluciones de GO se presentan en la siguiente tabla

20-3, datos que se recopilan de las pruebas preliminares. Se aprecia que la tasa de transferencia de calor al introducir GO, disminuye con respecto a las diferentes concentraciones de GO.

Tabla 20-3: Posición relativa y los porcentajes de GO

TRANSFERENCIA DE CALOR	
% DE GO	q(W)
SIN GO	65796,3
1,32% DE GO	56775,8
2,64% DE GO-	60490,1
3,96% DE GO	54122,8

Realizado por: Lema B., Toapanta K. 2022.

3.10.1. Tendencia de las posiciones relativas y la temperatura

Al comparar la posición relativa de los 8 puntos de contacto con los diferentes porcentajes de GO introducidos en el intercambiador de calor, muestran una relación decreciente sobre el serpentín de cobre con las temperaturas obtenidas del análisis termográfico, al realizar el cálculo de la tendencia y al analizar la pendiente se tiene que la mayoría de las tendencias disminuyen, lo que indica que la introducción de óxido de grafeno reduce o enmascara la temperatura de la frontera del volumen de control, por ende la introducción de GO no mejora el diagnóstico técnico del equipo.

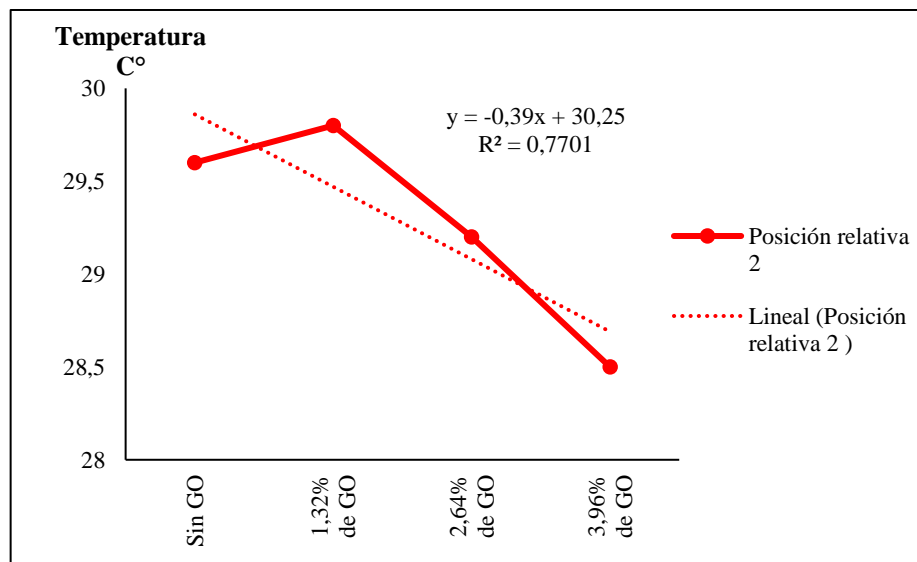


Gráfico 11-3: Gráfica de la tendencia de la posición relativa.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

Las cantidades de masa de GO, en el estudio de (Hajjar, Rashidi y Ghizatloo, 2014) donde se experimenta con nano fluidos de GO, muestra una correlación de la temperatura y el porcentaje

de GO que puede mejorar la conductividad térmica. La conductividad térmica del GO, está sujeta del porcentaje de carbono que contenga el nanomaterial, del estudio experimental reportado por (Mahanta y Abramson, 2012).

En el gráfico 11-3, del análisis de la curva mediante la regresión lineal de la posición relativa 2, al calcular la pendiente da un valor negativo por lo cual es decreciente, al ser que aumenta los porcentajes de GO la temperatura disminuye en nuestro estudio experimental también se puede observar en las gráficas de dispersión del Anexo D.

Tabla 3-21, de resumen de las tendencias de temperatura con los diferentes porcentajes de GO, al calcular un promedio de las pendientes tenemos un valor de 0,37.

Tabla 21-3: Posición relativa y los porcentajes de GO

Posición relativa	Sin GO (°C)	1,32% De GO (°C)	2,64% De GO (°C)	3,96% De GO (°C)	Tendencia	Pendiente
1	31	30	29,3	32	$y = 0,23x + 30$	0,23
2	29,6	29,8	29,2	28,5	$y = -0,39x + 30,25$	0,39
3	30,4	31,5	29,8	30,2	$y = -0,23x + 31,05$	0,23
4	36,3	33,6	32,4	34,2	$y = -0,75x + 36$	0,75
5	35,5	32,7	31,6	33,8	$y = -0,62x + 34,95$	0,62
6	31,6	31,5	30,7	31	$y = -0,26x + 31,85$	0,26
7	32,8	32,9	32,5	32,4	$y = -0,16x + 33,05$	0,16
8	30,9	29,6	29,1	30	$y = -0,32x + 30,7$	0,32
					Promedio	0,37

Realizado por: Lema B., Toapanta K. 2022.

CONCLUSIONES

El óxido de grafeno (GO) al ser aislante y semiconductor debido a grupos funcionales hidroxilo (OH), carboxilo (COOH), carbonilo (C=O) y epoxi (C-O-C), no es adecuado para mejorar el diagnóstico técnico, ya que decreta la temperatura en un 0,37 por cada grado centígrado en las pruebas preliminares.

En el cálculo de la transferencia de calor, muestra como disminuye la tasa de transferencia de calor, al introducir GO.

Al calcular LMTD se observa que la transferencia de calor disminuye al introducir óxido de grafeno. El factor de corrección de la LMTD, demuestra que la eficiencia del lado frío (P) aumenta con los porcentajes GO y la capacidad térmica (R) disminuye.

El GO recuperado presenta impurezas que absorbió en el proceso de trabajo del intercambiador de calor del estudio experimental, se realiza la microscopía electrónica de barrido (SEM) y EDS. Donde con la técnica SEM se observa su morfología y la técnica EDS indica la existencia de silicio (Si) con el 6,68%, calcio (Ca) con el 7,15%, cobre (Cu) con el 1,78% y potasio (K) con el 1,19%. Al realizar el estudio a que se debe la presencia de estos elementos químicos y cuál es su origen, se presume que el (Ca), (K) y (Si) se debe a la resistencia eléctrica sumergible de cerámica, está ubicado en el depósito y las condiciones de trabajo tiene un daño menor en la cerámica, donde puede existir un aporte o desprendimiento debido a que la cerámica está compuesta de arcilla, sílice y feldespato. El (Cu) se debe al serpentín de cobre. También se presume que los elementos químicos presentes pueden ser por una contaminación en proceso de recuperación, en el momento de secado del GO, ya que existían diferentes proyectos de investigación secándose en la estufa del laboratorio de Química Instrumental de la Facultad de Ciencias.

En el mantenimiento mejorativo del módulo de intercambio de calor se modifica el sistema de fluido caliente, de encendido y el sistema de refrigeración, puesto que por sus condiciones de trabajo presentan ensuciamiento y corrosión, el módulo debe estar en óptimas condiciones al introducir el óxido de grafeno y en la toma de los datos debe ser preciso, también para evitar impurezas en la recuperación del material, en el análisis termográfico fue necesario automatizar el depósito para mantener la temperatura constante.

RECOMENDACIONES

En la recolección de los datos tenemos que ser precisos, por lo cual la cámara termográfica debe estar configurada con los parámetros de emisividad establecidas en la norma ISO 18434-1, la temperatura ambiente, la humedad relativa mediante el anemómetro, en el enfoque de manera clara se puede calibrar con la mano o con un objeto, la cámara debe estar perpendicular con respecto a la carcasa donde se encuentra el serpentín de cobre.

Para futuras investigaciones de nanomateriales investigar cual tiene mayor conductividad térmica para aumentar la temperatura en interior del serpentín de cobre y poder mejorar el diagnóstico técnico.

En el proceso de la Oxidación del grafito es importante el control de las temperaturas de la solución al momento de agregar los agentes oxidantes ya que se producen reacciones exotérmicas, al no controlar la temperatura se puede estropear el proceso de obtención de GO.

Para calentar el agua del intercambiador de calor utilizar una resistencia calentadora sumergible que no sea cerámica.

En la obtención de GO es necesario utilizar guantes nitrilo ya que las sustancias que oxidan al grafito son ácidos para evitar complicaciones en la piel y también para no contaminar la solución.

BIBLIOGRAFÍA

ARDILA, J., & HINCAPIÉ, D. "Intercambiadores de calor de tubo en espiral Spiral tube heat exchangers". *Universidad Industrial de Santander Colombia*, vol. 3, n°2 (2012), (Colombia) pp. 203-213.

ATRIA INNOVATION . *Microscopía electrónica de barrido (SEM), ¿para qué me sirve? | Atria.* [blog]. [Consulta: 19 mayo 2022]. Disponible en: https://www.atriainnovation.com/microscopia-electronica-de-barrido-sem-utilidades/#¿Que_es_la_microscopia_electronica_de_barrido_o_SEM.

AVILÉS, J. Síntesis de óxido de grafeno por medio de mecano-química con potenciales aplicaciones electrónica. [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Licenciatura de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, México. 2017. pp. 1-2. [Consulta: 2022-08-19]. Disponible en: [http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/1958/Síntesis de óxido de grafeno mecano - química.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/1958/Síntesis_de_óxido_de_grafeno_mecano_-_química.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

BETANCUR, A. Síntesis y evaluación de propiedades anticorrosivas de nanocompuestos híbridos orgánico/inorgánico reforzados con óxido de grafeno. [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Pontificia Bolivariana, Escuela de Ciencia Básica, Facultad de Ingeniería, Colombia, 2019. pp. 1-13. [Consulta: 2022-08-19]. Disponible en: <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/4970>.

CENGEL, Y., & BOLES, B. *Termodinámica*. 7ª ed. New York-Estados Unidos: McGraw-Hill, 2005, pp. 34-56

CHAPRA, S. y RAYMOND, C. "Métodos numéricos para ingenieros". [en línea], 2011, (España) 2(4), pp. 34-39. [Consulta: 19 mayo 2022]. ISBN 9788490225370.

CIFUENTES, J. et al. "Análisis termografico" [en línea], 2018, (México) 2(1), pp. 1-10. [Consulta: 19 mayo 2022]. Disponible en: https://www.academia.edu/43352569/_ANÁLISIS_TERMOGRAFICO_?email_work_card=view-paper.

COLOM, X. et al. "Análisis estructural de Óxidos de Grafeno (GO) y Óxidos de Grafeno reducidos (rGO)". Afinidad [en línea], 2020, (Colombia) 77(12), pp. 167-174. [Consulta: 19 agosto 2022]. ISSN 2339-9686. Disponible en: <https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/377162>.

CRUZ, et al. "A new approach to obtain a colour palette in thermographic images". Quantitative InfraRed Thermography Journal [en línea], 2019, (España) 16(1), pp. 35-54. [Consulta: 19 agosto 2022]. ISSN 21167176. DOI 10.1080/17686733.2018.1509199. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/17686733.2018.1509199>.

FLIR SYSTEMS. "Guía de termografía para mantenimiento predictivo" [en línea], 2011. (México) 3(2), pp. 45. [Consulta: 21 agosto 2022]. ISSN 10806059. Disponible en: https://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/T820264/T820264_ES.pdf%0Ahttp://www.lava-ing.es/repositorio/6769/pdf/3505/2/guia-de-termografia-para-mantenimiento-predictivo.pdf.

GANEM KARLEN, C. "Termografía infrarroja para el diagnóstico térmico confiable con alta replicabilidad y bajo costo de viviendas en Mendoza, Argentina". *Revista Hábitat Sustentable* [en línea], 2018, (Argentina) 8(2), pp. 80-89. [Consulta: 5 diciembre 2021]. ISSN 07190700. DOI 10.22320/07190700.2018.08.02.06. Disponible en: <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/3363>.

GAO, W. Synthesis, structure, and characterizations [en línea]. Wei Gao. 2015. [Consulta: 5 diciembre 2021]. ISBN 9783319155005. Disponible en: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-15500-5>.

GOYKHMANN, et al. "On-Chip Integrated, Silicon-Graphene Plasmonic Schottky Photodetector with High Responsivity and Avalanche Photogain". *Nano Letters* [en línea], 2016, (España) 16(5), pp. 3005-3013. [Consulta: 15 enero 2022]. ISSN 15306992. Disponible en: DOI 10.1021/acs.nanolett.5b05216.}

GUZMÁN, H. Análisis de falla de intercambiador de calor tipo carcasa - tubos , utilizado en el sistema de regeneración de monoetilenglicol. [en línea] (Trabajo de titulación). (Especialista) Universidad Pedagógica y Tecnología de Colombia, Facultad de Ingeniería. Colombia. 2020. pp. 12-45. [Consulta: 2022-05-23]. Disponible en: https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/3170/1/TGT_Analisis_de_falla.pdf.

HAJJAR, Z., RASHIDI, A. & GHOZATLOO, A. "Enhanced thermal conductivities of graphene oxide nanofluids". *International Communications in Heat and Mass Transfer* [en línea], 2014, (United State of America) 57(4), pp. 128-131. [Consulta: 15 enero 2022]. ISSN 07351933. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2014.07.018>.

HERRADÓN, B. *Grafeno y COVID-19 : aspectos científicos y sociales Graphene and COVID-19 : scientific and social aspects.* 2020.

HotFind VR. *Servicios EneffTech* [blog] [Consulta: 1 diciembre 2021]. Disponible en: https://www.enefftech.co.uk/?page_id=1700.

IBARRA, E, et al. "Metodología De Diseño Mecánico Para Intercambiadores Tipo Tubos - Coraza, Cabezal Flotante Y Tubos En U". *Centro Azúcar*, vol. 46, n° 4 (2019), pp. 68-78. ISSN 2223-4861.

IMRAN, M., NICK, H.M. & SCHOTTING, R.J. "Application of infrared thermography for temperature distributions in fluid-saturated porous media". *Arabian Journal of Geosciences* [en línea], 2016, (United State of America) 9(4). pp. 45-67. [Consulta: 3 mayo 2022]. ISSN 18667538. DOI 10.1007/s12517-016-2353-6. Disponible en: <https://sci-hub.se/https://link.springer.com/article/10.1007/s12517-016-2353-6>.

ISO 18434-1. *Conditions of monitoring and diagnostics of machines - Thermography.* [en línea], 2008, pp. 32. ISSN 1545-0279. Disponible en: http://www.irantpm.ir/wp-content/uploads/2015/09/ISO_18434-1.pdf.

JARAMILLO, O. "Intercambiadores De Calor". *Turbulence in Porous Media* [en línea]. 2015, (United State of America) 5(3). pp. 7-11. [Consulta: 5 mayo 2022]. Disponible en: <https://www.ier.unam.mx/~ojs/pub/HeatExchanger/Intercambiadores.pdf>.

KUMAR, N. et al. "Top-down synthesis of graphene: A comprehensive review". *FlatChem* [en línea], 2021, (United State of America) 27(4). pp. 100-124. [Consulta: 27 junio 2022]. ISSN 24522627. DOI 10.1016/j.flatc.2021.100224. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.flatc.2021.100224>.

LEVENSPIEL, O. *Flujo de fluidos e intercambio de calor* [en línea]. Editorial Reverté, 2018. [Consulta: 20 noviembre 2021]. ISBN 9788429192063. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/106541>.

LI, Y. et al. "Recent Advances in Nanomaterials for Analysis of Trace Heavy Metals". *Critical Reviews in Analytical Chemistry* [en línea], 2021, (United State of America) 51(4), pp. 353-372. [Consulta: 20 noviembre 2021]. ISSN 15476510. DOI 10.1080/10408347.2020.1736505. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/10408347.2020.1736505>.

LUCCHI, E. "Applications of the infrared thermography in the energy audit of buildings: A review". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [en línea], 2018, (United State of America) 82(34), pp. 3077-3090. [Consulta: 27 noviembre 2021]. ISSN 18790690. DOI 10.1016/j.rser.2017.10.031. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.031>.

LUNAVICTORIA, M. "Síntesis y caracterización de óxido de grafeno y óxido de grafeno reducido". [en línea], 2020. (Ecuador), 23(5), pp. 12-23. [Consulta: 16 agosto 2022]. Disponible en: <http://dspace.epoch.edu.ec/bitstream/123456789/14311/1/15T00737.pdf>.

MAHANTA, N.K. & ABRAMSON, A.R., 2012. "Thermal conductivity of graphene and graphene oxide nanoplatelets". *InterSociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems, ITherm*, [en línea], 2012. (España), 23(5), pp. 1-6. ISSN 19363958. Disponible en: DOI 10.1109/ITHERM.2012.6231405.

MARCANO, D.C. et al. "Marcano Synthesis". *ACS Nano*, [en línea], 2010. (United State of America), 4(8), pp. 4806-4814. Disponible en: DOI 10.1021/nn1006368.

NICK, C. *¿Qué es el intercambiador de calor de flujo paralelo y contraflujo? Definición.* [en línea]. [Consulta: 8 enero 2022]. Disponible en: <https://www.thermal-engineering.org/es/que-es-el-intercambiador-de-calor-de-flujo-paralelo-y-contraflujo-definicion/>.

OLARTE, C.W., BOTERO, A.M. & ZABALETA, B.C. "Aplicación de la termografía en el mantenimiento predictivo Implementation of thermography in predictive maintenance". *Scientia et Technica*, vol. 12, n° 48 (2011), pp. 253-256.

ORTEGA, I. "Posibilidad del grafeno en la arquitectura". *Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid Universidad. Universidad Politécnica de Madrid*, vol. 2, n°34 (2018), (España) pp. 69.

RODRÍGUEZ, A. "Grafeno : síntesis , propiedades y aplicaciones". *Facultad De Farmacia Universidad Complutense*, vol. 3, n° 3 (2016), pp. 19.

RODRÍGUEZ, D.A. Aplicación de la termografía infrarroja como método de inspección no destructivo para el mantenimiento predictivo del proceso de extrusión de tubería en PVC. 2017.

SALIH, E. et al. "Synthesis, characterization and electrochemical-sensor applications of zinc oxide/graphene oxide nanocomposite". *Journal of Nanostructure in Chemistry* [En línea], 2016, (Chile) 6(2), pp. 137-144. [Consulta: 8 enero 2022]. ISSN 2008-9244. Disponible en: DOI 10.1007/s40097-016-0188-z.

SILVA, A. et al. 2017. "Procedimiento para Inspección de Tableros Eléctricos con Termografía Infrarroja". *Artículo Revista de Tecnología e Innovación Junio* [en línea], 2017, (España) 4(5), pp. 24-35. [Consulta: 23 enero 2022]. Disponible en: https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Tecnologia_e_innovacion/vol4num11/Revista_de_Tecnologia_e_Innovacion_V4_N11_3.pdf.

SU, C. & LOH, K. Carbocatalysts: Graphene Oxide and Its Derivatives. [en línea], 2013. (United State of America) 46(10), pp. 2275-2285. [Consulta: 23 febrero 2022]. Disponible en: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ar300118v>.

TENE, T. et al. 2020. "Toward large-scale production of oxidized graphene". *Nanomaterials*. [en línea], 2020. (United State of America) 10(2), pp. 1-11. [Consulta: 23 febrero 2022]. ISSN 20794991. Disponible en: DOI 10.3390/nano10020279.

THOMAS, R., JONES, N. & DONNE, K.E. "Infrared thermography and diagnostic monitoring Infrared thermography and diagnostic monitoring". [en línea], 2017. (United State of America), vol. 21(9). Disponible en: DOI 10.1080/13682199.2000.11784342.

TIWARI, S.K., SAHOO, S., WANG, N. & HUCZKO, A. "Graphene research and their outputs: Status and prospect". *Journal of Science: Advanced Materials and Devices* [en línea], 2020, (España) 5(1), pp. 10-29. [Consulta: 8 enero 2022]. ISSN 24682179. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jsamd.2020.01.006>.

WANG, C. et al. "An Unprecedented Interpenetrating Structure Built from Two Differently Bonded Frameworks: Synthesis, Characteristics, and Efficient Removal of Anionic Dyes from Aqueous Solutions". *Chemistry - A European Journal* [en línea], 2019, (Inglaterra) 25(33), pp. 7815-7819. [Consulta: 8 enero 2022]. ISSN 15213765. Disponible en: DOI 10.1002/chem.201900607.

ZHONG, C., YANG, B., & LI, J., 2018. "Current Progress of Nanomaterials in Molecularly Imprinted Electrochemical Sensing". *Critical Reviews in Analytical Chemistry* [en línea], 2020, (España) 48(1). pp. 15-32. [Consulta: 23 enero 2022]. ISSN 15476510. Disponible en: DOI 10.1080/10408347.2017.1360762.

ANEXOS

ANEXO A: Análisis de los termogramas a sin GO y los diferentes porcentajes de GO

En la tabla de resumen sobre las fluctuaciones y pronóstico de las temperaturas sin la introducción de GO en el intercambiador de calor donde se obtuvieron 50 datos, en 4h10m, mediante la regresión polinomial de sexto grado.

Tabla 1-4: Regresión polinomial de sexto grado sin GO resumen.

N ^o .	Regresión polinomial de sexto grado sin GO	Coefficiente de determinación
1	$y = -0,0355x^6 + 0,937x^5 - 9,5765x^4 + 47,584x^3 - 118,48x^2 + 137,72x - 27,138$	$R^2 = 0,9934$
2	$y = -0,0409x^6 + 1,0758x^5 - 10,976x^4 + 54,623x^3 - 136,87x^2 + 160,85x - 37,363$	$R^2 = 0,999$
3	$y = -0,0249x^6 + 0,6666x^5 - 6,9329x^4 + 35,133x^3 - 89,503x^2 + 107,37x - 16,025$	$R^2 = 0,9866$
4	$y = -0,0381x^6 + 1,03x^5 - 10,839x^4 + 55,912x^3 - 146,03x^2 + 179,61x - 48,363$	$R^2 = 0,9741$
5	$y = -0,0178x^6 + 0,4667x^5 - 4,6849x^4 + 22,52x^3 - 52,869x^2 + 56,509x + 9,6625$	$R^2 = 0,9841$
6	$y = -0,0371x^6 + 0,9941x^5 - 10,345x^4 + 52,556x^3 - 134,51x^2 + 161,23x - 38,1$	$R^2 = 0,9834$
7	$y = -0,0248x^6 + 0,6392x^5 - 6,3402x^4 + 30,279x^3 - 71,667x^2 + 78,922x$	$R^2 = 0,9352$
8	$y = -0,0341x^6 + 0,8916x^5 - 9,0227x^4 + 44,38x^3 - 109,24x^2 + 124,83x - 19,213$	$R^2 = 0,9795$
9	$y = -0,0283x^6 + 0,7628x^5 - 7,998x^4 + 40,941x^3 - 105,55x^2 + 127,62x - 23,463$	$R^2 = 0,9922$
10	$y = -0,0389x^6 + 1,0228x^5 - 10,413x^4 + 51,567x^3 - 128,11x^2 + 148,65x - 30,175$	$R^2 = 0,9981$
11	$y = -0,0378x^6 + 1,0025x^5 - 10,283x^4 + 51,3x^3 - 128,18x^2 + 148,76x - 29,363$	$R^2 = 0,9959$
12	$y = -0,0363x^6 + 0,9475x^5 - 9,5788x^4 + 47,035x^3 - 115,56x^2 + 132,05x - 22,075$	$R^2 = 0,9754$
13	$y = -0,0383x^6 + 1,0133x^5 - 10,377x^4 + 51,738x^3 - 129,51x^2 + 151,39x - 31,325$	$R^2 = 0,9939$
14	$y = -0,0326x^6 + 0,8745x^5 - 9,1262x^4 + 46,556x^3 - 119,85x^2 + 144,83x - 30,863$	$R^2 = 0,9955$
15	$y = -0,0335x^6 + 0,8925x^5 - 9,2386x^4 + 46,705x^3 - 119,04x^2 + 142,22x - 29,125$	$R^2 = 0,9701$
16	$y = -0,0309x^6 + 0,8224x^5 - 8,4896x^4 + 42,717x^3 - 107,9x^2 + 126,97x - 21,413$	$R^2 = 0,9371$
17	$y = -0,0339x^6 + 0,923x^5 - 9,8171x^4 + 51,363x^3 - 136,65x^2 + 171,78x - 45,9$	$R^2 = 0,9181$
18	$y = -0,0294x^6 + 0,7928x^5 - 8,296x^4 + 42,437x^3 - 109,41x^2 + 131,93x - 24,65$	$R^2 = 0,8908$
19	$y = -0,0085x^6 + 0,2478x^5 - 2,7503x^4 + 14,514x^3 - 36,995x^2 + 42,137x + 15,289$	$R^2 = 0,8927$
20	$y = -0,0285x^6 + 0,7722x^5 - 8,1584x^4 + 42,229x^3 - 110,49x^2 + 135,92x - 28,675$	$R^2 = 0,9192$
21	$y = -0,0306x^6 + 0,8172x^5 - 8,49x^4 + 43,105x^3 - 110,45x^2 + 133,21x - 26,575$	$R^2 = 0,9619$
22	$y = -0,0321x^6 + 0,8519x^5 - 8,7873x^4 + 44,302x^3 - 112,71x^2 + 134,75x - 26,3$	$R^2 = 0,9196$
23	$y = -0,034x^6 + 0,919x^5 - 9,6585x^4 + 49,71x^3 - 129,42x^2 + 158,69x - 38,625$	$R^2 = 0,9588$
24	$y = -0,0287x^6 + 0,7805x^5 - 8,2818x^4 + 43,114x^3 - 113,66x^2 + 141,06x - 31,413$	$R^2 = 0,9063$
25	$y = -0,0367x^6 + 0,9728x^5 - 10,018x^4 + 50,355x^3 - 127,33x^2 + 150,29x - 31,65$	$R^2 = 0,9635$
26	$y = -0,032x^6 + 0,8571x^5 - 8,9054x^4 + 45,185x^3 - 115,68x^2 + 139,4x - 29,238$	$R^2 = 0,9746$
27	$y = -0,0233x^6 + 0,6289x^5 - 6,6163x^4 + 34,025x^3 - 88,182x^2 + 107,43x - 15,163$	$R^2 = 0,9975$
28	$y = -0,0278x^6 + 0,7271x^5 - 7,3471x^4 + 36,093x^3 - 88,847x^2 + 102,22x - 10,638$	$R^2 = 0,9748$
29	$y = -0,0325x^6 + 0,8501x^5 - 8,591x^4 + 42,111x^3 - 103,07x^2 + 117,28x - 16,25$	$R^2 = 0,9922$
30	$y = -0,0179x^6 + 0,4735x^5 - 4,813x^4 + 23,483x^3 - 56,103x^2 + 60,61x + 8,65$	$R^2 = 0,9681$

31	$y = -0,0234x^6 + 0,6075x^5 - 6,0863x^4 + 29,447x^3 - 70,394x^2 + 76,976x + 1,7625$	$R^2 = 0,9903$
32	$y = -0,0291x^6 + 0,7821x^5 - 8,1613x^4 + 41,551x^3 - 106,46x^2 + 127,85x - 23,938$	$R^2 = 0,999$
33	$y = -0,036x^6 + 0,9587x^5 - 9,9249x^4 + 50,22x^3 - 128,32x^2 + 154,44x - 35,75$	$R^2 = 0,986$
34	$y = -0,0358x^6 + 0,9379x^5 - 9,5182x^4 + 46,97x^3 - 116,26x^2 + 134,71x - 24,913$	$R^2 = 0,9941$
35	$y = -0,0151x^6 + 0,3842x^5 - 3,7073x^4 + 16,843x^3 - 36,187x^2 + 33,263x + 22,6$	$R^2 = 0,9589$
36	$y = -0,0245x^6 + 0,6506x^5 - 6,6847x^4 + 33,399x^3 - 83,667x^2 + 98,175x - 10,263$	$R^2 = 0,971$
37	$y = -0,0337x^6 + 0,8983x^5 - 9,2897x^4 + 46,839x^3 - 118,81x^2 + 141,23x - 28,838$	$R^2 = 0,996$
38	$y = -0,0276x^6 + 0,7392x^5 - 7,6677x^4 + 38,756x^3 - 98,412x^2 + 117,03x - 18,925$	$R^2 = 0,9959$
39	$y = -0,0322x^6 + 0,8768x^5 - 9,3159x^4 + 48,522x^3 - 127,95x^2 + 158,97x - 39,788$	$R^2 = 0,9845$
40	$y = -0,0317x^6 + 0,8479x^5 - 8,8068x^4 + 44,74x^3 - 114,86x^2 + 139,08x - 29,488$	$R^2 = 0,9898$
41	$y = -0,0265x^6 + 0,7062x^5 - 7,3109x^4 + 36,86x^3 - 93,204x^2 + 109,99x - 15,313$	$R^2 = 0,9978$
42	$y = -0,0322x^6 + 0,8588x^5 - 8,8713x^4 + 44,632x^3 - 112,82x^2 + 133,68x - 26,95$	$R^2 = 0,9958$
43	$y = -0,0298x^6 + 0,7748x^5 - 7,7729x^4 + 37,725x^3 - 91,094x^2 + 101,87x - 8,8875$	$R^2 = 0,9803$
44	$y = -0,0326x^6 + 0,8755x^5 - 9,1478x^4 + 46,744x^3 - 120,66x^2 + 146,7x - 33,088$	$R^2 = 0,9865$
45	$y = -0,0313x^6 + 0,8296x^5 - 8,4988x^4 + 42,274x^3 - 105,05x^2 + 121,09x - 19,113$	$R^2 = 0,9995$
46	$y = -0,0331x^6 + 0,8694x^5 - 8,8349x^4 + 43,504x^3 - 106,58x^2 + 120,05x - 16,575$	$R^2 = 0,9999$
47	$y = -0,0163x^6 + 0,4224x^5 - 4,1789x^4 + 19,613x^3 - 43,991x^2 + 42,611x + 17,437$	$R^2 = 0,9997$
48	$y = -0,0236x^6 + 0,5853x^5 - 5,4996x^4 + 24,254x^3 - 50,33x^2 + 43,808x + 19,4$	$R^2 = 0,9958$
49	$y = -0,0335x^6 + 0,8882x^5 - 9,0976x^4 + 45,24x^3 - 112,36x^2 + 129,51x - 22,463$	$R^2 = 0,9928$
50	$y = -0,0307x^6 + 0,7952x^5 - 7,9449x^4 + 38,374x^3 - 91,935x^2 + 101,09x - 7,75$	$R^2 = 0,9975$

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

En la tabla de resumen sobre las fluctuaciones y pronosticación de las temperaturas con la introducción del 1,32% de GO en el intercambiador de calor donde se obtuvieron 50 datos, en 4h10m, mediante la regresión polinomial de sexto grado.

Tabla 2-4: Regresión polinomial de sexto grado con el 5% resumen.

Nº-	Regresión polinomial de sexto grado con el 5% de GO	Coefficiente de determinación
1	$y = -0,0128x^6 + 0,3169x^5 - 3,0065x^4 + 13,632x^3 - 30,309x^2 + 31,357x + 18,025$	$R^2 = 0,9984$
2	$y = -0,0082x^6 + 0,192x^5 - 1,6597x^4 + 6,3661x^3 - 9,9496x^2 + 4,0244x + 30,65$	$R^2 = 0,9567$
3	$y = -0,0187x^6 + 0,48x^5 - 4,753x^4 + 22,68x^3 - 53,285x^2 + 56,851x + 8,7375$	$R^2 = 0,9896$
4	$y = -0,0174x^6 + 0,452x^5 - 4,5376x^4 + 22,131x^3 - 53,947x^2 + 61,348x + 4,6625$	$R^2 = 0,9845$
5	$y = -0,0131x^6 + 0,3237x^5 - 3,0371x^4 + 13,293x^3 - 26,852x^2 + 21,515x + 25,675$	$R^2 = 0,9961$
6	$y = -0,0194x^6 + 0,5096x^5 - 5,1877x^4 + 25,647x^3 - 63,276x^2 + 72,227x + 0,7875$	$R^2 = 0,9714$
7	$y = -0,0263x^6 + 0,6913x^5 - 7,0452x^4 + 34,868x^3 - 86,245x^2 + 99,424x - 11,575$	$R^2 = 0,9932$
8	$y = -0,0181x^6 + 0,455x^5 - 4,3662x^4 + 19,979x^3 - 44,388x^2 + 44,127x + 15,212$	$R^2 = 0,9996$
9	$y = -0,0185x^6 + 0,4737x^5 - 4,6341x^4 + 21,647x^3 - 49,016x^2 + 49,111x + 13,737$	$R^2 = 0,9999$
10	$y = -0,0169x^6 + 0,4264x^5 - 4,1128x^4 + 18,86x^3 - 41,785x^2 + 41,232x + 16,212$	$R^2 = 0,9525$
11	$y = -0,0185x^6 + 0,4862x^5 - 4,9252x^4 + 24,137x^3 - 58,671x^2 + 65,496x + 4,2875$	$R^2 = 0,9866$
12	$y = -0,0082x^6 + 0,1843x^5 - 1,4747x^4 + 4,7181x^3 - 3,3045x^2 - 7,6898x + 38,5$	$R^2 = 0,8973$
13	$y = -0,0197x^6 + 0,5086x^5 - 5,0709x^4 + 24,356x^3 - 57,523x^2 + 61,256x + 8,0875$	$R^2 = 0,9946$

14	$y = -0,0252x^6 + 0,6607x^5 - 6,7018x^4 + 33,022x^3 - 81,254x^2 + 92,603x - 7,4125$	$R^2 = 0,9911$
15	$y = -0,011x^6 + 0,266x^5 - 2,3979x^4 + 9,8601x^3 - 17,726x^2 + 10,639x + 30,387$	$R^2 = 0,9438$
16	$y = -0,0128x^6 + 0,3245x^5 - 3,1317x^4 + 14,343x^3 - 31,308x^2 + 28,68x + 23,512$	$R^2 = 0,9818$
17	$y = -0,013x^6 + 0,3261x^5 - 3,1459x^4 + 14,634x^3 - 33,859x^2 + 36,789x + 16,187$	$R^2 = 0,8819$
18	$y = -0,0126x^6 + 0,3211x^5 - 3,1706x^4 + 15,208x^3 - 36,651x^2 + 41,904x + 12,912$	$R^2 = 0,9534$
19	$y = -0,0164x^6 + 0,4019x^5 - 3,7474x^4 + 16,523x^3 - 34,863x^2 + 32,415x + 20,525$	$R^2 = 0,8359$
20	$y = -0,0125x^6 + 0,317x^5 - 3,0926x^4 + 14,54x^3 - 33,839x^2 + 36,632x + 17,55$	$R^2 = 0,9913$
21	$y = -0,0351x^6 + 0,9082x^5 - 9,1072x^4 + 44,583x^3 - 109,89x^2 + 126,94x - 22,925$	$R^2 = 0,9619$
22	$y = -0,0063x^6 + 0,1435x^5 - 1,2005x^4 + 4,3064x^3 - 5,4814x^2 - 0,338x + 32,9$	$R^2 = 0,8741$
23	$y = -0,0103x^6 + 0,2328x^5 - 1,9067x^4 + 6,7328x^3 - 8,717x^2 + 0,267x + 33,412$	$R^2 = 0,9831$
24	$y = -0,0132x^6 + 0,3178x^5 - 2,9082x^4 + 12,596x^3 - 26,229x^2 + 24,569x + 21,575$	$R^2 = 0,9932$
25	$y = -0,0164x^6 + 0,4019x^5 - 3,7426x^4 + 16,456x^3 - 34,646x^2 + 32,637x + 18,125$	$R^2 = 0,9768$
26	$y = -0,0159x^6 + 0,4112x^5 - 4,1262x^4 + 20,233x^3 - 50,231x^2 + 59,682x + 3,2375$	$R^2 = 0,9822$
27	$y = -0,0147x^6 + 0,371x^5 - 3,5897x^4 + 16,692x^3 - 38,177x^2 + 39,956x + 14,175$	$R^2 = 0,9591$
28	$y = -0,0067x^6 + 0,142x^5 - 1,0468x^4 + 2,812x^3 + 0,15x^2 - 9,1908x + 36,55$	$R^2 = 0,9776$
29	$y = -0,0136x^6 + 0,3442x^5 - 3,334x^4 + 15,433x^3 - 34,727x^2 + 34,981x + 17,025$	$R^2 = 0,9832$
30	$y = -0,0197x^6 + 0,5074x^5 - 5,0518x^4 + 24,272x^3 - 57,526x^2 + 61,99x + 6,1125$	$R^2 = 0,9619$
31	$y = -0,0144x^6 + 0,3373x^5 - 2,9378x^4 + 11,527x^3 - 19,226x^2 + 9,8247x + 30,212$	$R^2 = 0,9462$
32	$y = -0,016x^6 + 0,3893x^5 - 3,59x^4 + 15,495x^3 - 31,2x^2 + 25,776x + 23,45$	$R^2 = 0,9955$
33	$y = -0,0218x^6 + 0,5697x^5 - 5,7439x^4 + 27,966x^3 - 67,272x^2 + 73,693x + 1,2$	$R^2 = 0,9893$
34	$y = -0,0126x^6 + 0,318x^5 - 3,1082x^4 + 14,774x^3 - 35,386x^2 + 40,535x + 12,087$	$R^2 = 0,9798$
35	$y = -0,0239x^6 + 0,5992x^5 - 5,7639x^4 + 26,618x^3 - 60,471x^2 + 62,957x + 5,7$	$R^2 = 0,9746$
36	$y = -0,0308x^6 + 0,7779x^5 - 7,6036x^4 + 36,113x^3 - 85,787x^2 + 94,554x - 7,6375$	$R^2 = 0,9851$
37	$y = -0,021x^6 + 0,5299x^5 - 5,1399x^4 + 23,949x^3 - 54,877x^2 + 57,451x + 7,725$	$R^2 = 0,9624$
38	$y = -0,0153x^6 + 0,3943x^5 - 3,9348x^4 + 19,045x^3 - 45,983x^2 + 51,894x + 7,5$	$R^2 = 1$
39	$y = -0,0163x^6 + 0,4189x^5 - 4,1412x^4 + 19,741x^3 - 46,524x^2 + 50,692x + 9,2125$	$R^2 = 0,9501$
40	$y = -0,0206x^6 + 0,5062x^5 - 4,7482x^4 + 21,184x^3 - 45,88x^2 + 45,027x + 12,35$	$R^2 = 0,9648$
41	$y = -0,0267x^6 + 0,6753x^5 - 6,5518x^4 + 30,585x^3 - 70,499x^2 + 74,896x - 0,5625$	$R^2 = 0,9759$
42	$y = -0,0197x^6 + 0,5115x^5 - 5,1441x^4 + 25,07x^3 - 60,874x^2 + 68,781x + 1,4625$	$R^2 = 0,9741$
43	$y = -0,0139x^6 + 0,3508x^5 - 3,416x^4 + 16,094x^3 - 37,813x^2 + 41,779x + 11,725$	$R^2 = 0,9932$
44	$y = -0,0165x^6 + 0,396x^5 - 3,6045x^4 + 15,408x^3 - 31,168x^2 + 27,406x + 20,487$	$R^2 = 0,993$
45	$y = -0,0094x^6 + 0,2381x^5 - 2,2741x^4 + 10,217x^3 - 21,816x^2 + 20,579x + 22,375$	$R^2 = 0,9821$
46	$y = -0,0133x^6 + 0,3051x^5 - 2,5881x^4 + 9,7916x^3 - 15,496x^2 + 7,5725x + 29,437$	$R^2 = 0,9914$
47	$y = -0,0163x^6 + 0,4166x^5 - 4,1357x^4 + 19,986x^3 - 48,589x^2 + 56,09x + 5,15$	$R^2 = 0,9991$
48	$y = -0,0213x^6 + 0,5617x^5 - 5,7374x^4 + 28,551x^3 - 71,523x^2 + 84,839x - 7,4875$	$R^2 = 0,9618$
49	$y = -0,0222x^6 + 0,5787x^5 - 5,8274x^4 + 28,479x^3 - 69,454x^2 + 78,706x - 3,65$	$R^2 = 0,9863$
50	$y = -0,0228x^6 + 0,5939x^5 - 5,9866x^4 + 29,254x^3 - 71,167x^2 + 80,009x - 3,475$	$R^2 = 0,9967$

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

En la tabla de resumen sobre las fluctuaciones y pronosticación de las temperaturas con la introducción del 2,64% de GO en el intercambiador de calor donde se obtuvieron 50 datos, en 4h10m, mediante la regresión polinomial de sexto grado.

Tabla 3-4: Regresión polinomial de sexto grado con el 10% resumen.

Nº.	Regresión polinomial de sexto grado con el 10% de GO	Coefficiente de determinación
1	$y = -0,0178x^6 + 0,4563x^5 - 4,54x^4 + 22,043x^3 - 53,997x^2 + 62,613x + 2,75$	$R^2 = 0,9887$
2	$y = -0,0146x^6 + 0,3486x^5 - 3,1117x^4 + 12,647x^3 - 22,345x^2 + 12,499x + 30,1$	$R^2 = 0,92$
3	$y = -0,0144x^6 + 0,3628x^5 - 3,5002x^4 + 16,243x^3 - 37,129x^2 + 38,85x + 15,3$	$R^2 = 0,9592$
4	$y = -0,0338x^6 + 0,869x^5 - 8,6587x^4 + 42,14x^3 - 103,41x^2 + 118,85x - 15,863$	$R^2 = 0,999$
5	$y = -0,0118x^6 + 0,2859x^5 - 2,6067x^4 + 11,007x^3 - 21,178x^2 + 15,711x + 28,2$	$R^2 = 0,9879$
6	$y = -0,0207x^6 + 0,5393x^5 - 5,4081x^4 + 26,114x^3 - 62,072x^2 + 66,946x + 7,9$	$R^2 = 0,9993$
7	$y = -0,0131x^6 + 0,3263x^5 - 3,0873x^4 + 13,812x^3 - 29,476x^2 + 27,385x + 21,062$	$R^2 = 0,9802$
8	$y = -0,0225x^6 + 0,5878x^5 - 5,951x^4 + 29,334x^3 - 72,575x^2 + 84,162x - 5,35$	$R^2 = 0,9682$
9	$y = -0,019x^6 + 0,4966x^5 - 5,0412x^4 + 25,088x^3 - 63,309x^2 + 75,613x - 0,425$	$R^2 = 0,9973$
10	$y = -0,0136x^6 + 0,3338x^5 - 3,1004x^4 + 13,512x^3 - 27,784x^2 + 24,657x + 24,425$	$R^2 = 0,8712$
11	$y = -0,0062x^6 + 0,1327x^5 - 0,974x^4 + 2,4056x^3 + 2,0423x^2 - 14,109x + 42,012$	$R^2 = 0,9967$
12	$y = -0,0103x^6 + 0,2435x^5 - 2,1205x^4 + 8,2537x^3 - 13,397x^2 + 6,0414x + 34,312$	$R^2 = 0,898$
13	$y = -0,0267x^6 + 0,7099x^5 - 7,3223x^4 + 36,889x^3 - 93,524x^2 + 110,53x - 15,063$	$R^2 = 0,9863$
14	$y = -0,0186x^6 + 0,4815x^5 - 4,8172x^4 + 23,386x^3 - 56,571x^2 + 63,092x + 5,75$	$R^2 = 0,9982$
15	$y = -0,0049x^6 + 0,0961x^5 - 0,5624x^4 + 0,023x^3 + 9,3482x^2 - 24,705x + 47,425$	$R^2 = 0,9212$
16	$y = -0,0048x^6 + 0,0983x^5 - 0,6543x^4 + 1,053x^3 + 4,3877x^2 - 14,423x + 40,962$	$R^2 = 0,9165$
17	$y = -0,0157x^6 + 0,3827x^5 - 3,572x^4 + 16,003x^3 - 35,362x^2 + 36,299x + 17,075$	$R^2 = 0,9864$
18	$y = -0,0216x^6 + 0,5703x^5 - 5,8174x^4 + 28,746x^3 - 70,64x^2 + 79,937x + 5,5125$	$R^2 = 0,9732$
19	$y = -0,0194x^6 + 0,4946x^5 - 4,8406x^4 + 22,885x^3 - 54,04x^2 + 60,754x + 4,75$	$R^2 = 0,9702$
20	$y = -0,0006x^6 + 0,0231x^5 - 0,3447x^4 + 2,4876x^3 - 8,5999x^2 + 13,297x + 23,422$	$R^2 = 0,9856$
21	$y = -0,0261x^6 + 0,6836x^5 - 6,9044x^4 + 33,658x^3 - 80,981x^2 + 88,613x - 3,45$	$R^2 = 0,9954$
22	$y = -0,0141x^6 + 0,3606x^5 - 3,5621x^4 + 17,05x^3 - 40,695x^2 + 45,552x + 11,537$	$R^2 = 0,8559$
23	$y = -0,0115x^6 + 0,2852x^5 - 2,717x^4 + 12,383x^3 - 27,625x^2 + 28,412x + 19,587$	$R^2 = 0,9468$
24	$y = -0,0163x^6 + 0,4086x^5 - 3,9242x^4 + 17,904x^3 - 39,285x^2 + 37,928x + 17,8$	$R^2 = 0,9681$
25	$y = -0,0114x^6 + 0,2824x^5 - 2,6541x^4 + 11,65x^3 - 23,632x^2 + 19,204x + 26,875$	$R^2 = 0,9641$
26	$y = -0,0212x^6 + 0,5391x^5 - 5,3189x^4 + 25,626x^3 - 62,372x^2 + 72,056x - 0,4875$	$R^2 = 0,9359$
27	$y = -0,0181x^6 + 0,4675x^5 - 4,6668x^4 + 22,655x^3 - 55,168x^2 + 63,258x + 4,0625$	$R^2 = 0,9799$
28	$y = -0,0138x^6 + 0,3352x^5 - 3,1103x^4 + 13,713x^3 - 29,335x^2 + 28,493x + 20,325$	$R^2 = 0,9913$
29	$y = -0,0113x^6 + 0,2832x^5 - 2,7066x^4 + 12,328x^3 - 27,247x^2 + 27,157x + 20,312$	$R^2 = 0,9253$
30	$y = -0,0147x^6 + 0,374x^5 - 3,69x^4 + 17,68x^3 - 42,392x^2 + 47,583x + 11,362$	$R^2 = 0,9988$
31	$y = -0,0183x^6 + 0,4611x^5 - 4,4495x^4 + 20,632x^3 - 47,174x^2 + 49,599x + 11,975$	$R^2 = 0,8729$
32	$y = -0,0095x^6 + 0,2193x^5 - 1,8455x^4 + 6,7086x^3 - 8,9458x^2 + 0,0379x + 35,062$	$R^2 = 0,8697$
33	$y = -0,0225x^6 + 0,591x^5 - 6,0022x^4 + 29,545x^3 - 72,336x^2 + 81,569x - 2,15$	$R^2 = 0,995$
34	$y = -0,0168x^6 + 0,4298x^5 - 4,2307x^4 + 20,066x^3 - 46,918x^2 + 49,938x + 12,15$	$R^2 = 0,9218$
35	$y = -0,0138x^6 + 0,3551x^5 - 3,5145x^4 + 16,782x^3 - 39,624x^2 + 42,944x + 14,087$	$R^2 = 0,9119$
36	$y = -0,023x^6 + 0,5875x^5 - 5,772x^4 + 27,257x^3 - 63,026x^2 + 64,968x + 8,9125$	$R^2 = 0,998$
37	$y = -0,0227x^6 + 0,5915x^5 - 5,9455x^4 + 28,923x^3 - 69,911x^2 + 77,807x + 0,1625$	$R^2 = 0,9961$
38	$y = -0,0092x^6 + 0,2238x^5 - 2,0699x^4 + 8,9748x^3 - 18,295x^2 + 15,894x + 26,7$	$R^2 = 0,8808$
39	$y = -0,0135x^6 + 0,3416x^5 - 3,3199x^4 + 15,596x^3 - 36,355x^2 + 39,041x + 16,412$	$R^2 = 0,9984$

40	$y = -0,0203x^6 + 0,5217x^5 - 5,1613x^4 + 24,729x^3 - 59,052x^2 + 65,649x + 4,3375$	$R^2 = 0,9975$
41	$y = -0,0177x^6 + 0,4583x^5 - 4,5561x^4 + 21,691x^3 - 50,234x^2 + 51,442x + 13,712$	$R^2 = 0,9975$
42	$y = -0,0173x^6 + 0,459x^5 - 4,7521x^4 + 24,192x^3 - 62,614x^2 + 76,633x - 2,1875$	$R^2 = 0,9187$
43	$y = -0,0174x^6 + 0,452x^5 - 4,543x^4 + 22,079x^3 - 53,193x^2 + 58,815x + 9$	$R^2 = 0,9861$
44	$y = -0,0133x^6 + 0,338x^5 - 3,3072x^4 + 15,546x^3 - 35,956x^2 + 38,139x + 16,862$	$R^2 = 0,9732$
45	$y = -0,0165x^6 + 0,4315x^5 - 4,3785x^4 + 21,564x^3 - 52,95x^2 + 60,159x + 6,9875$	$R^2 = 0,9983$
46	$y = -0,0119x^6 + 0,3004x^5 - 2,9293x^4 + 13,826x^3 - 32,569x^2 + 36,064x + 16,737$	$R^2 = 0,8899$
47	$y = -0,0174x^6 + 0,4495x^5 - 4,5076x^4 + 22,03x^3 - 54,277x^2 + 63,319x + 4,225$	$R^2 = 0,8707$
48	$y = -0,0156x^6 + 0,3972x^5 - 3,8915x^4 + 18,24x^3 - 41,549x^2 + 41,873x + 17,55$	$R^2 = 0,996$
49	$y = -0,0224x^6 + 0,5858x^5 - 5,9123x^4 + 28,937x^3 - 70,645x^2 + 80,097x - 1,2375$	$R^2 = 0,9992$
50	$y = -0,0199x^6 + 0,5171x^5 - 5,178x^4 + 25,06x^3 - 60,024x^2 + 65,534x + 6,6125$	$R^2 = 0,9995$

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

En la tabla de resumen sobre las fluctuaciones y pronosticación de las temperaturas con la introducción del 3,96% de GO en el intercambiador de calor donde se obtuvieron 50 datos, en 4h10m, mediante la regresión polinomial de sexto grado.

Tabla 4-4: Regresión polinomial de sexto grado con el 15% resumen.

Nº-	Regresión polinomial de sexto grado con el 15% de GO	Coficiente de determinación
1	$y = -0,022x^6 + 0,5636x^5 - 5,524x^4 + 25,82x^3 - 58,31x^2 + 57,46x + 12,012$	$R^2 = 1$
2	$y = -0,0251x^6 + 0,6386x^5 - 6,2643x^4 + 29,672x^3 - 69,801x^2 + 76,232x - 0,0625$	$R^2 = 0,9864$
3	$y = -0,0085x^6 + 0,1942x^5 - 1,5909x^4 + 5,3405x^3 - 4,439x^2 - 8,7064x + 39,737$	$R^2 = 0,8956$
4	$y = -0,0201x^6 + 0,5135x^5 - 5,0081x^4 + 23,304x^3 - 52,803x^2 + 54,284x + 9,825$	$R^2 = 0,998$
5	$y = -0,0055x^6 + 0,1092x^5 - 0,663x^4 + 0,3424x^3 + 9,1513x^2 - 25,269x + 46,662$	$R^2 = 0,9133$
6	$y = -0,0128x^6 + 0,3175x^5 - 2,9965x^4 + 13,277x^3 - 27,434x^2 + 22,995x + 24,075$	$R^2 = 0,9278$
7	$y = -0,0102x^6 + 0,2445x^5 - 2,1696x^4 + 8,5605x^3 - 13,423x^2 + 2,8592x + 35,162$	$R^2 = 0,8992$
8	$y = -0,0256x^6 + 0,6669x^5 - 6,7759x^4 + 33,825x^3 - 85,999x^2 + 103,91x - 14,975$	$R^2 = 0,852$
9	$y = -0,0151x^6 + 0,3673x^5 - 3,3467x^4 + 14,049x^3 - 26,445x^2 + 17,809x + 28,6$	$R^2 = 0,9486$
10	$y = -0,0371x^6 + 0,9653x^5 - 9,7742x^4 + 48,508x^3 - 121,93x^2 + 144,32x - 31,75$	$R^2 = 0,9982$
11	$y = -0,0269x^6 + 0,7041x^5 - 7,1097x^4 + 34,814x^3 - 85,142x^2 + 97,036x - 10,075$	$R^2 = 1$
12	$y = -0,0179x^6 + 0,4537x^5 - 4,4194x^4 + 20,758x^3 - 48,18x^2 + 51,071x + 12,55$	$R^2 = 0,953$
13	$y = -0,0291x^6 + 0,7746x^5 - 8,0203x^4 + 40,68x^3 - 104,57x^2 + 127,26x - 26,488$	$R^2 = 0,9986$
14	$y = -0,0316x^6 + 0,8368x^5 - 8,602x^4 + 43,147x^3 - 108,89x^2 + 128,56x - 24,938$	$R^2 = 0,9666$
15	$y = 0,071x^6 - 1,8112x^5 + 18,308x^4 - 92,785x^3 + 244,72x^2 - 310,3x + 172,6$	$R^2 = 1$
16	$y = -0,0028x^6 + 0,0366x^5 + 0,0757x^4 - 3,2242x^3 + 17,582x^2 - 34,59x + 51,05$	$R^2 = 0,9154$
17	$y = -0,0146x^6 + 0,3693x^5 - 3,5678x^4 + 16,333x^3 - 35,587x^2 + 32,629x + 21,35$	$R^2 = 0,968$
18	$y = -0,0146x^6 + 0,3702x^5 - 3,5942x^4 + 16,62x^3 - 37,027x^2 + 36,041x + 18,125$	$R^2 = 0,9194$
19	$y = -0,0115x^6 + 0,2851x^5 - 2,701x^4 + 12,1x^3 - 25,785x^2 + 23,483x + 23,237$	$R^2 = 0,9818$
20	$y = -0,0253x^6 + 0,6681x^5 - 6,8672x^4 + 34,555x^3 - 88,01x^2 + 105,97x - 16,2$	$R^2 = 0,9957$
21	$y = -0,0151x^6 + 0,3791x^5 - 3,6682x^4 + 17,115x^3 - 39,599x^2 + 42,69x + 15,487$	$R^2 = 0,978$
22	$y = -0,0136x^6 + 0,3428x^5 - 3,3204x^4 + 15,502x^3 - 35,888x^2 + 39,134x + 12,95$	$R^2 = 0,9936$

23	$y = -0,0141x^6 + 0,3602x^5 - 3,5493x^4 + 16,906x^3 - 39,972x^2 + 43,799x + 12,487$	$R^2 = 0,9274$
24	$y = -0,0163x^6 + 0,4005x^5 - 3,7744x^4 + 17,048x^3 - 38,076x^2 + 40,352x + 13,475$	$R^2 = 0,9897$
25	$y = -0,0137x^6 + 0,3434x^5 - 3,2863x^4 + 14,901x^3 - 32,293x^2 + 30,23x + 20,837$	$R^2 = 0,9198$
26	$y = -0,0241x^6 + 0,6301x^5 - 6,3791x^4 + 31,383x^3 - 77,222x^2 + 88,561x - 7,0625$	$R^2 = 0,9774$
27	$y = -0,0166x^6 + 0,4175x^5 - 4,0304x^4 + 18,659x^3 - 42,209x^2 + 42,601x + 16,187$	$R^2 = 0,979$
28	$y = -0,0253x^6 + 0,668x^5 - 6,8518x^4 + 34,288x^3 - 86,319x^2 + 101,88x - 13,35$	$R^2 = 0,9866$
29	$y = -0,0235x^6 + 0,6157x^5 - 6,2503x^4 + 30,827x^3 - 76,102x^2 + 87,681x - 6,15$	$R^2 = 0,999$
30	$y = -0,0122x^6 + 0,3078x^5 - 2,9959x^4 + 14,014x^3 - 32,169x^2 + 33,535x + 18,237$	$R^2 = 0,9143$
31	$y = -0,0181x^6 + 0,4675x^5 - 4,6335x^4 + 22,02x^3 - 50,956x^2 + 51,905x + 14,112$	$R^2 = 0,9981$
32	$y = -0,0217x^6 + 0,5651x^5 - 5,6871x^4 + 27,819x^3 - 68,107x^2 + 77,833x - 2,1125$	$R^2 = 0,9805$
33	$y = -0,0205x^6 + 0,5384x^5 - 5,4916x^4 + 27,353x^3 - 68,765x^2 + 81,732x - 4,8375$	$R^2 = 0,9845$
34	$y = -0,0215x^6 + 0,5543x^5 - 5,5241x^4 + 26,781x^3 - 65,056x^2 + 73,43x + 1,55$	$R^2 = 0,9565$
35	$y = -0,0196x^6 + 0,5144x^5 - 5,2394x^4 + 26,017x^3 - 64,95x^2 + 75,893x - 0,725$	$R^2 = 0,9697$
36	$y = -0,0229x^6 + 0,5933x^5 - 5,9462x^4 + 29,005x^3 - 71,051x^2 + 81,648x - 3,325$	$R^2 = 0,9996$
37	$y = -0,0182x^6 + 0,4673x^5 - 4,6404x^4 + 22,405x^3 - 54,28x^2 + 61,823x + 4,95$	$R^2 = 0,9901$
38	$y = -0,0178x^6 + 0,4506x^5 - 4,3908x^4 + 20,576x^3 - 47,327x^2 + 48,938x + 13,575$	$R^2 = 0,9974$
39	$y = -0,0247x^6 + 0,6499x^5 - 6,6256x^4 + 32,92x^3 - 82,146x^2 + 95,834x - 9,825$	$R^2 = 0,9544$
40	$y = -0,0246x^6 + 0,6434x^5 - 6,5247x^4 + 32,205x^3 - 79,699x^2 + 92,203x - 7,925$	$R^2 = 0,9457$
41	$y = -0,0242x^6 + 0,6322x^5 - 6,3868x^4 + 31,379x^3 - 77,146x^2 + 87,965x - 4,9125$	$R^2 = 0,9925$
42	$y = -0,0206x^6 + 0,5291x^5 - 5,2237x^4 + 24,838x^3 - 58,17x^2 + 61,819x + 8,2375$	$R^2 = 0,9832$
43	$y = -0,028x^6 + 0,7329x^5 - 7,4404x^4 + 36,846x^3 - 91,992x^2 + 108,29x - 15,113$	$R^2 = 0,9999$
44	$y = -0,0206x^6 + 0,5183x^5 - 5,0389x^4 + 23,73x^3 - 55,977x^2 + 62,716x + 5,15$	$R^2 = 0,9408$
45	$y = -0,0223x^6 + 0,5754x^5 - 5,7442x^4 + 27,882x^3 - 67,948x^2 + 78,062x - 1,9125$	$R^2 = 0,9909$
46	$y = -0,0213x^6 + 0,548x^5 - 5,4639x^4 + 26,453x^3 - 64,016x^2 + 72,099x + 1,8$	$R^2 = 0,9996$
47	$y = -0,0206x^6 + 0,5327x^5 - 5,3232x^4 + 25,872x^3 - 63,066x^2 + 71,852x + 1,8625$	$R^2 = 0,9775$
48	$y = -0,0233x^6 + 0,5975x^5 - 5,929x^4 + 28,598x^3 - 69,296x^2 + 79,19x - 1,7375$	$R^2 = 0,9999$
49	$y = -0,0167x^6 + 0,4257x^5 - 4,1804x^4 + 19,779x^3 - 46,347x^2 + 50,484x + 11,15$	$R^2 = 0,9955$
50	$y = -0,0202x^6 + 0,5221x^5 - 5,2252x^4 + 25,492x^3 - 62,665x^2 + 72,709x + 0,9875$	$R^2 = 0,9999$

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

ANEXO B: Análisis de las tendencias de las posiciones relativas

En la tendencia en la posición relativa 1 sin GO y con los diferentes porcentajes de GO es ascendente.

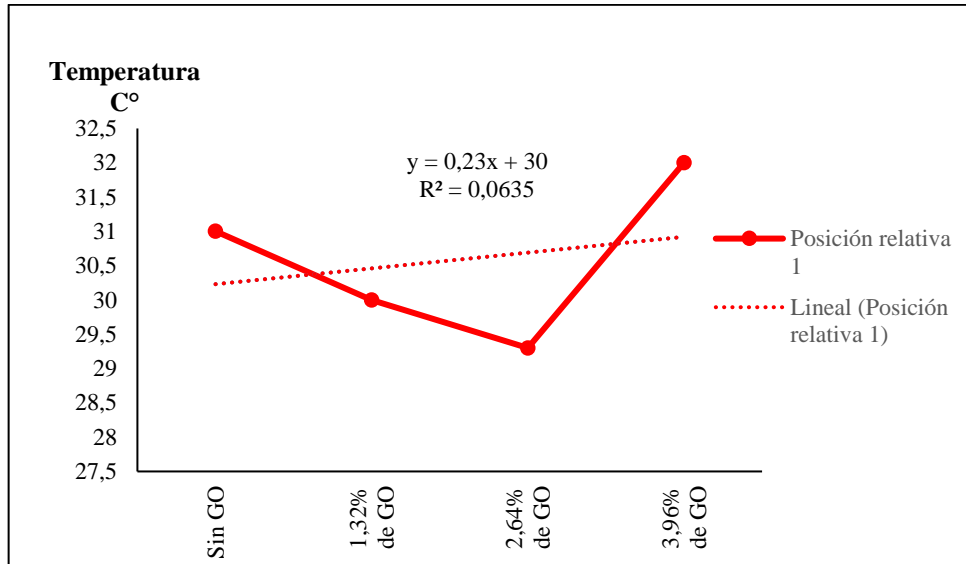


Gráfico 1-4: Tendencia de la posición relativa 1.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

En la tendencia en la posición relativa 2 sin GO y con los diferentes porcentajes de GO es descendente.

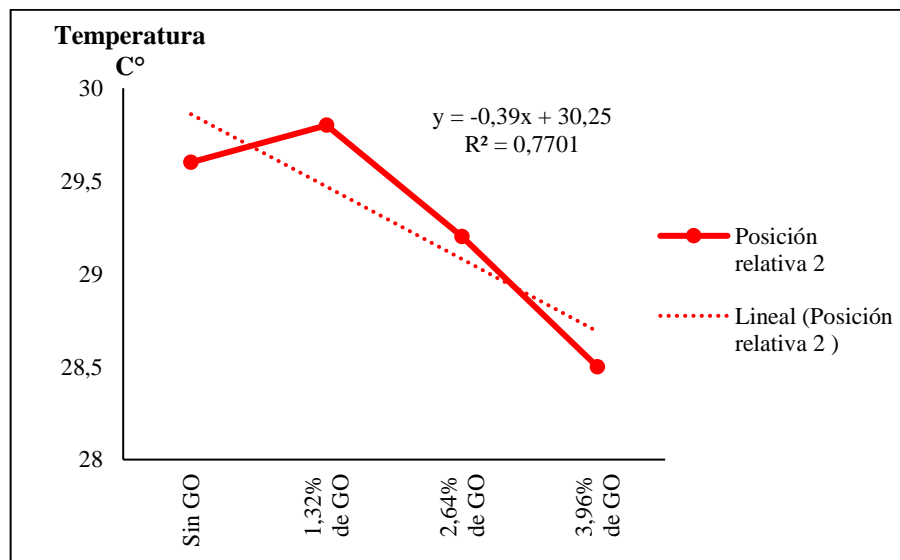


Gráfico 2-4: Tendencia de la posición relativa 2.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

En la tendencia en la posición relativa 3 sin GO y con los diferentes porcentajes de GO es descendente.

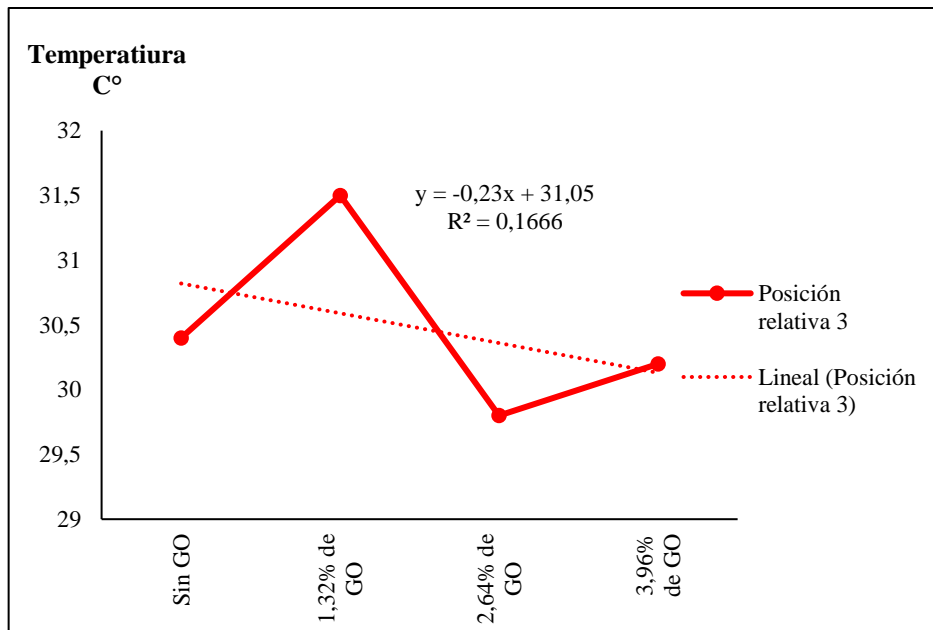


Gráfico 3-4: Tendencia de la posición relativa 3.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

En la tendencia en la posición relativa 4 sin GO y con los diferentes porcentajes de GO es descendente.

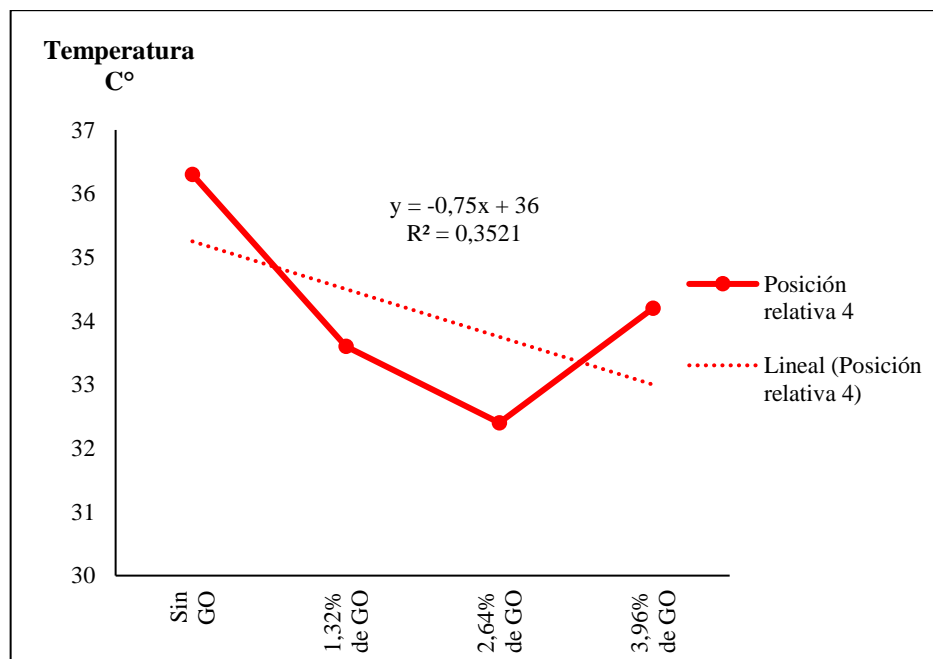


Gráfico 4-4: Tendencia de la posición relativa 4.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

En la tendencia en la posición relativa 5 sin GO y con los diferentes porcentajes de GO es descendente.

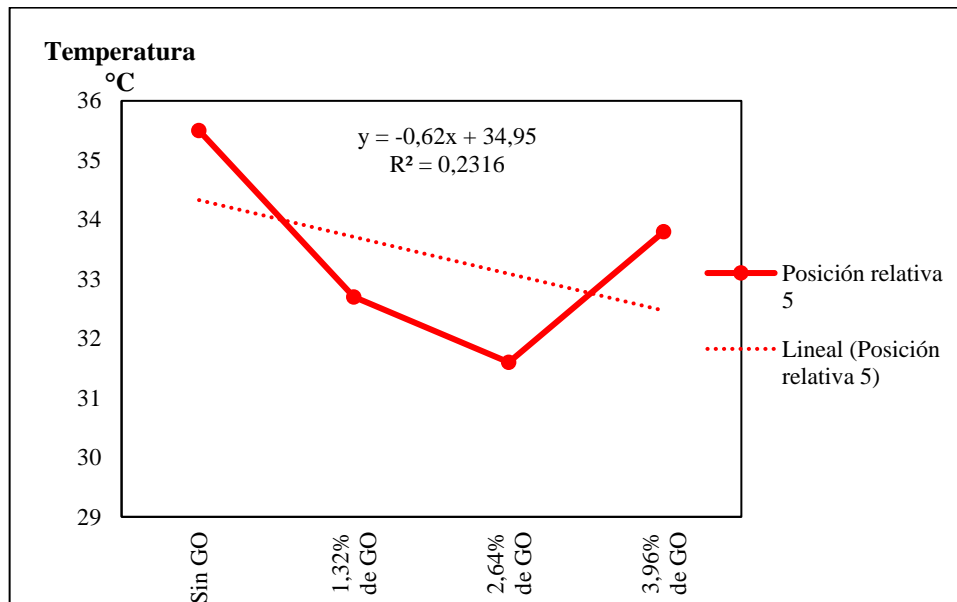


Gráfico 5-4: Tendencia de la posición relativa 5.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

En la tendencia en la posición relativa 6 sin GO y con los diferentes porcentajes de GO es descendente.

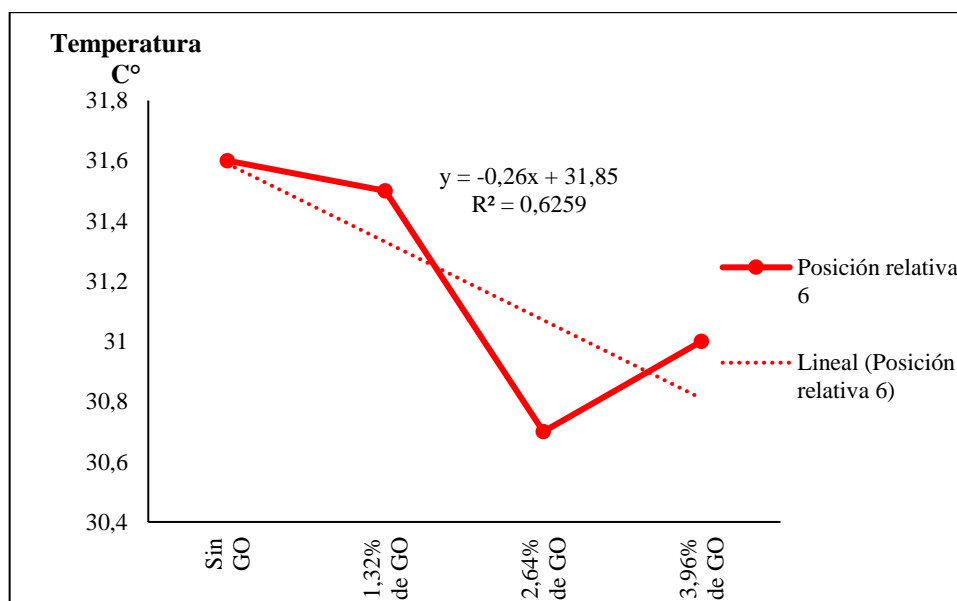


Gráfico 6-4: Tendencia de la posición relativa 6.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

En la tendencia en la posición relativa 7 sin GO y con los diferentes porcentajes de GO es descendente.

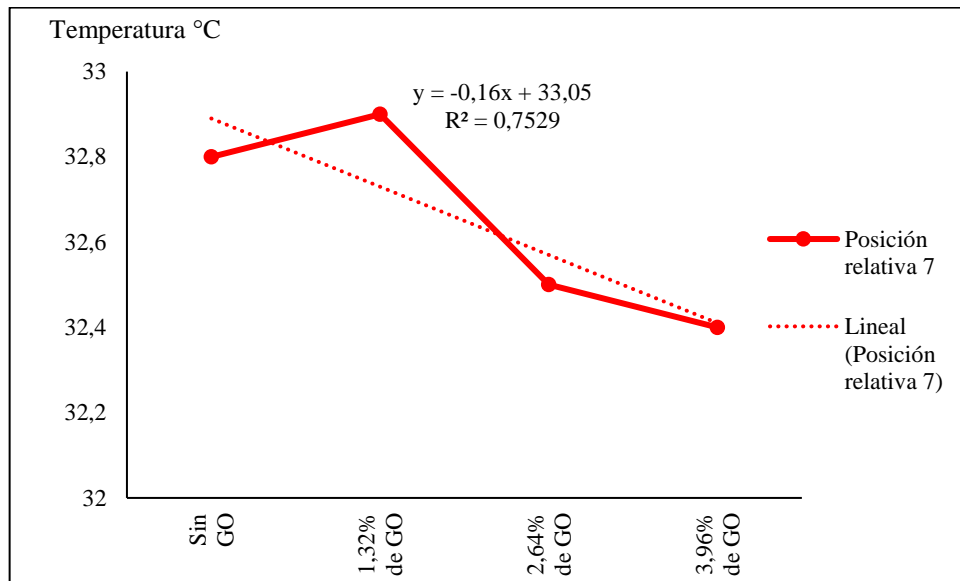


Gráfico 7-4: Tendencia de la posición relativa 7.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

En la tendencia en la posición relativa 8 sin GO y con los diferentes porcentajes de GO es descendente.

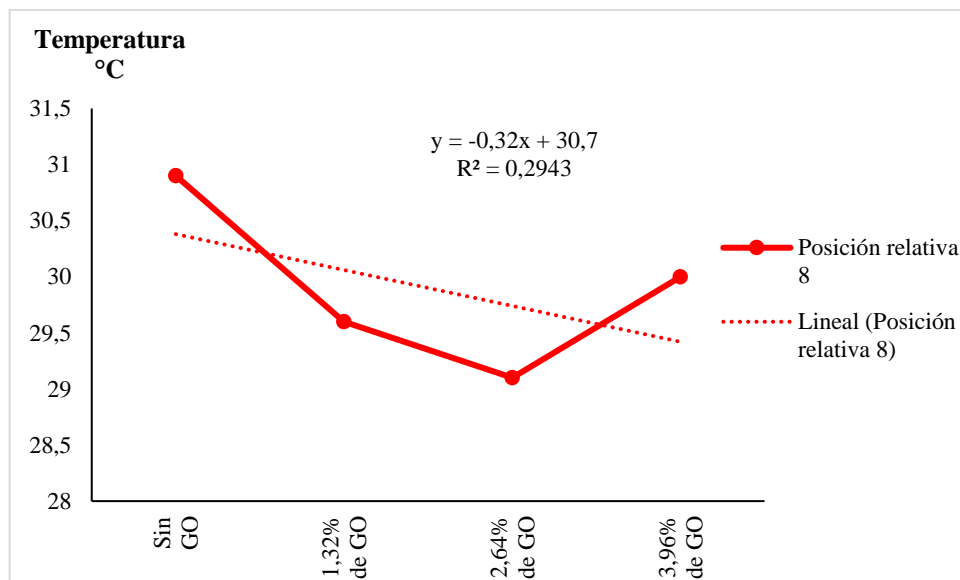


Gráfico 8-4: Tendencia de la posición relativa 8.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

ANEXO C: Microscopia electrónica de barrido SEM de la obtención de GO

Microscopia electrónica de barrido SEM del GO a 10 μm .

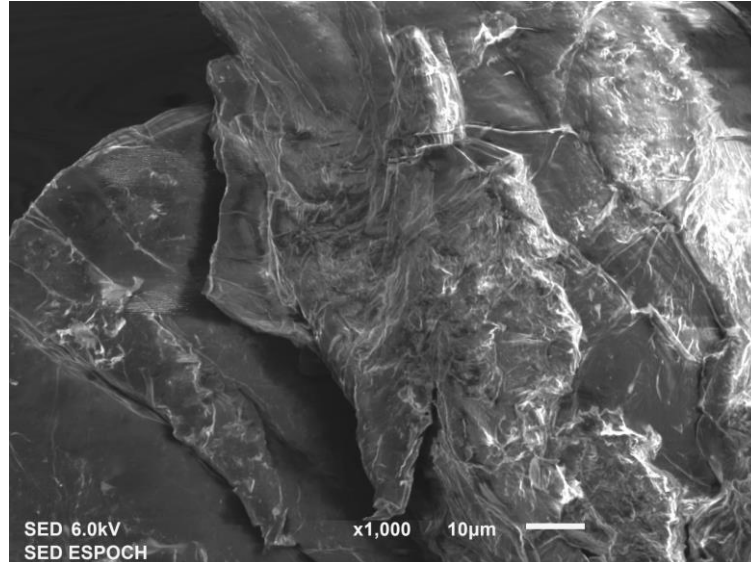


Figura 1-4: Análisis de la morfología a 10 μm . de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

Microscopia electrónica de barrido SEM del GO 20 μm .

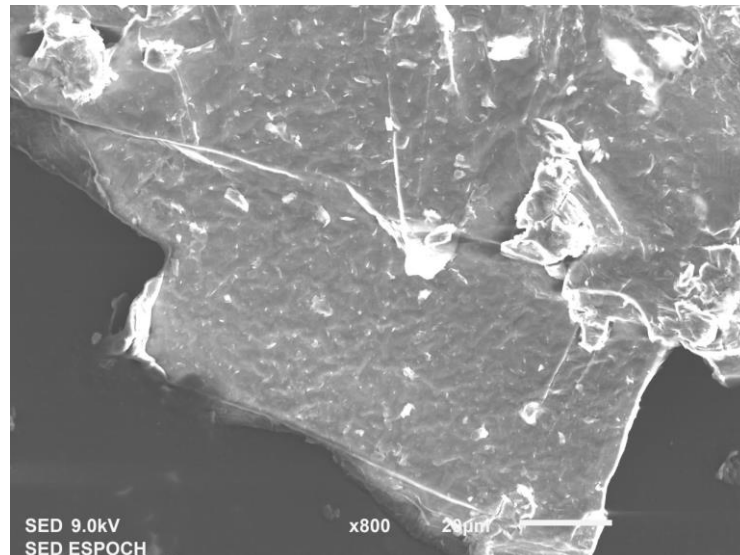


Figura 2-4: Análisis de la morfología a 20 μm . de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

Microscopia electrónica de barrido SEM del GO 50 μm .

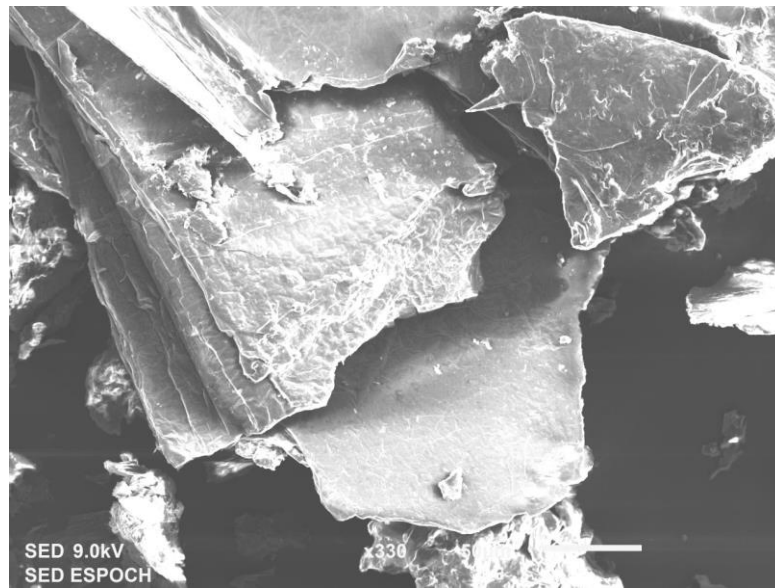


Figura 3-4: Análisis de la morfología a 50 μm . de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

Microscopia electrónica de barrido SEM del GO 50 μm .

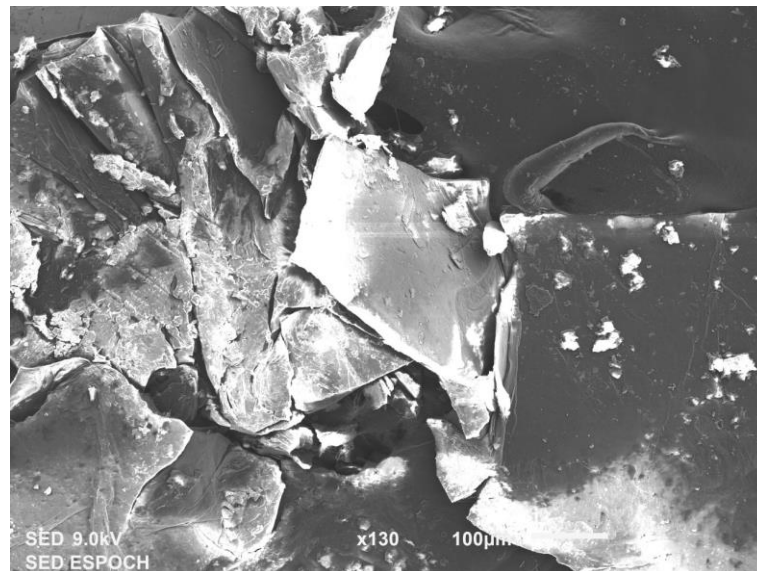


Figura 4-4: Análisis de la morfología a 100 μm . de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

ANEXO D: Comparaciones de los 50 termogramas sin GO y con los diferentes porcentajes

En las comparaciones de los 50 termogramas obtenidos sin GO y con los diferentes porcentajes de GO se compara además se analiza lo que sucede al introducir en interior del intercambiador de calor las diluciones de GO, las mismas que fueron tomadas en el tiempo de 5 minutos durante 5 días, bajo su respectivo monitoreo, con la cámara termográfica.

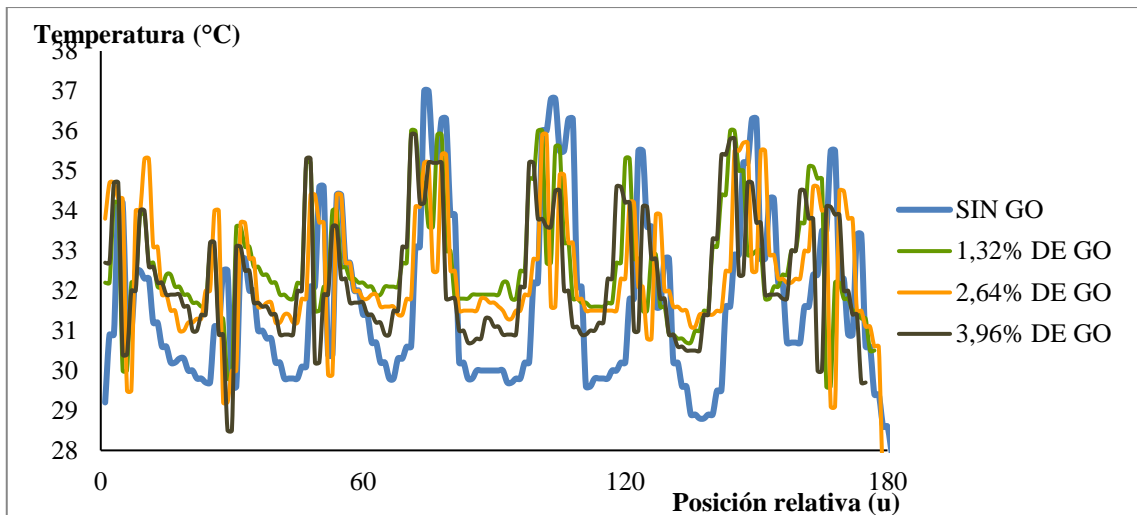


Gráfico 9-4: Análisis termográfico 1 sin GO y con los diferentes porcentajes de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

En un tiempo de 4 horas con 20 minutos se obtienen los 50 termogramas necesarios para el análisis termográfico.

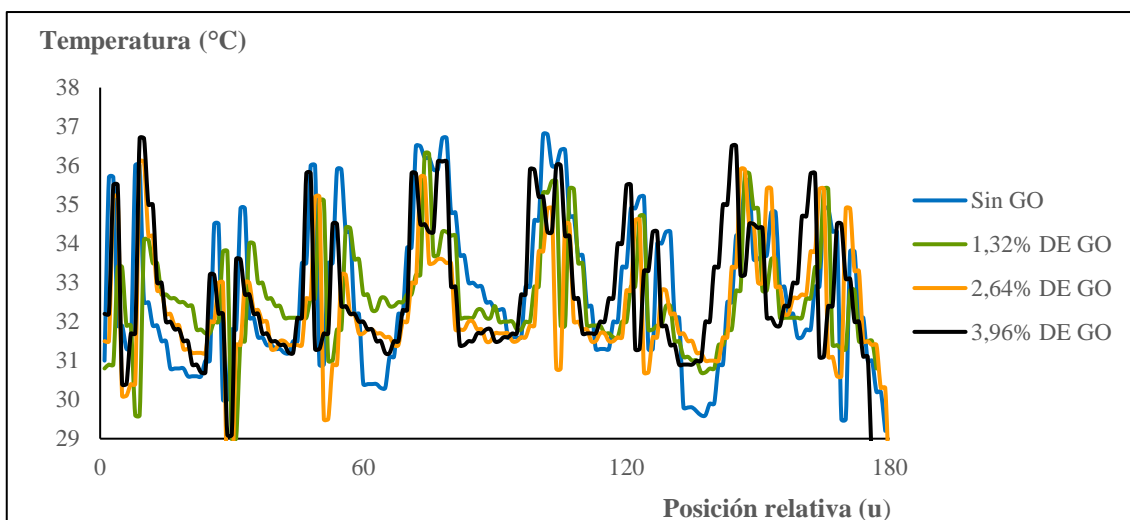


Gráfico 10-4: Análisis termográfico 2, sin GO y con los diferentes porcentajes de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

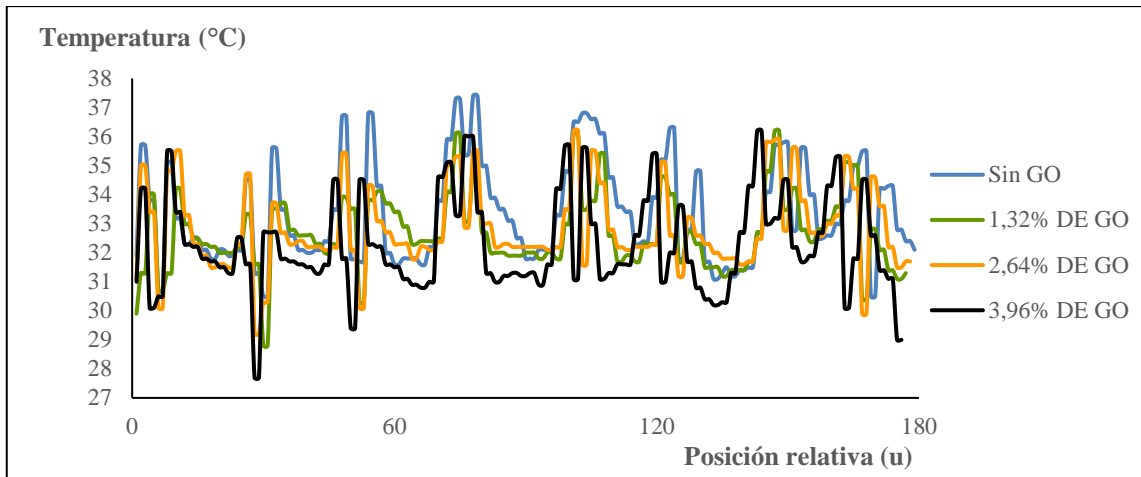


Gráfico 11-4: Análisis termográfico 3, sin GO y con los diferentes porcentajes de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

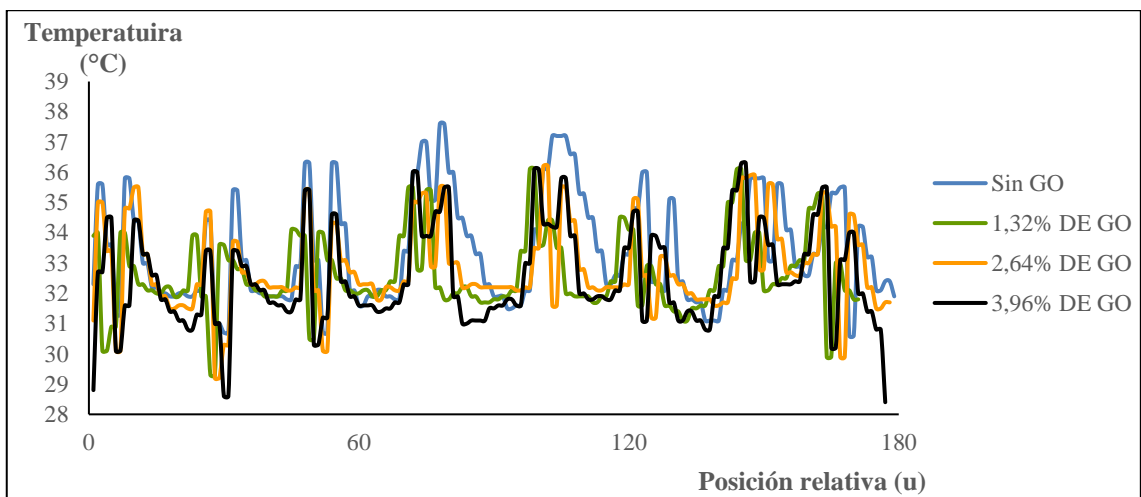


Gráfico 12-4: Análisis termográfico 4, sin GO y con los diferentes porcentajes de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

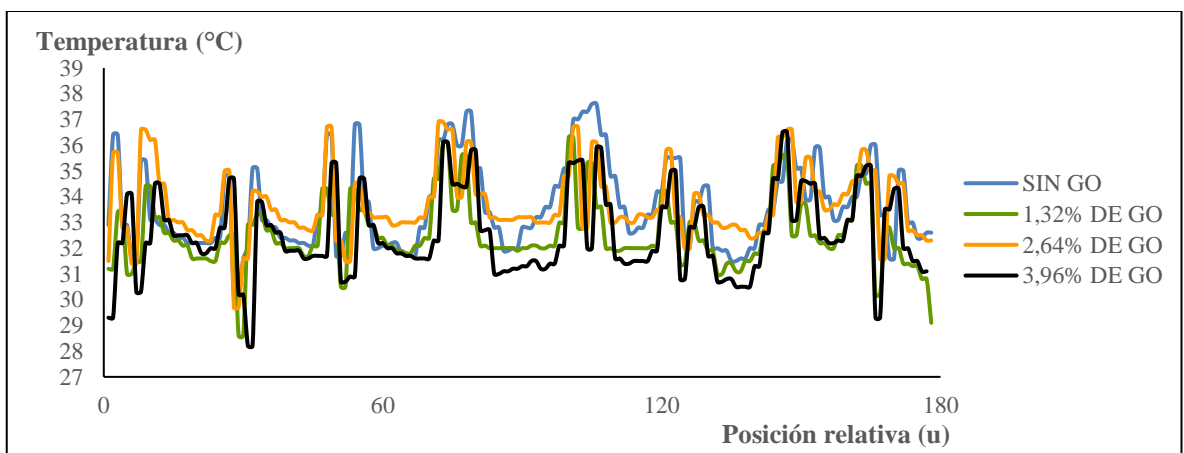


Gráfico 13-4: Análisis termográfico 5, sin GO y con los diferentes porcentajes de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

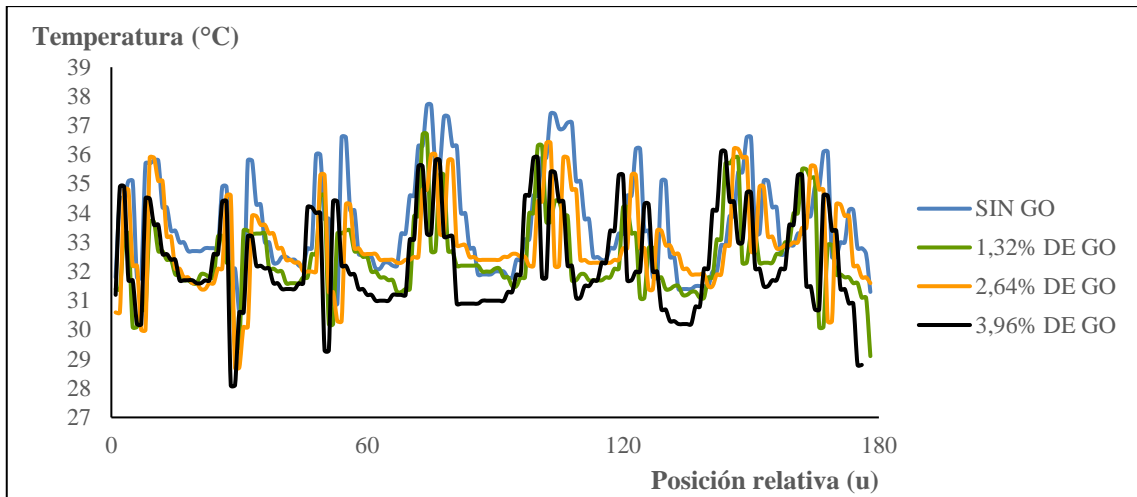


Gráfico 14-4: Análisis termográfico 6, sin GO y con los diferentes porcentajes de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

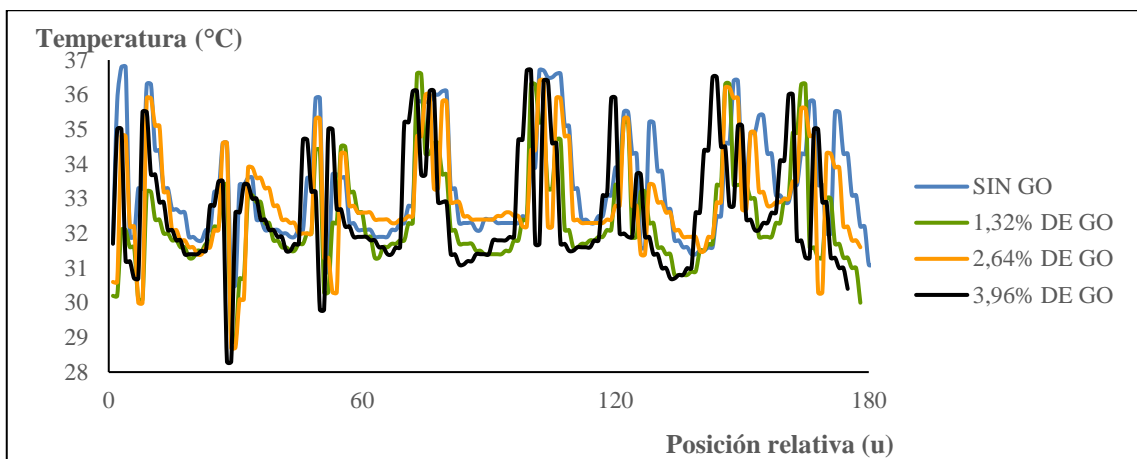


Gráfico 15-4: Análisis termográfico 7, sin GO y con los diferentes porcentajes de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

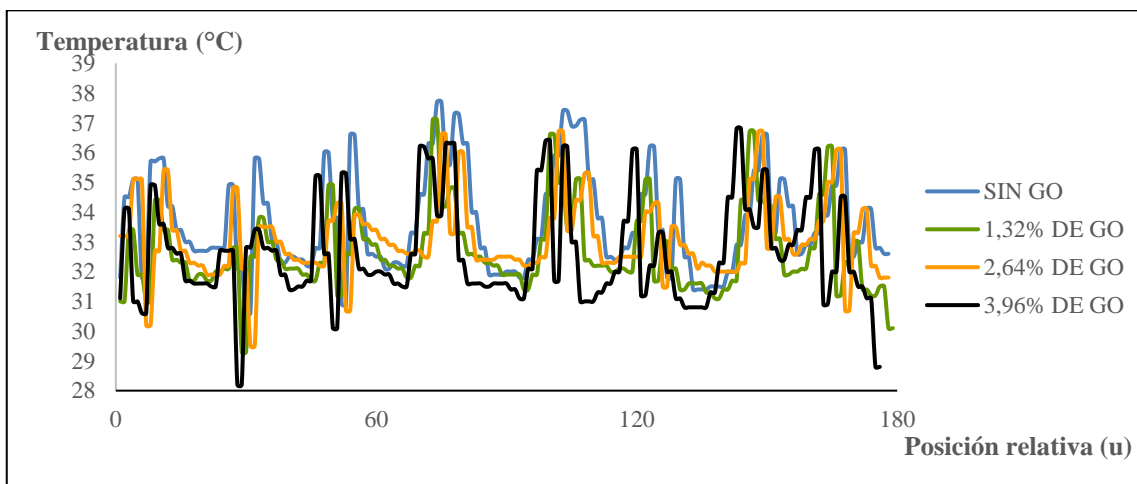


Gráfico 16-4: Análisis termográfico 8, sin GO y con los diferentes porcentajes de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

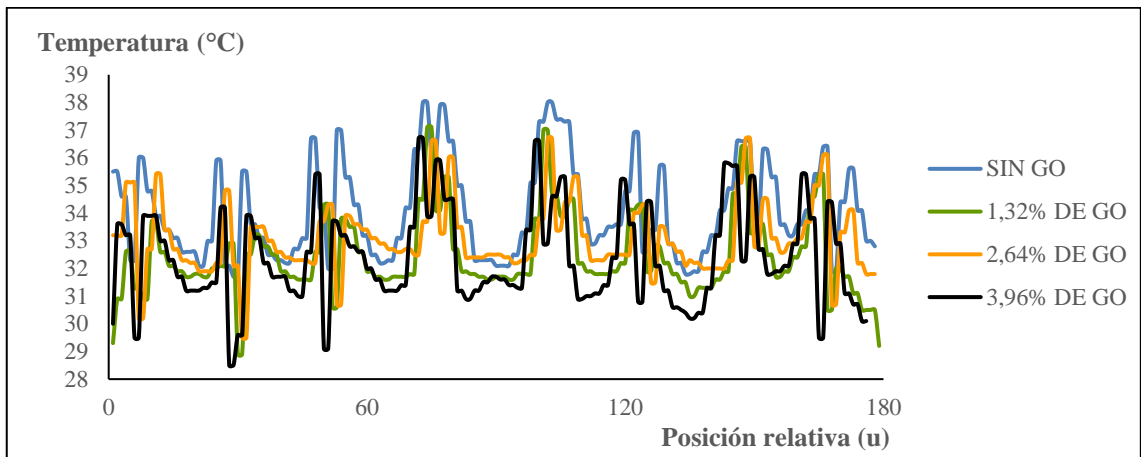


Gráfico 17-4: Análisis termográfico 9, sin GO y con los diferentes porcentajes de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

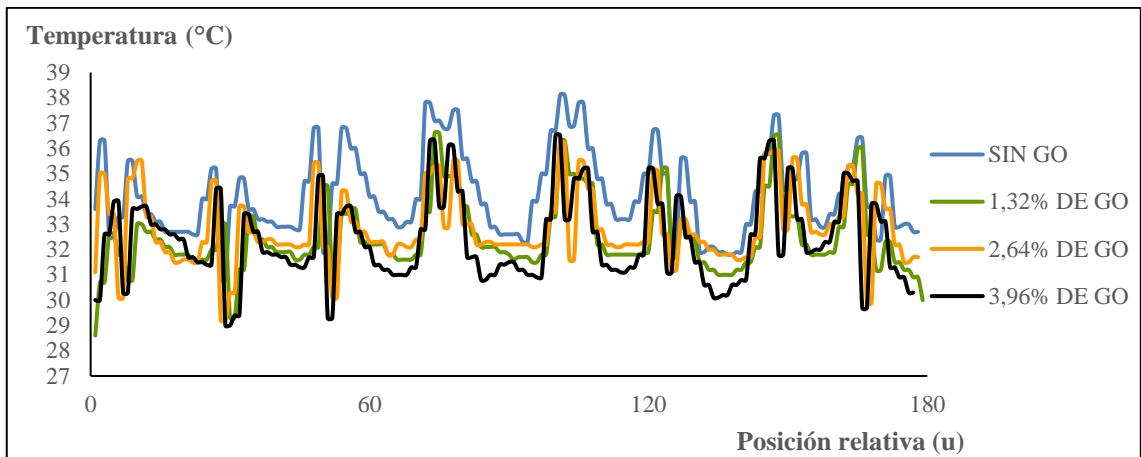


Gráfico 18-4: Análisis termográfico 10, sin GO y con los diferentes porcentajes de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

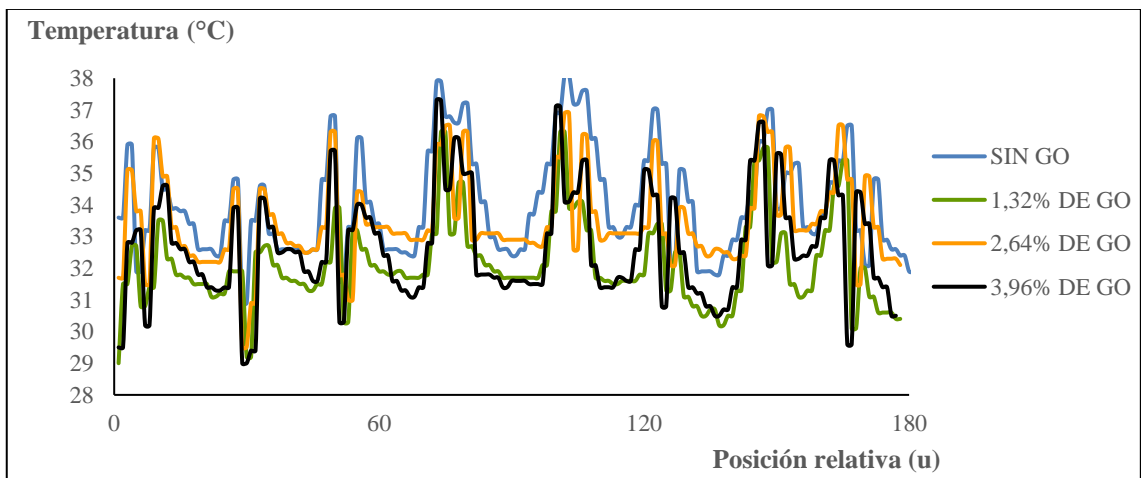


Gráfico 19-4: Análisis termográfico 11, sin GO y con los diferentes porcentajes de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

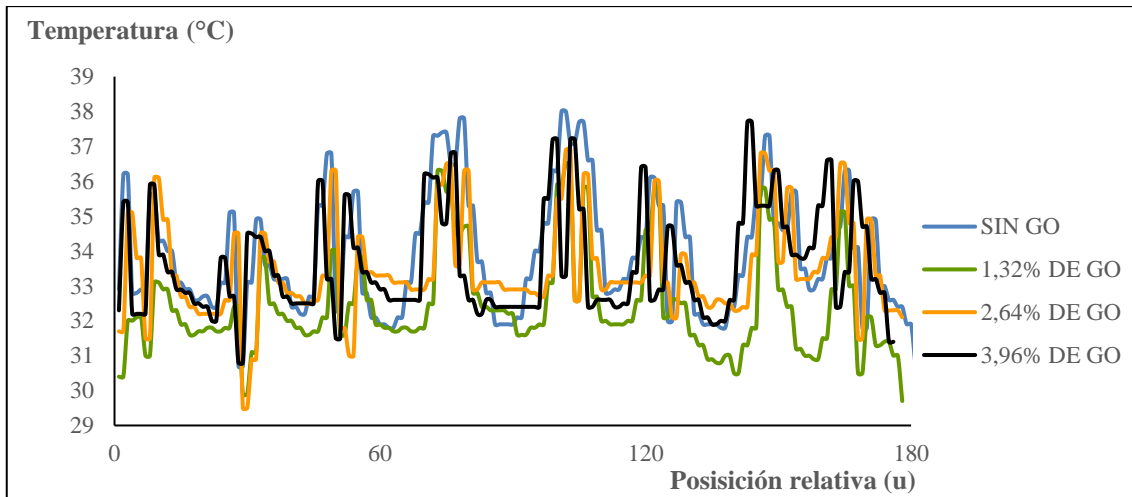


Gráfico 20-4: Análisis termográfico 12, sin GO y con los diferentes porcentajes de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

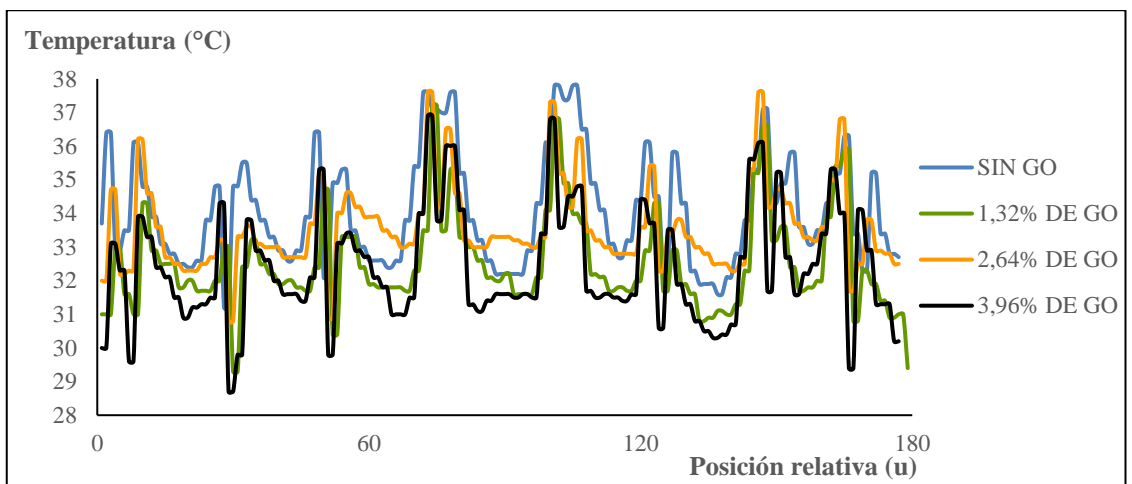


Gráfico 21-4: Análisis termográfico 13, sin GO y con los diferentes porcentajes de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

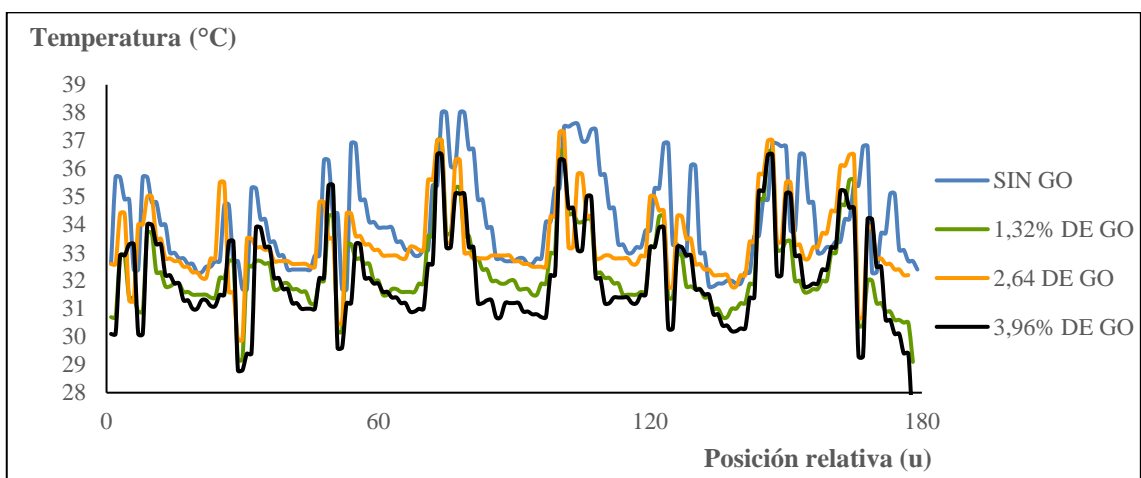


Gráfico 22-4: Análisis termográfico 14, sin GO y con los diferentes porcentajes de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

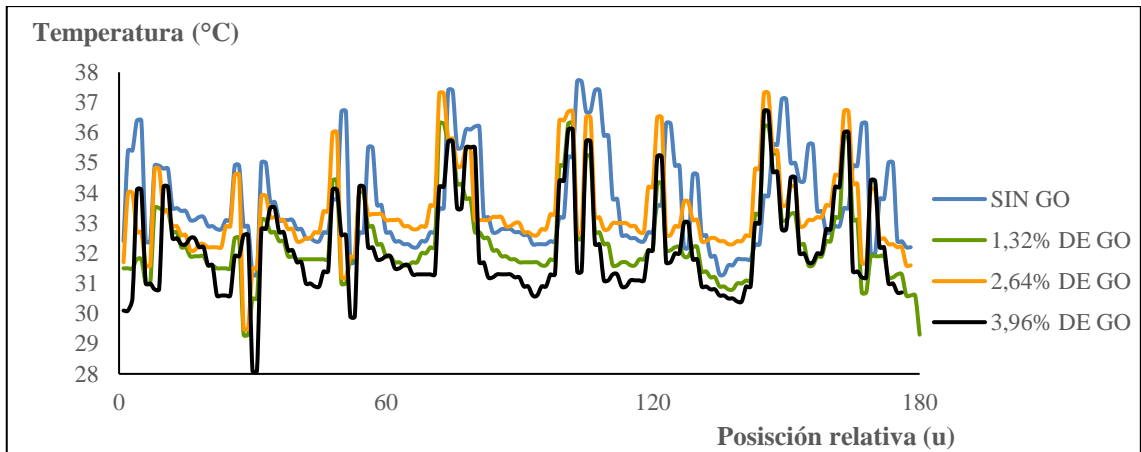


Gráfico 23-4: Análisis termográfico 15, sin GO y con los diferentes porcentajes de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

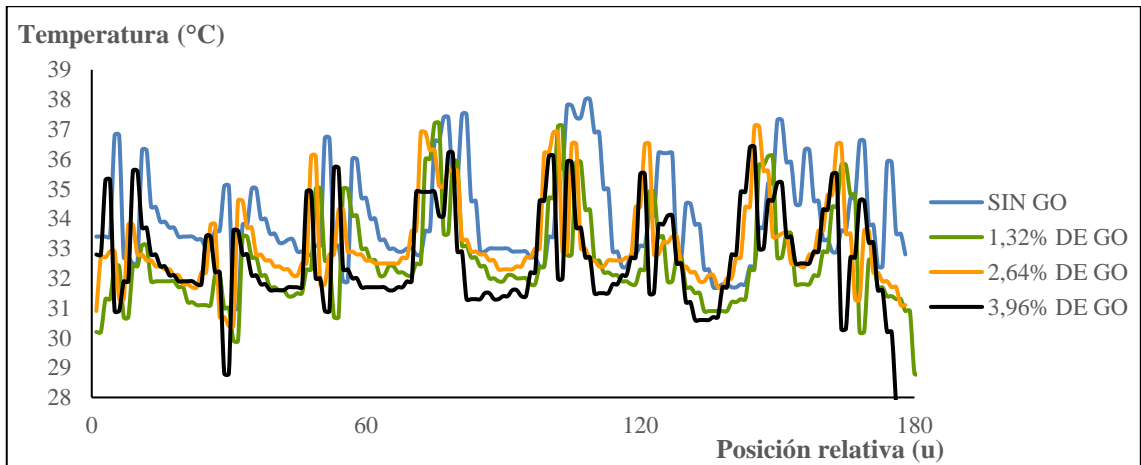


Gráfico 24-4: Análisis termográfico 16, sin GO y con los diferentes porcentajes de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

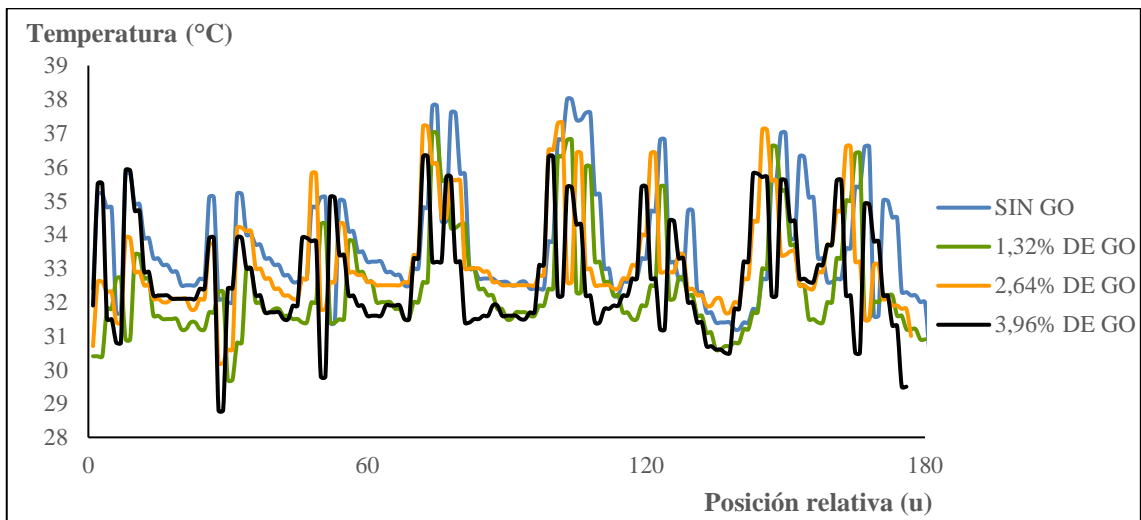


Gráfico 25-4: Análisis termográfico 17, sin GO y con los diferentes porcentajes de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

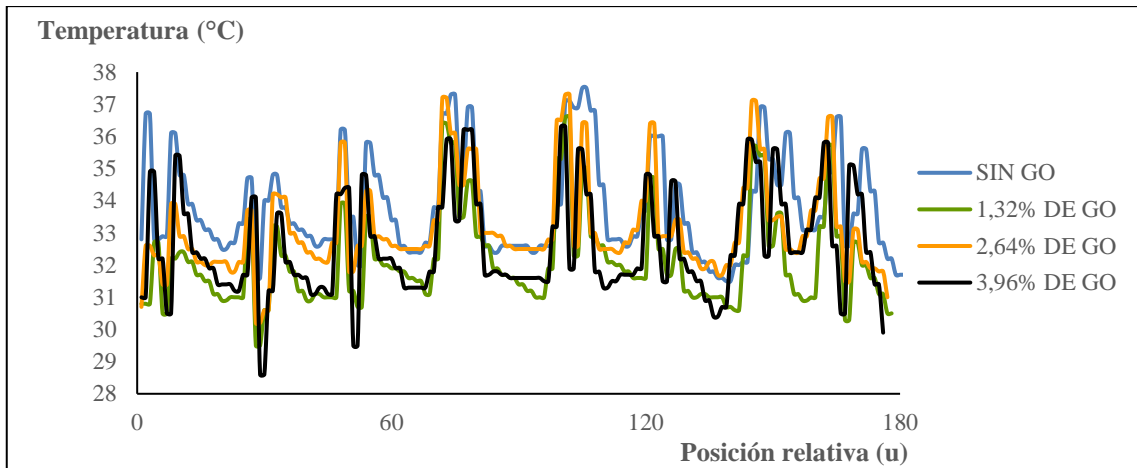


Gráfico 26-4: Análisis termográfico 18, sin GO y con los diferentes porcentajes de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

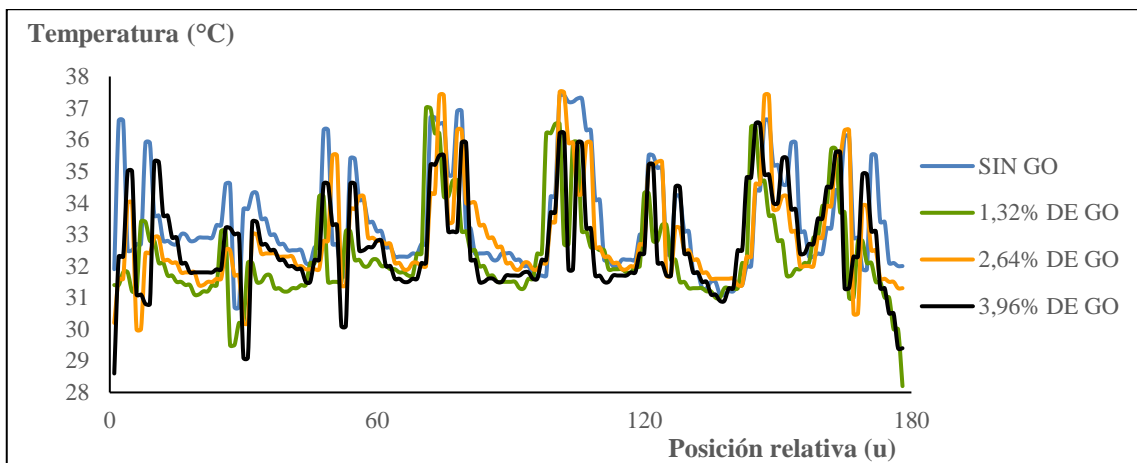


Gráfico 27-4: Análisis termográfico 19, sin GO y con los diferentes porcentajes de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

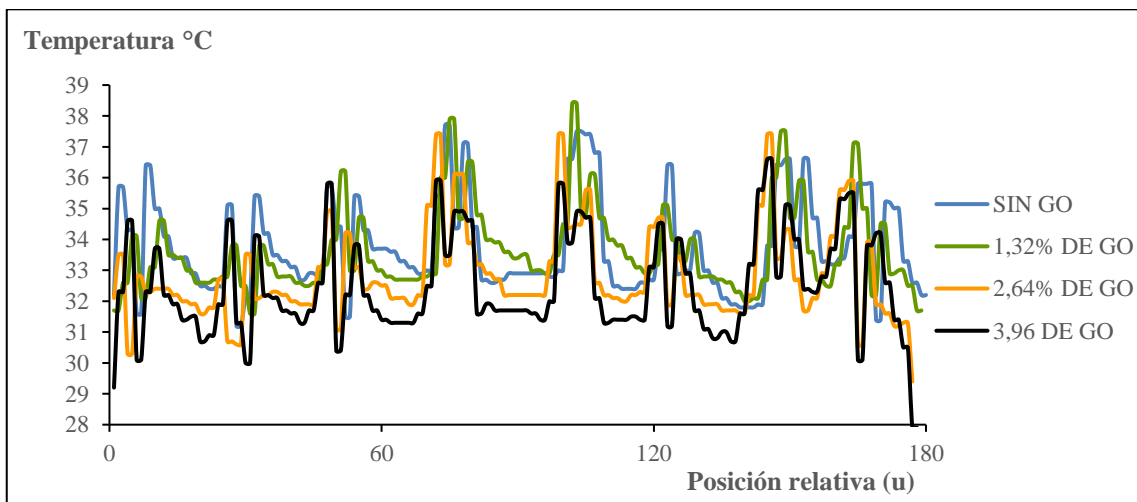


Gráfico 28-4: Análisis termográfico 20, sin GO y con los diferentes porcentajes de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

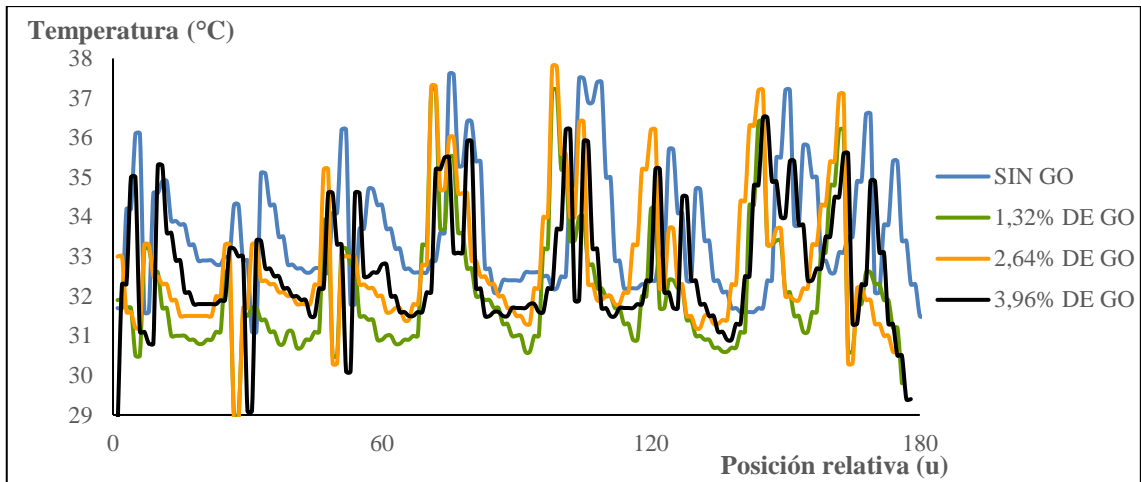


Gráfico 29-4: Análisis termográfico 21, sin GO y con los diferentes porcentajes de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

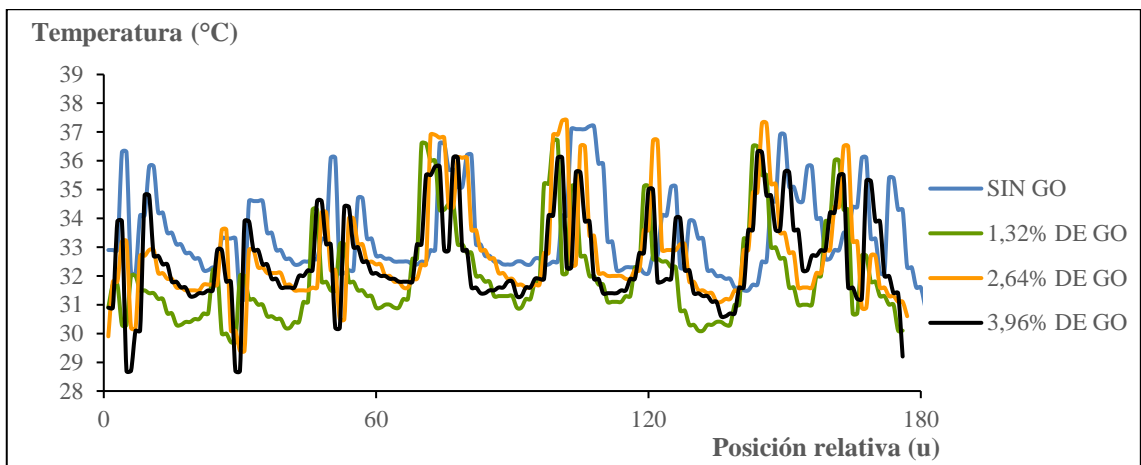


Gráfico 30-4: Análisis termográfico 22, sin GO y con los diferentes porcentajes de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

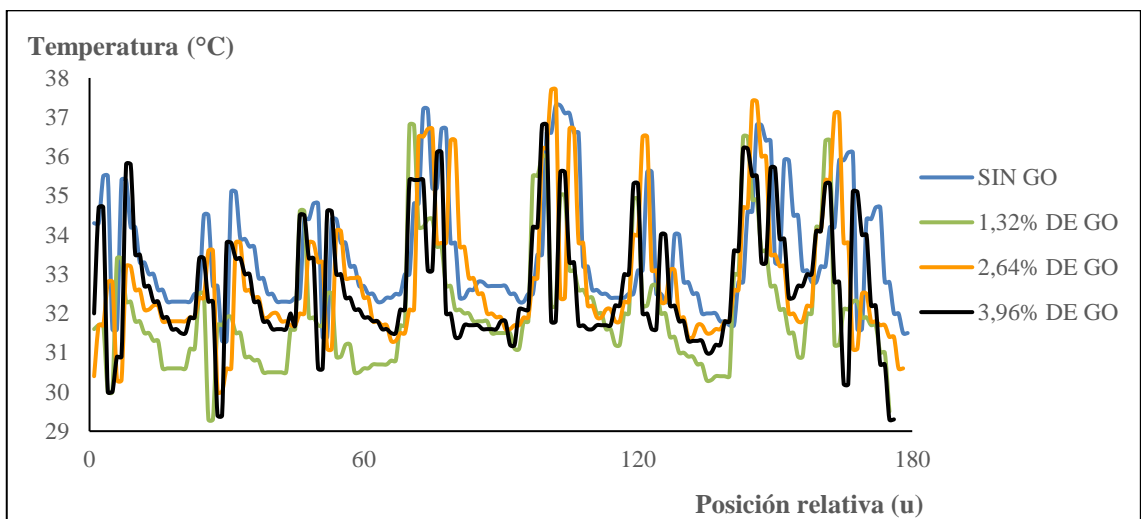


Gráfico 31-4: Análisis termográfico 23, sin GO y con los diferentes porcentajes de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

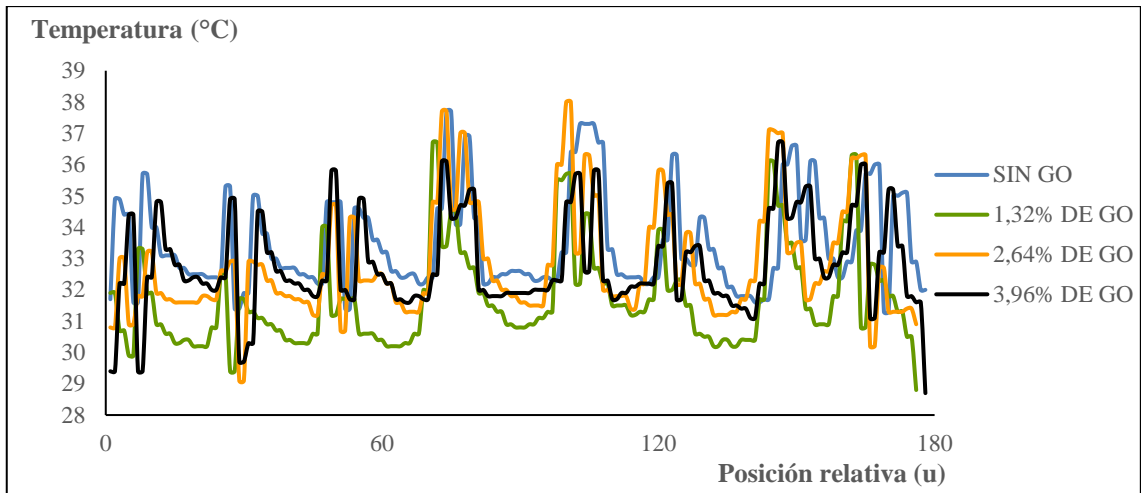


Gráfico 32-4: Análisis termográfico 24, sin GO y con los diferentes porcentajes de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

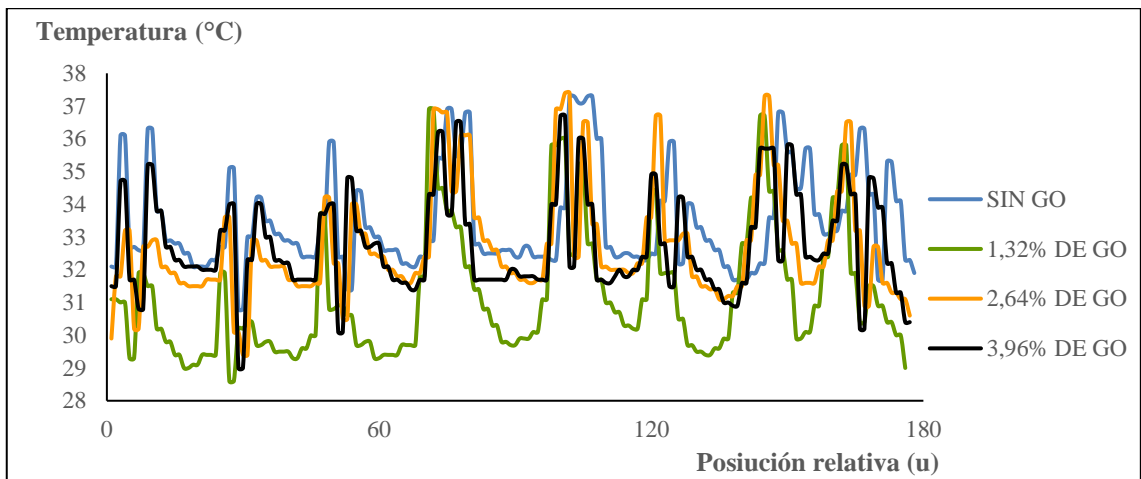


Gráfico 33-4: Análisis termográfico 25, sin GO y con los diferentes porcentajes de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

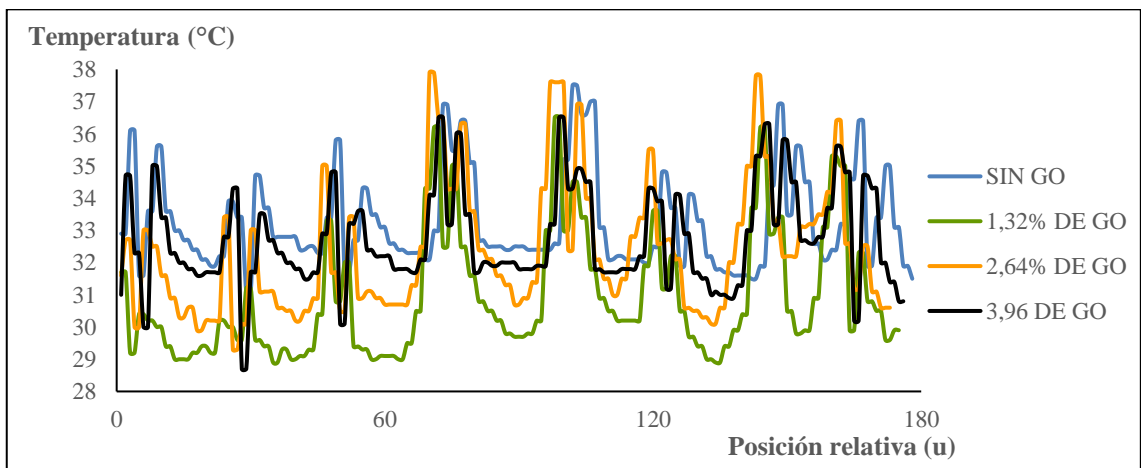


Gráfico 34-4: Análisis termográfico 26, sin GO y con los diferentes porcentajes de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

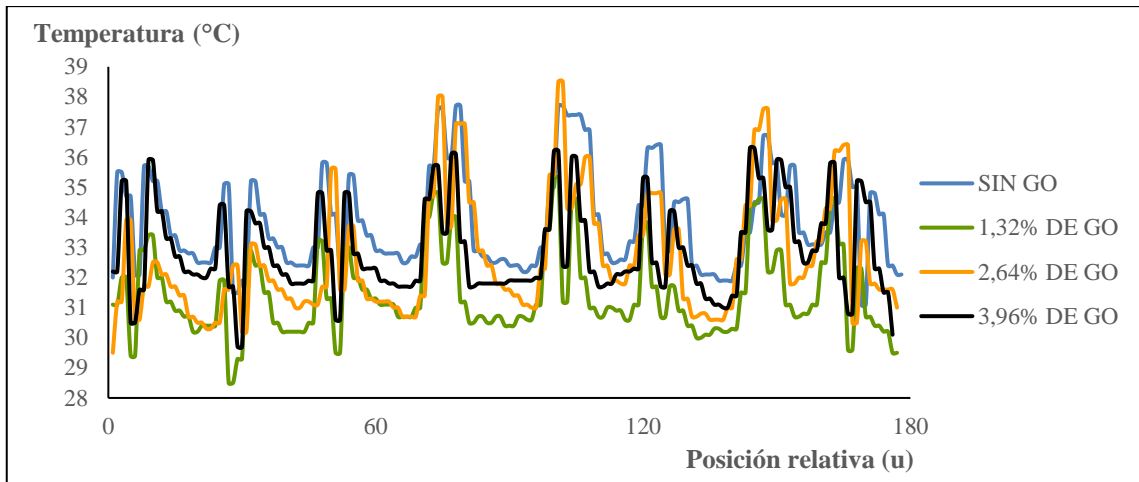


Gráfico 35-4: Análisis termográfico 27, sin GO y con los diferentes porcentajes de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

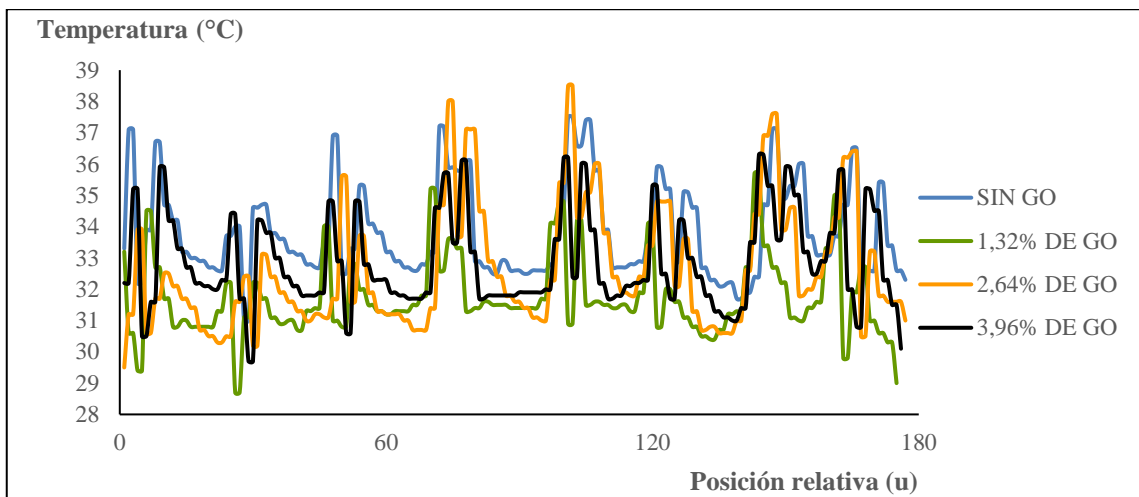


Gráfico 36-4: Análisis termográfico 28, sin GO y con los diferentes porcentajes de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

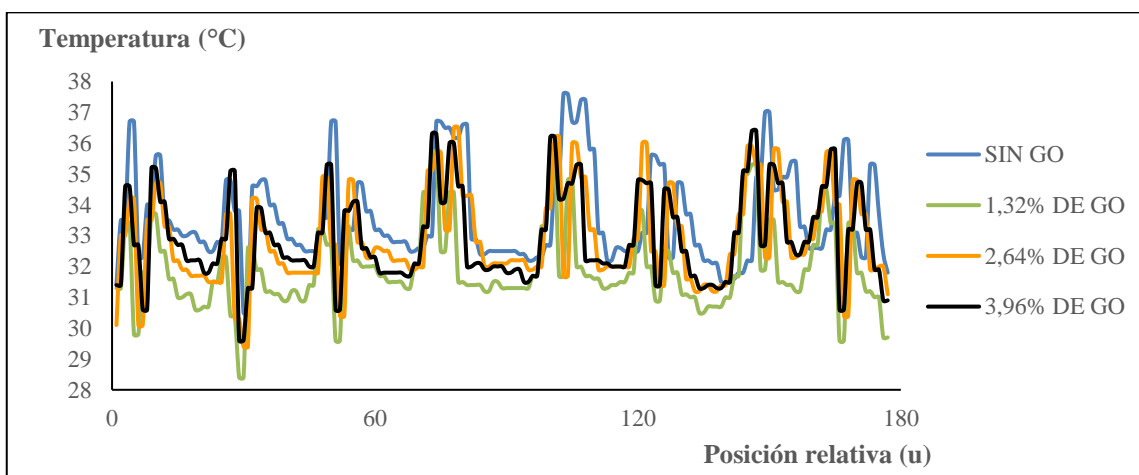


Gráfico 37-4: Análisis termográfico 29, sin GO y con los diferentes porcentajes de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

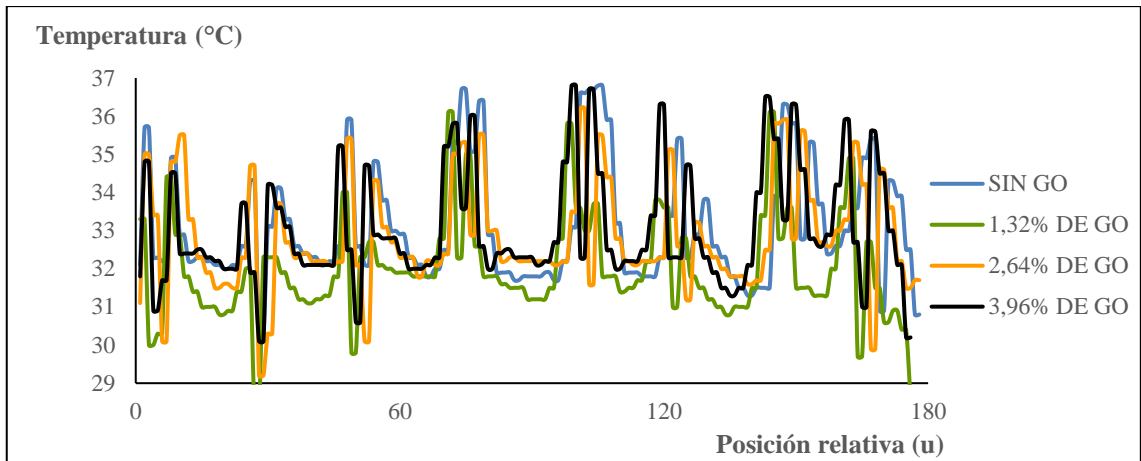


Gráfico 38-4: Análisis termográfico 30, sin GO y con los diferentes porcentajes de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

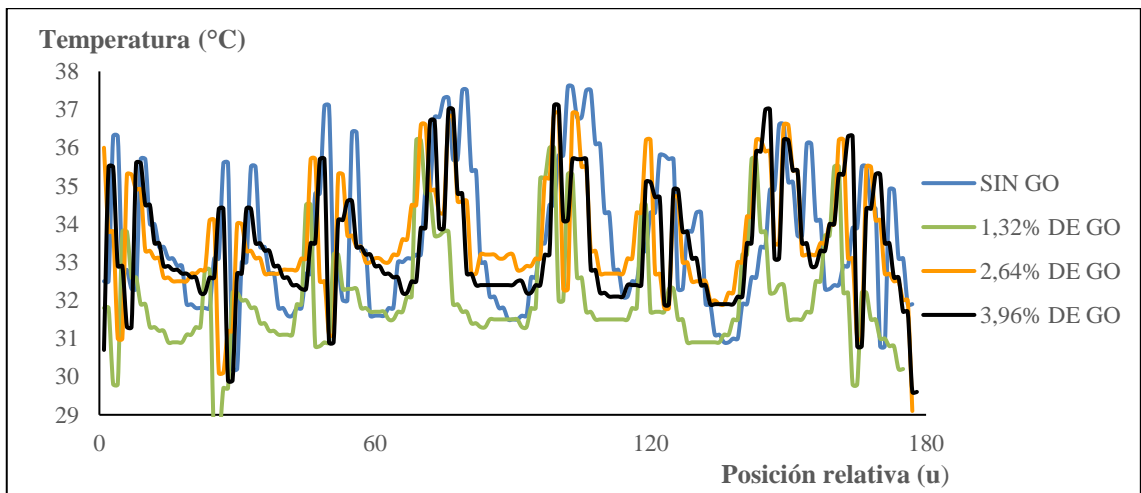


Gráfico 39-4: Análisis termográfico 31, sin GO y con los diferentes porcentajes de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

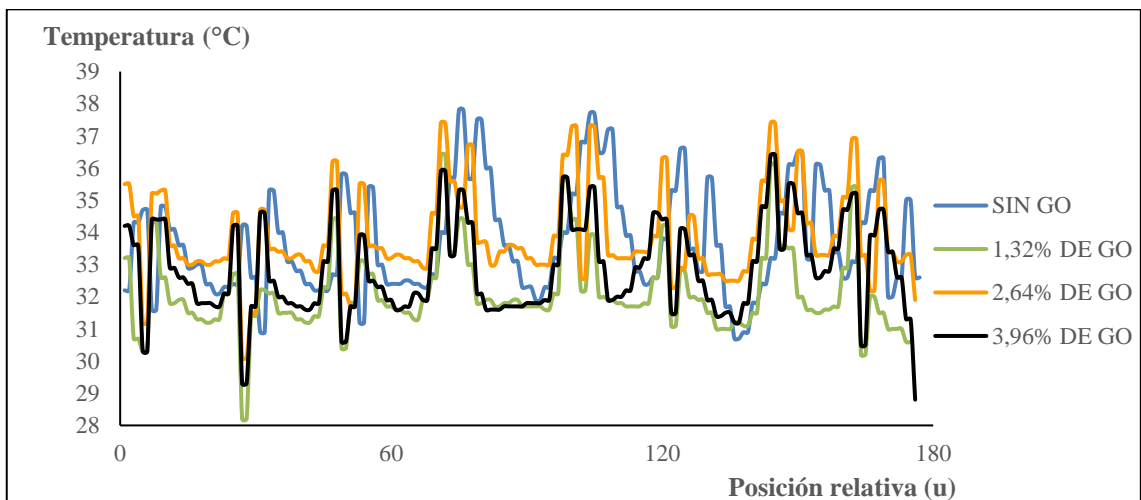


Gráfico 40-4: Análisis termográfico 32, sin GO y con los diferentes porcentajes de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

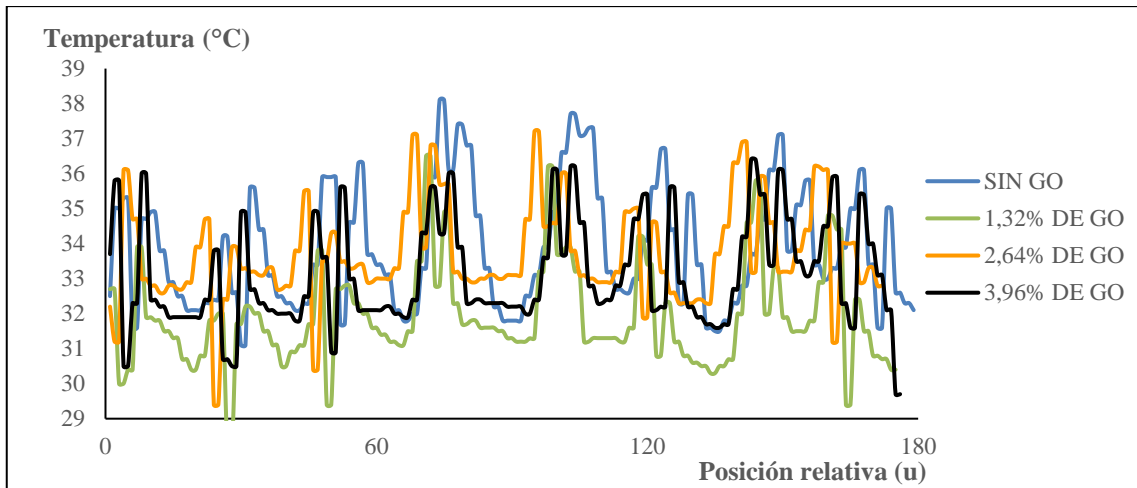


Gráfico 41-4: Análisis termográfico 33, sin GO y con los diferentes porcentajes de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

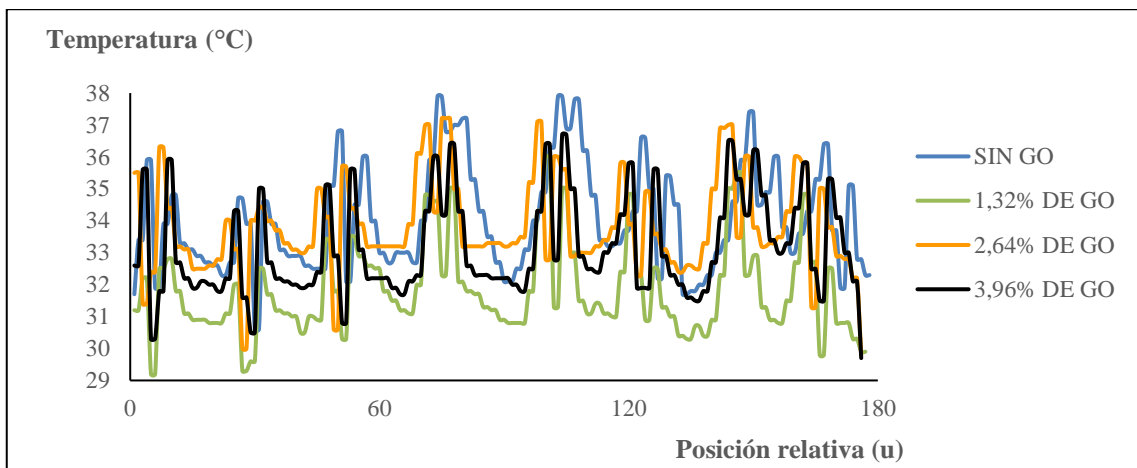


Gráfico 42-4: Análisis termográfico 34, sin GO y con los diferentes porcentajes de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

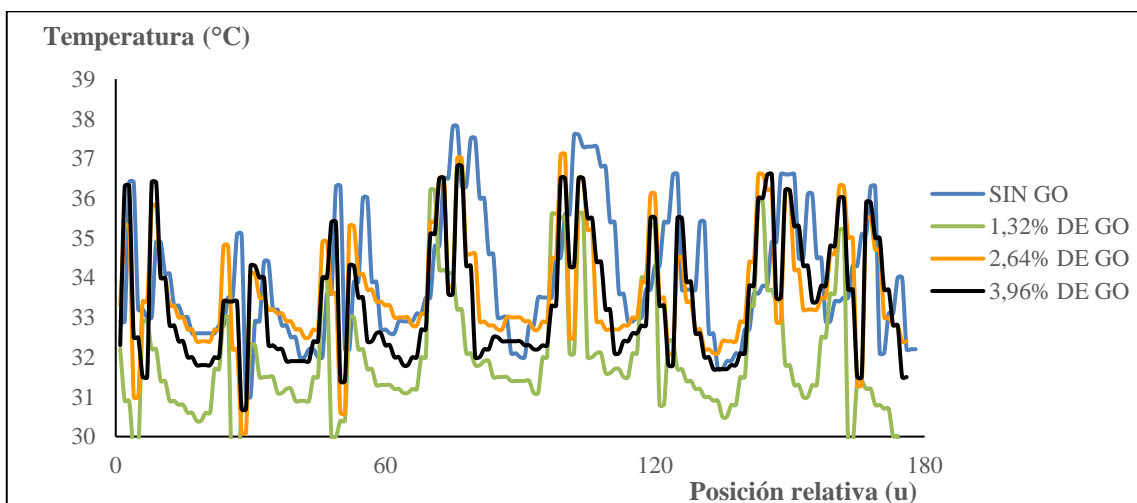


Gráfico 43-4: Análisis termográfico 35, sin GO y con los diferentes porcentajes de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

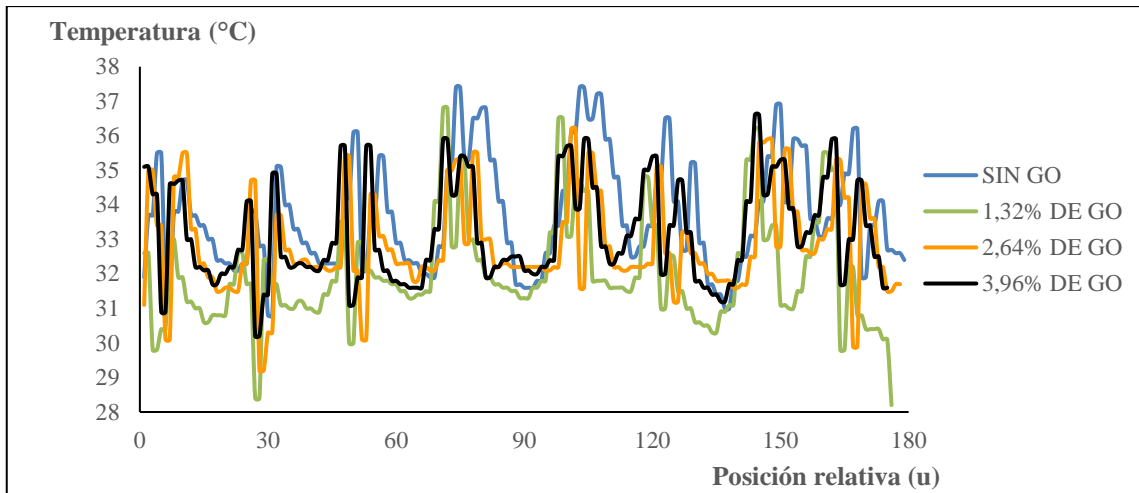


Gráfico 44-4: Análisis termográfico 36, sin GO y con los diferentes porcentajes de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

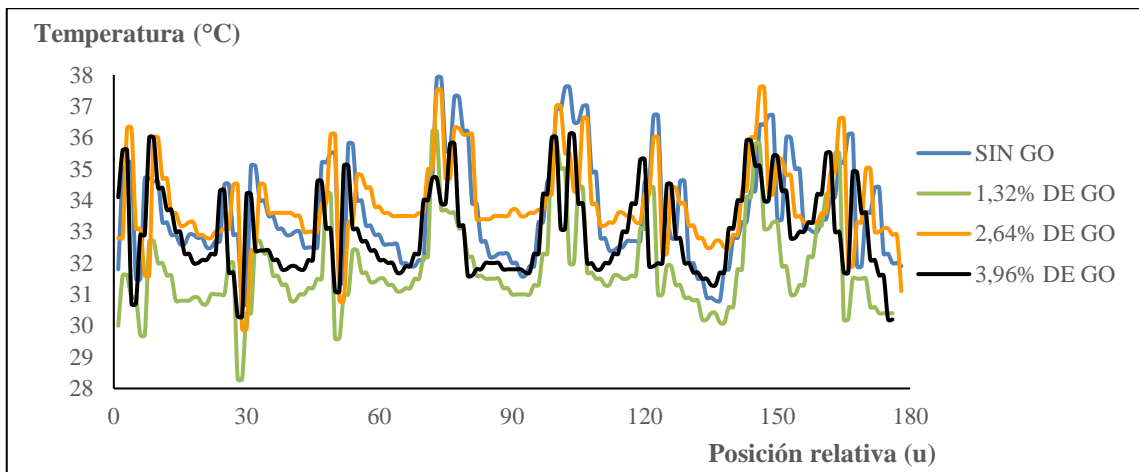


Gráfico 45-4: Análisis termográfico 37, sin GO y con los diferentes porcentajes de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

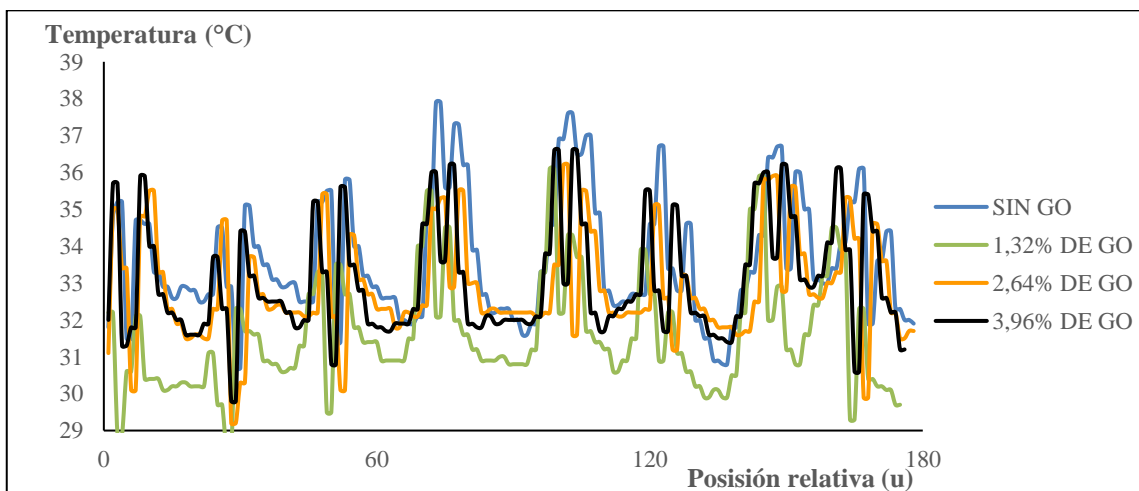


Gráfico 46-4: Análisis termográfico 38, sin GO y con los diferentes porcentajes de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

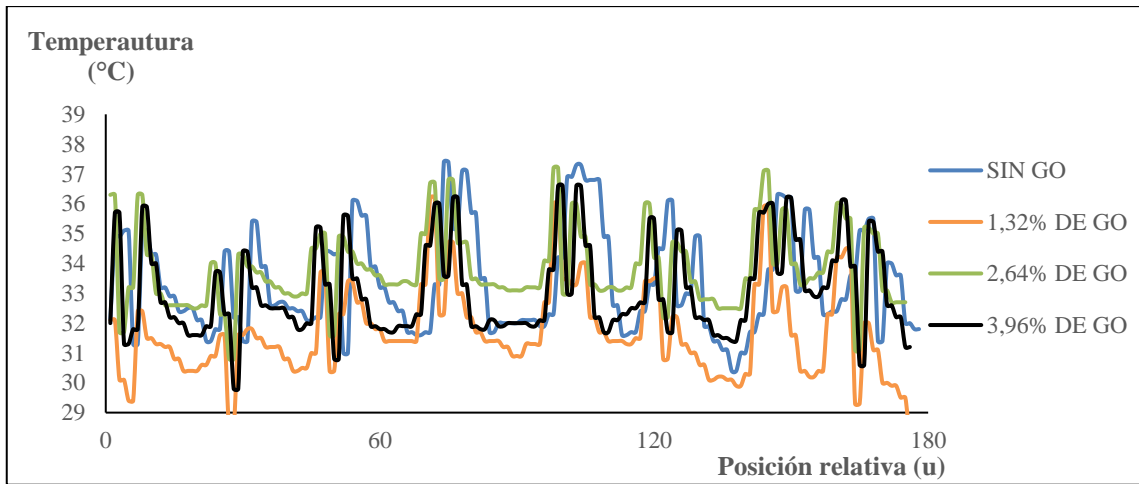


Gráfico 47-4: Análisis termográfico 39, sin GO y con los diferentes porcentajes de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

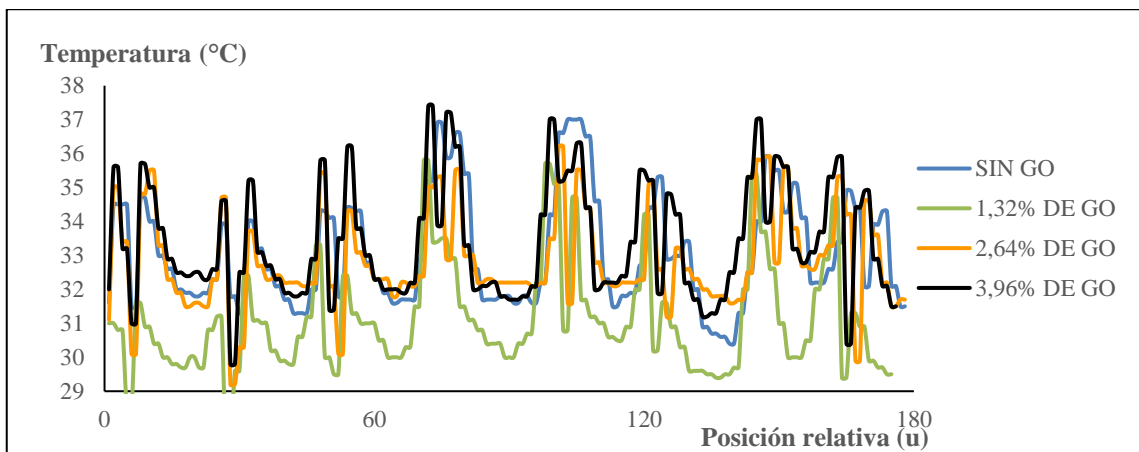


Gráfico 48-4: Análisis termográfico 40, sin GO y con los diferentes porcentajes de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

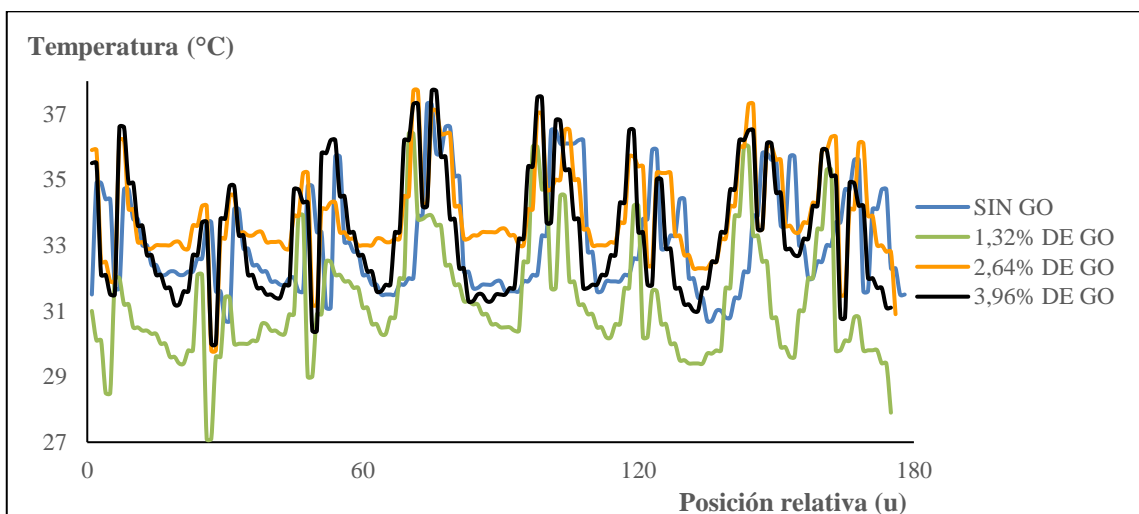


Gráfico 49-4: Análisis termográfico 41, sin GO y con los diferentes porcentajes de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

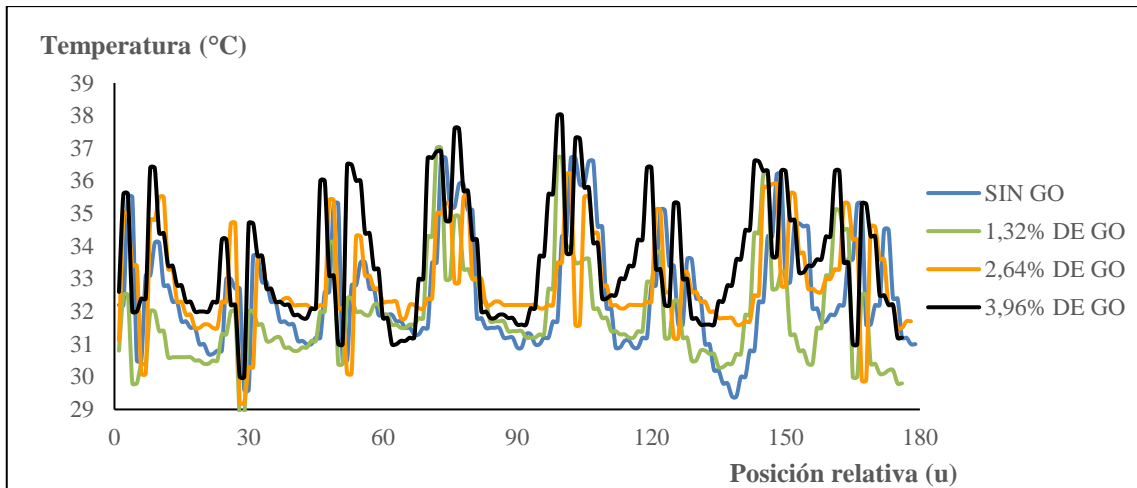


Gráfico 50-4: Análisis termográfico 42, sin GO y con los diferentes porcentajes de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

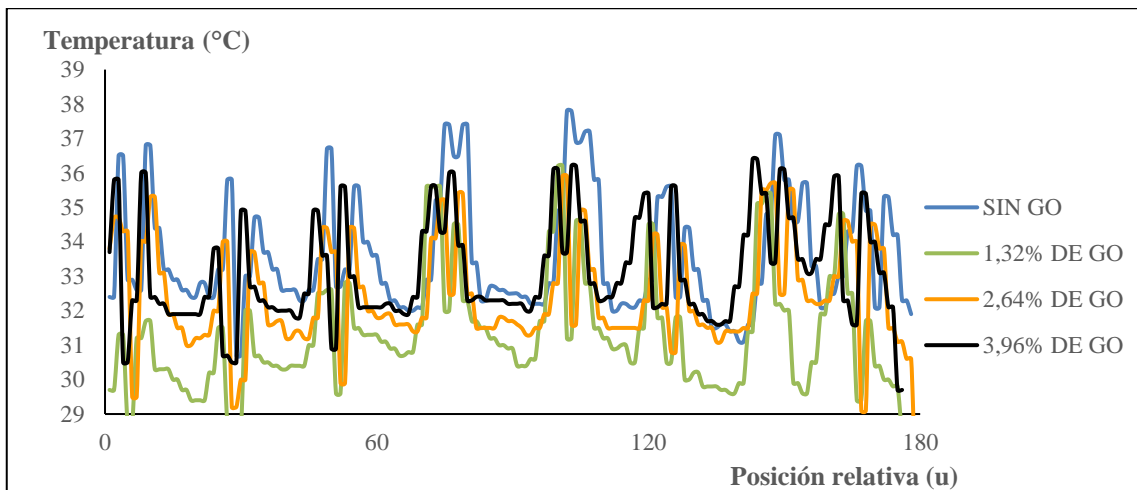


Gráfico 51-4: Análisis termográfico 43, sin GO y con los diferentes porcentajes de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

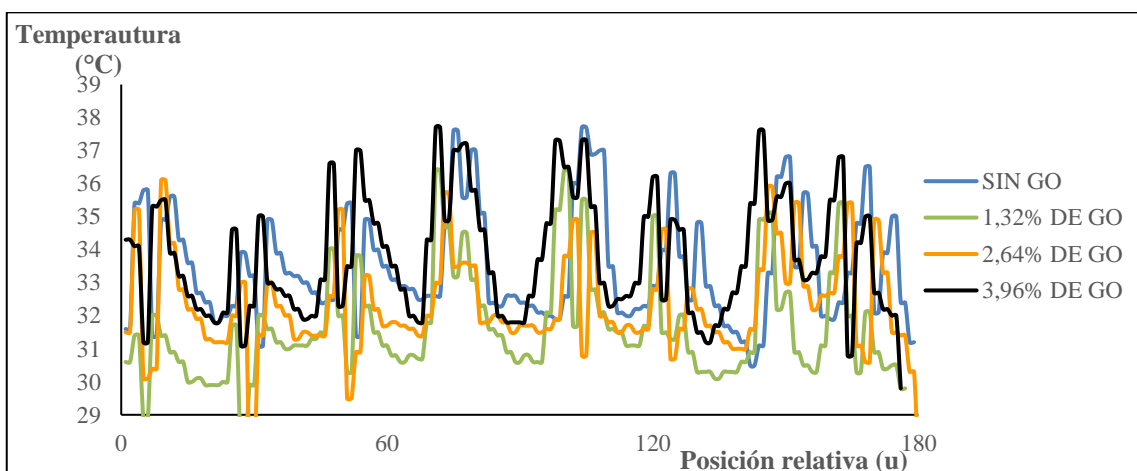


Gráfico 52-4: Análisis termográfico 44, sin GO y con los diferentes porcentajes de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

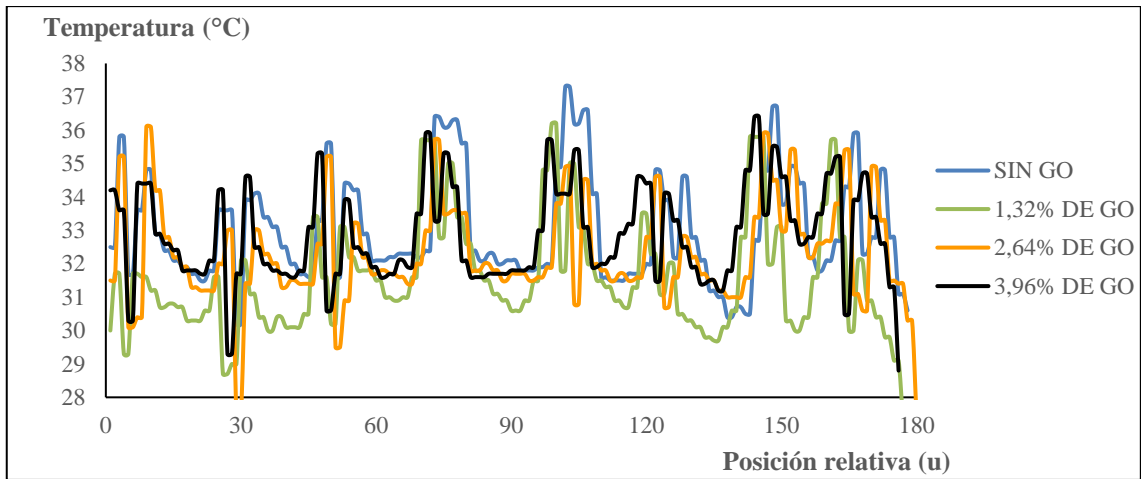


Gráfico 53-4: Análisis termográfico 45, sin GO y con los diferentes porcentajes de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

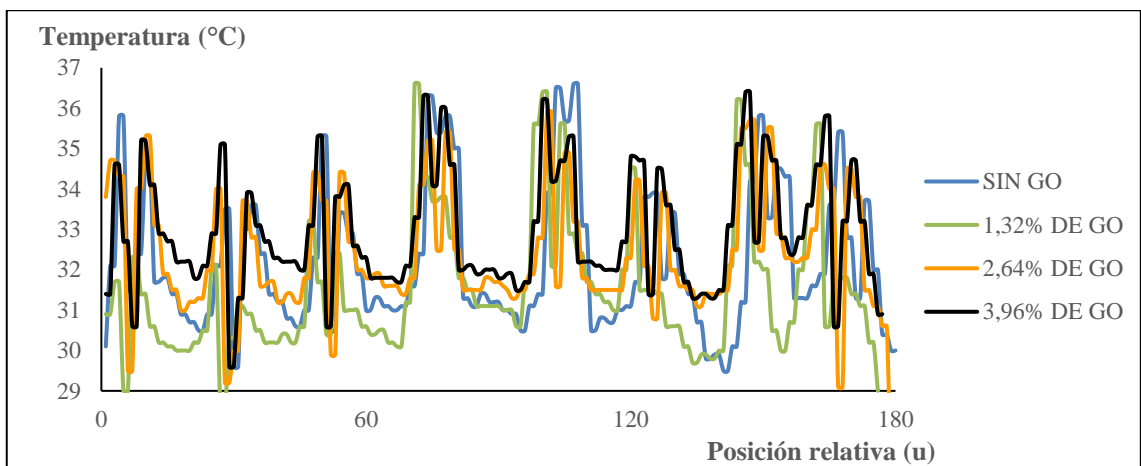


Gráfico 54-4: Análisis termográfico 46, sin GO y con los diferentes porcentajes de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

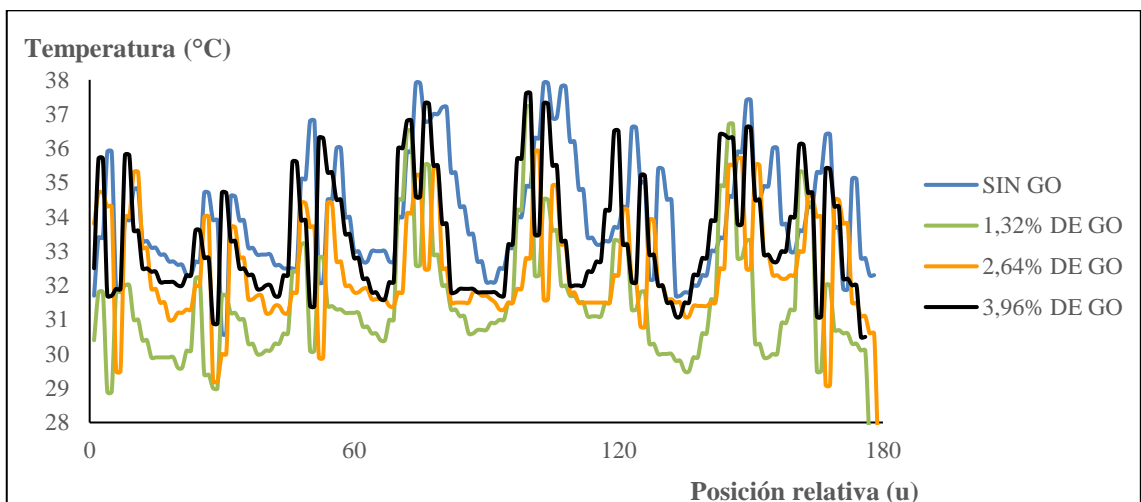


Gráfico 55-4: Análisis termográfico 47, sin GO y con los diferentes porcentajes de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

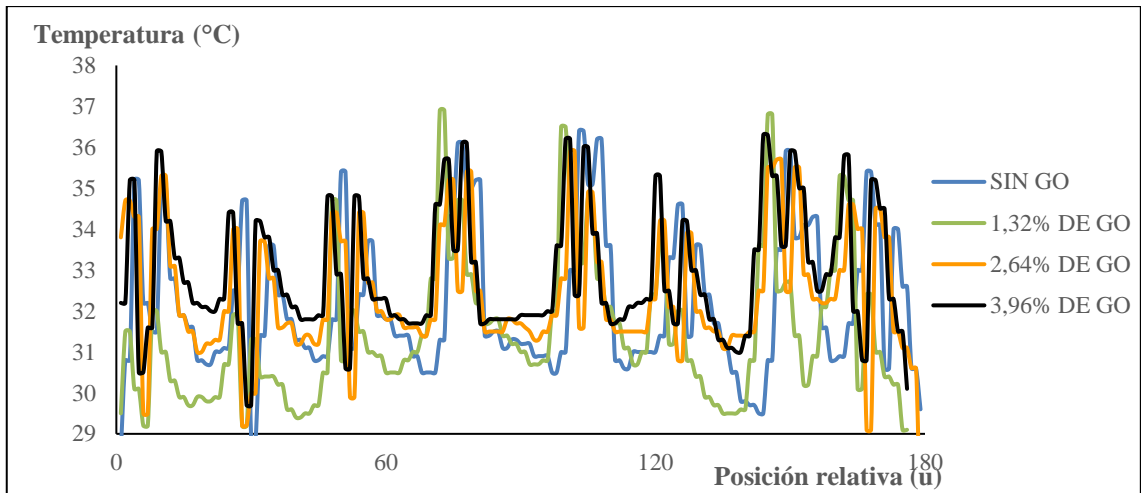


Gráfico 56-4: Análisis termográfico 48, sin GO y con los diferentes porcentajes de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

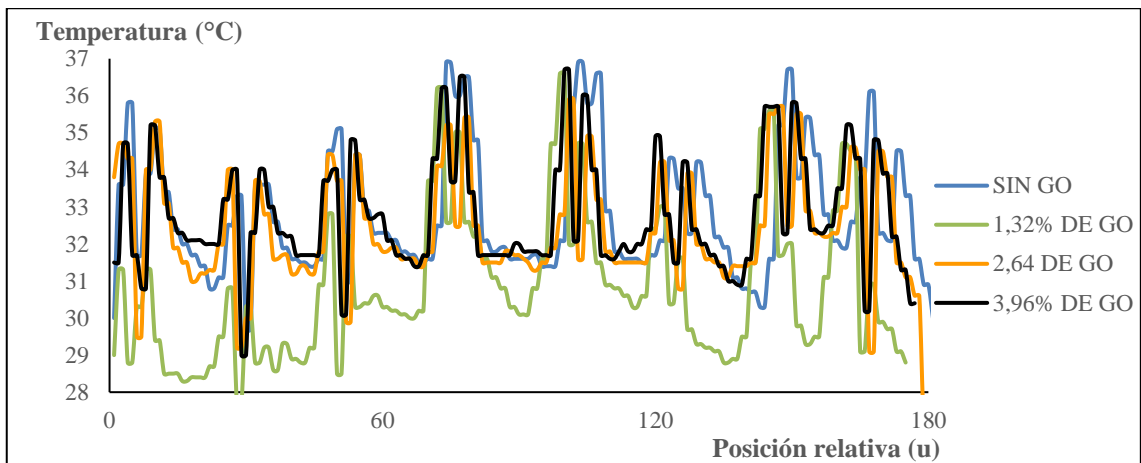


Gráfico 56-4: Análisis termográfico 48, sin GO y con los diferentes porcentajes de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

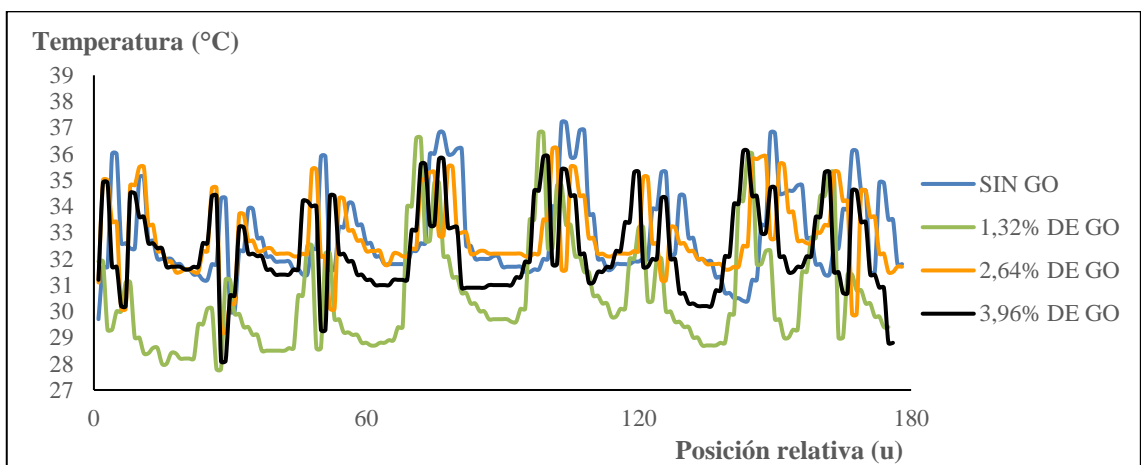


Gráfico 56-4: Análisis termográfico 48, sin GO y con los diferentes porcentajes de GO.

Realizado por: (Lema B., Toapanta K. 2022)

ANEXO E: Representación esquemática del procedimiento de la obtención de GO

Representación esquemática del procedimiento, a partir de polvo de grafito.



Figura 5-4: Representación esquemática del procedimiento, a partir de polvo de grafito

Fuente: (Tene et al., 2020, p. 3)