



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA**

**ANÁLISIS TERMODINÁMICO MEDIANTE LA ENERGÍA LIBRE  
DE GIBBS DEL PROCESO DE DEGRADACIÓN TÉRMICA DE  
MEZCLAS DE TERMOPLÁSTICOS**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA QUÍMICA**

**AUTORA:** KERLY MISHHELL ENRÍQUEZ OCAMPOS

**DIRECTOR:** Ing. PAUL GUSTAVO PALMAY PAREDES MSc.

Riobamba-Ecuador

2022



© 2022, Kerly Mishell Enríquez Ocampos

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

Yo, KERLY MISHELL ENRÍQUEZ OCAMPOS, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 18 de noviembre del 2022






**Kerly Mishell Enríquez Ocampos**

**2100623186**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **ANÁLISIS TERMODINÁMICO MEDIANTE LA ENERGÍA LIBRE DE GIBBS DEL PROCESO DE DEGRADACIÓN TÉRMICA DE MEZCLAS DE TERMOPLÁSTICOS**, realizado por la señorita: **KERLY MISHELL ENRÍQUEZ OCAMPOS**, 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.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Adrián Alejandro Rodríguez Pinos, Mgs. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	 -----	2022-11-18
Ing. Paúl Gustavo Palmay Paredes. MSc. <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>	 -----	2022-11-18
Ing. Mónica Lilian Andrade Avalos. Mgs. <b>ASESORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>	 -----	2022-11-18

## DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación va a dedicado a mi madre querida Noemi Ocampos que gracias a su apoyo, dedicación y amor he podido llegar hasta este momento, por inculcar en mi disciplina y empeño en todo lo que me proponga. A mi padre Edilberto Enríquez que a pesar de las adversidades ha hecho que me convierta en una persona resiliente. A mis amigos Michu, Mishu, Sebas, Hayleen, Anabeth, Jean, Lenin y bueno la lista continua a todos aquellos que hicieron que este camino sea más ameno, gracias por todos los momentos vividos, por los buenos recuerdos que llevo y llevare siempre en mí corazón.

A los buenos profesores que gracias a la manera que impartían su materia me ayudaron amar más esta carrera.

*Kerly*

## **AGRADECIMIENTO**

A lo largo de esta carrera Dios ha sido el motivador que siempre ha estado para impulsar en mi valentía y fortaleza para seguir hasta el final.

Quiero agradecer a mi tutor al Inge. Paúl Palmay que ha sido un buen profesor, amigo, y gran persona, he tenido la oportunidad de obtener su ayuda profesional para con la realización de mi tesis. A la Ingeniera Mónica Andrade por estar dispuesta a aportar con su conocimiento para con este trabajo de integración curricular, de igual manera por aportar a lo largo de mi carrera sus conocimientos, ha sido buena profesora y un gran ser humano.

*Kerly*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS .....	ix
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	x
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xi
ÍNDICE DE ABREVIATURAS .....	xii
RESUMEN .....	xiii
ABSTRACT .....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1

### CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	3
1.1. Planteamiento del problema .....	3
1.2. Problema general de investigación .....	4
1.2.1. <i>¿Por qué es importante conocer el comportamiento degradativo?</i> .....	4
1.3. Problemas específicos de investigación .....	4
1.3.1. <i>¿Es importante analizar la pérdida de masa con respecto a la temperatura?</i> .....	4
1.3.2. <i>¿Plantear modelos isoconversionales para ajuste de datos de degradación?</i> .....	4
1.3.3. <i>¿Cómo obtener los parámetros termodinámicos?</i> .....	4
1.4. Objetivos .....	5
1.4.1. <i>Objetivos General</i> .....	5
1.4.2. <i>Objetivos Específicos</i> .....	5
1.5. Justificación .....	5
1.5.1. <i>Justificación Teórica</i> .....	5
1.5.2. <i>Justificación Metodológica</i> .....	6
1.5.3. <i>Justificación Práctica</i> .....	6
1.6. Hipótesis.....	7
1.6.1. <i>Hipótesis general</i> .....	7
1.6.2. <i>Hipótesis específicas</i> .....	7

### CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. Antecedentes de la investigación.....	8
2.2. Referencias teóricas .....	9



2.2.1.	<i>Aspectos generales de la degradación de polímeros</i>	9
2.2.2.	<i>Características de los plásticos</i>	10
2.2.2.1.	<i>Degradación térmica</i>	10
2.2.3.	<i>Análisis termogravimétrico</i>	11
2.2.4.	<i>Modelación cinética</i>	11
2.2.5.	<i>Métodos isoconversionales</i>	13
2.2.5.1.	<i>Método friedman (FR)</i>	13
2.2.5.2.	<i>Método kissinger – akahira – sunose (KAS)</i>	13
2.2.6.	<i>Modelo de reacción</i>	14
2.2.7.	<i>Co-pirólisis</i>	14
2.2.8.	<i>Efecto sinérgico</i>	14
2.2.9.	<i>Parámetros termodinámicos</i>	15

### CAPÍTULO III

3.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b>	17
3.1.	<b>Enfoque de investigación</b>	17
3.1.1.	<i>Método cuantitativo</i>	17
3.1.2.	<i>Método cualitativo</i>	17
3.2.	<b>Nivel de investigación</b>	17
3.3.	<b>Diseño de investigación</b>	18
3.3.1.	<i>Según la manipulación o no de la variable independiente</i>	20
3.3.2.	<i>Según las intervenciones en el trabajo de campo</i>	21
3.4.	<b>Tipo de Estudio</b>	21
3.5.	<b>Población y planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra</b>	21
3.6.	<b>Métodos, técnicas e instrumentos de investigación</b>	21
3.6.1.	<i>Modelo cinético de kissinger – akahira – sunose (KAS)</i>	21

### CAPÍTULO IV

4.	<b>MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b>	22
4.1.	<b>Composición de la mezcla de polímeros</b>	22
4.2.	<b>Análisis Termogravimétrico (TG y DTG)</b>	22
4.3.	<b>Modelo cinético basado en el método de Kissinger-Akahira-Sunose (KAS)</b>	28
4.3.1.	<i>Ajuste y Validación estadística del modelo de KAS</i>	30
4.3.1.1.	<i>Función Objetivo Error</i>	30

<b>CONCLUSIONES</b> .....	38
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	39
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b> Características de los Plásticos .....	10
<b>Tabla 2-2:</b> Modelo de reacción para cada residuo de plástico .....	14
<b>Tabla 3-3:</b> Enfoque de Investigación .....	20
<b>Tabla 4-4:</b> Composición de la mezcla de termoplásticos probados en este estudio.....	22
<b>Tabla 5-4:</b> Variación de masa de la mezcla de plásticos para TGA 5°C.min <sup>-1</sup> .....	23
<b>Tabla 6-4:</b> Datos de variación para DTG 5°C.min <sup>-1</sup> .....	23
<b>Tabla 7-4:</b> Variación de masa de la mezcla de plásticos para TGA 10°C.min <sup>-1</sup> .....	23
<b>Tabla 8-4:</b> Datos de variación para DTG 10°C.min <sup>-1</sup> .....	24
<b>Tabla 9-4:</b> Variación de masa de la mezcla de plásticos para TGA 15°C.min <sup>-1</sup> .....	24
<b>Tabla 10-4:</b> Datos de variación para DTG 15°C.min <sup>-1</sup> .....	25
<b>Tabla 11-4:</b> Parámetros cinéticos para la tasa de calentamiento de 5°C.min <sup>-1</sup> .....	29
<b>Tabla 12-4:</b> Parámetros cinéticos para la tasa de calentamiento de 10°C.min <sup>-1</sup> .....	29
<b>Tabla 13-4:</b> Parámetros cinéticos para la tasa de calentamiento de 15°C.min <sup>-1</sup> .....	29
<b>Tabla 14-4:</b> Parámetros cinéticos ajustados para la tasa de calentamiento de 5°C.min <sup>-1</sup> .....	31
<b>Tabla 15-4:</b> Parámetros cinéticos ajustados para la tasa de calentamiento de 10°C.min <sup>-1</sup> .....	32
<b>Tabla 16-4:</b> Parámetros cinéticos ajustados para la tasa de calentamiento de 15°C.min <sup>-1</sup> .....	33
<b>Tabla 17-4:</b> Parámetros Termodinámicos estimados para la tasa de 5 °C.min <sup>-1</sup> . .....	34
<b>Tabla 18-4:</b> Parámetros Termodinámicos estimados para la tasa de 10 °C.min <sup>-1</sup> . .....	34
<b>Tabla 19-4:</b> Parámetros Termodinámicos estimados para la tasa de 15 °C.min <sup>-1</sup> . .....	34

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1-3:</b> Diagrama de Flujo del proceso de estudio cinético de la degradación térmica para mezclas de plásticos. ....	19
<b>Ilustración 2-3:</b> Diagrama de flujo de obtención de los datos del TGA y parámetros termodinámicos para la mezcla de termoplásticos. ....	20
<b>Ilustración 3-4:</b> Rampa TGA 5°C.min <sup>-1</sup> .....	25
<b>Ilustración 4-4:</b> Rampa TGA 10°C.min <sup>-1</sup> .....	26
<b>Ilustración 5-4:</b> Rampa TGA 15°C.min <sup>-1</sup> .....	26
<b>Ilustración 6-4:</b> Rampa DTG 5°C.min <sup>-1</sup> .....	27
<b>Ilustración 7-4:</b> Rampa DTG 10°C.min <sup>-1</sup> .....	27
<b>Ilustración 8-4:</b> Rampa DTG 15°C.min <sup>-1</sup> .....	28
<b>Ilustración 9-4:</b> Esquema de la pirólisis mixta .....	32
<b>Ilustración 10-4:</b> Comparación de los valores de la $\Delta G$ para cada tasa de calentamiento .....	35
<b>Ilustración 11-4:</b> Comparación de los valores de la $\Delta H$ para cada tasa de calentamiento.....	36
<b>Ilustración 12-4:</b> Comparación de los valores de la $\Delta S$ para cada tasa de calentamiento .....	36

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** RESULTADOS DE LA COMPOSICIÓN MIXTA ESTUDIADA

**ANEXO B:** REGRESIÓN LINEAL PARA LA TASA DE 5,10 Y 15 °C.MIN<sup>-1</sup>

**ANEXO C:** AJUSTE DEL MODELO CINÉTICO PARA DTG EXPERIMENTAL VS DTG AJUSTADO

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>PP</b>	Polipropileno
<b>PE</b>	Polietileno
<b>PET</b>	Tereftalato de Polietileno
<b>PS</b>	Poliestireno
<b>PVC</b>	Policloruro de Vinilo
<b>KAS</b>	Kissinger – Akahira – Sunose
<b>DTG</b>	Diferencial Termogravimétrico
<b>TGA</b>	Análisis Termogravimétrico
<b>A</b>	Factor pre exponencial
<b>Ea</b>	Energía de Activación
<b>B</b>	Tasa de Calentamiento

## RESUMEN

El presente trabajo de estudio tiene como objetivo analizar la energía libre de Gibbs de la degradación térmica de mezclas de termoplásticos; polímeros que comúnmente se encuentra en los residuos sólidos urbanos siendo estos el PP, PE, PS, PET, PVC mediante el método de análisis termogravimétrico (TGA) que se basa en la medición de la pérdida de masa del material en función de la temperatura aplicado a tres velocidades de calentamiento de 5, 10 y 15 °C.min<sup>-1</sup>. Los datos fueron aplicados al modelo libre de Kissinger\_Akahira\_Sunose (KAS), el mismo que fue ajustado mediante un análisis estadístico haciendo regresión lineal para determinar la energía de activación ( $E_a$ ), el factor pre exponencial (A). La fórmula del modelo basado en la ecuación de Arrhenius fue empleada para obtener las gráficas del TGA que midió la masa de muestra durante su calentamiento y el DTG que indicó la temperatura máxima a la que llegó el proceso. Se utilizó el indicador estadístico para minimizar el error absoluto (FOE) y seleccionar los datos ajustados para los parámetros cinéticos; los valores de energía de activación osciló entre (194-215) kJ.mol<sup>-1</sup>, (168-170) kJ.mol<sup>-1</sup>, (228-246) kJ.mol<sup>-1</sup> para la tasa de calentamiento de 5, 10 y 15 °C.min<sup>-1</sup> respectivamente. Con los datos cinéticos obtenidos se determinó los parámetros termodinámicos cuyos valores fueron positivos para la entalpía ( $\Delta H$ ), energía libre de Gibbs ( $\Delta G$ ) y negativos para la entropía ( $\Delta S$ ). Se concluye que la energía total del sistema tiene un proceso no espontáneo por sus valores positivos reflejando una mayor cantidad en la tasa de 5 °C.min<sup>-1</sup> con un valor de 704 kJ.mol<sup>-1</sup>. Se recomienda seleccionar en la gráfica del DTG los datos de la curva más pronunciada ya que es donde se encontró la variación de masa con mayor degradación.

**Palabras clave:** <DEGRADACIÓN TÉRMICA>, <MEZCLAS DE TERMOPLÁSTICOS>, <ENERGÍA LIBRE DE GIBBS>, <KISSINGER\_AKAHIRA\_SUNOSE>, <ANÁLISIS TERMOGRAVIMÉTRICO>, <PARÁMETROS CINÉTICOS>, <PARÁMETROS TERMODINÁMICOS>.

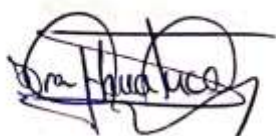


2329-DBRA-UTP-2022

## ABSTRACT

The present study aims to analyze the Gibbs free energy of thermal degradation of thermoplastic blends; polymers commonly found in municipal solid waste such as PP, PE, PS, PET, PVC using the thermogravimetric analysis method (TGA) which is based on the measurement of the mass loss of the material as a function of temperature applied at three heating rates of 5, 10 and 15 °C.min<sup>-1</sup>. The data were applied to the free Kissinger\_Akahira\_Sunose (KAS) model, which was fitted by statistical analysis using linear regression to determine the activation energy (E<sub>a</sub>), the pre-exponential factor (A). The model formula based on the Arrhenius equation was used to obtain the graphs of the TGA which measured the sample mass during heating and the DTG which indicated the maximum temperature at which the process reached. The statistical indicator was used to minimize the absolute error (FOE) and select the adjusted data for the kinetic parameters; the activation energy values ranged between (194-215) kJ.mol<sup>-1</sup>, (168-170) kJ.mol<sup>-1</sup>, (228-246) kJ.mol<sup>-1</sup> for the heating rate of 5, 10 and 15 °C.min<sup>-1</sup> respectively. With the kinetic data obtained, the thermodynamic parameters were determined whose values were positive for enthalpy (ΔH), Gibbs free energy (ΔG) and negative for entropy (ΔS). It is concluded that the total energy of the system has a non-spontaneous process due to its positive values reflecting a greater amount in the rate of 5 °C.min<sup>-1</sup> with a value of 704 kJ.mol<sup>-1</sup>. It is recommended to select in the DTG graph the data of the steepest curve since it is where the mass variation with the highest degradation was found.

**Keywords:** <THERMAL DEGRADATION>, <THERMOPLASTIC MIXTURES>, <GIBBS FREE ENERGY>, <KISSINGER\_AKAHIRA\_SUNOSE>, <THERMOGRAVIMETRIC ANALYSIS>, <KINEMATIC PARAMETERS>, <THERMODYNAMETERS>.



Dra. Nanci Margarita Inca Chunata Mgs.

0602926719



## INTRODUCCIÓN

Los residuos plásticos que se genera cada día van en aumento y tratar de promover un uso alternativo sostenible y eficiente que permitan resolver los problemas de contaminación ambiental es un reto.

El proceso de pirólisis permite la descomposición termoquímica anaeróbica de residuos plásticos a alta temperatura con o sin la presencia de un catalizador para obtener biocombustibles que se caracterizan por sus altos valores caloríficos que coinciden con los del combustible comercial y suponen una minimización en la huella de carbono de los productos de plástico al reducir la emisión de dióxido y monóxido de carbono.

Sin embargo, el mecanismo de degradación térmica de los plásticos es de naturaleza compleja, y la Confederación Internacional de Calorimetría de Análisis Térmico (ICTAC) recomienda métodos isoconversionales (método diferencial o integral) para evaluar la cinética de degradación de residuos plásticos calculando la energía de activación a medida que avanza la reacción con los datos experimentales obtenidos del TGA considerando una reacción general de degradación.

En este sentido, se ha utilizado el método diferencial de Kissinger\_Akahira\_Sunose (KAS) para evaluar la descomposición térmica de mezclas de plásticos (PP, PE, PVC, PS, PET) y comprender la cinética de reacción determinando los principales parámetros cinéticos que rigen en la reacción.

Por tanto, se analizará a partir de la energía libre de Gibbs el proceso de degradación térmica de mezclas de termoplásticos partiendo de los parámetros cinéticos ajustados obtenidos en la reacción: Energía de Activación ( $E_a$ ), Factor pre exponencial ( $A$ ) haciendo uso de la ecuación de Arrhenius a una velocidad de calentamiento de 5,10 y 15 °C.min<sup>-1</sup>.



## CAPÍTULO I

### 1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

#### 1.1. Planteamiento del problema

Los residuos de plásticos son uno de los principales contribuyentes a la cantidad total de desechos sólidos urbanos, el problema radica en las grandes compañías que producen diariamente miles de toneladas de plásticos debido a la alta demanda que existe por la necesidad o costumbre que tiene el mercado por usarlo. Soliz (2020, p. 138) menciona que en Ecuador se genera diariamente 13.400 toneladas de residuos sólidos urbanos, de los cuales el 44% son enterrados en rellenos sanitarios, el 34% en vertederos controlados y el 22% en botaderos a cielo abierto, ríos y quebradas. Únicamente el 3.7% RSU es utilizado como reciclaje y compostaje.

Entre los plásticos no biodegradables se encuentra el polietileno (PE), el polipropileno (PP), el poliestireno (PS), el polietileno tereftalato (PET), y el policloruro de vinilo (PVC), estos residuos de plásticos son conocidos como termoplásticos, es decir que pueden ser deformados al calentar y reformados de nuevo al ser enfriados, estos comúnmente se encuentran entre los flujos de residuos post-industrial aquellos que son eliminados al final de la línea de producción y nunca llegaron a los consumidores, como también en los residuos post consumo que principalmente son generados después de un solo uso de un producto de plástico y según sea el tipo de plástico y las condiciones medioambientales, se ha estimado que puede tardar de 10 a 1000 años para alcanzar la degradación natural de los residuos de termoplásticos (Taghavi et al. 2021, p. 2).

En la ciudad de Riobamba se ha podido evidenciar el incremento del uso de plástico, principalmente en la zona urbana y por ende en el crecimiento de desechos sólidos. Existe un monto aproximado que está entre 105 a 100 toneladas de residuos, en base a esto el municipio de Riobamba vio la necesidad de construir un relleno sanitario para la ciudad, pero, los rellenos sanitarios no son una opción viable ya que al estar en contacto con al aire libre producen gases tóxicos, además que cumplen con un tiempo de vida (Kairós 2021, p. 72).

Por tal motivo es importante conocer el comportamiento de los plásticos durante su degradación térmica por lo que implica un conjunto de reacciones químicas necesarias para que el plástico se descomponga, y conocer estas reacciones es totalmente imperativo, ya que solo de esa forma se puede comprender los puntos de relevancia en los cuales este estudio se puede sustentar para realizar un análisis óptimo, y de esta manera poder colaborar un poco más a lo que es el reciclaje de plásticos no degradables.

## **1.2. Problema general de investigación**

### ***1.2.1. ¿Por qué es importante conocer el comportamiento degradativo?***

En primer lugar, porque existe muy poca información del comportamiento degradativo para una mezcla de termoplásticos, si bien se sabe la naturaleza de la degradación varía ampliamente con el tipo de polímero y muchos otros factores e investigar el análisis cinético de co-pirólisis para las mezclas (PP, PE, PS, PET, PVC) ayudara a profundizar la comprensión del comportamiento cinético aplicando los métodos isoconversionales; se podrá obtener datos que pueden servir para seguir utilizando para más estudios y de esta manera encontrar la estabilidad del comportamiento degradativo más adecuado para poder usarlo como una recuperación de energía o entre otras aplicaciones.

## **1.3. Problemas específicos de investigación**

### ***1.3.1. ¿Es importante analizar la pérdida de masa con respecto a la temperatura?***

El análisis termogravimétrico TGA es utilizada por ser una técnica rápida menos costosa y fácil de usar ya que monitorea el cambio de peso que ocurre cuando una muestra se calienta a una velocidad constante; al obtener la variación de peso respecto a la temperatura ayudara a conocer en los parámetros cinéticos el comportamiento que tienen la mezcla de los polímeros.

### ***1.3.2. ¿Plantear modelos isoconversionales para ajuste de datos de degradación?***

La Confederación Internacional de Calorimetría de Análisis Térmico (ICTAC) recomienda métodos isoconversionales (método diferencial o integral) para evaluar la cinética de degradación de residuos plásticos; utilizados para procesar los datos del TGA en parámetros cinéticos.

### ***1.3.3. ¿Cómo obtener los parámetros termodinámicos?***

La evaluación precisa de los parámetros cinéticos puede ser difícil debido a la heterogeneidad de la composición de la mezcla de termoplásticos que resulta en múltiples reacciones.

Sin embargo, a partir de los datos cinéticos, es posible predecir los parámetros termodinámicos en función de la conversión a partir de los cambios en la entalpía, la entropía y la energía libre

de Gibbs, utilizando ecuaciones teóricas derivadas de la teoría del complejo activado. Estos parámetros son importantes para establecer la viabilidad del proceso térmico y realizar las mediciones de energía (Mumbach et al. 2019, p. 2).

## **1.4. Objetivos**

### ***1.4.1. Objetivos General***

- Analizar mediante la energía libre de Gibbs el proceso de degradación térmica de mezclas de termoplásticos.

### ***1.4.2. Objetivos Específicos***

- Analizar la pérdida de masa con respecto a la temperatura para cada uno de las mezclas.
- Plantear modelos isoconversionales para ajuste de datos de la degradación térmica de mezclas plásticos.
- Determinar los parámetros termodinámicos del proceso de degradación de las diferentes mezclas y el análisis de la energía libre de Gibbs.

## **1.5. Justificación**

### ***1.5.1. Justificación Teórica***

La pirolisis es considerada como un método prometedor para recuperar valiosos hidrocarburos de los flujos de residuos, para comprenderlo mejor es necesario conocer los parámetros del proceso de descomposición térmica por medio de técnicas termogravimétricas que permitirán el desarrollo del proceso de reciclaje de estos materiales a una escala industrial.

El proceso de reciclaje del plástico puede ser mejorado en varios niveles, para ello es vital conocer el comportamiento de los plásticos durante la degradación térmica, es decir que al lograr comprender la cinética química de estos elementos se puede considerar fiable emplear un análisis térmico.

La comprensión de la cinética química en el proceso de degradación es un punto trascendente de esta investigación, el proceso químico implicado durante la degradación puede influir en la composición química del polímero y también en parámetros físicos, es por ello que el análisis cinético ayudará a conocer los cambios significativos que experimentará las mezclas de polímeros, este estudio se basa ajustando datos experimentales de la cinética de las mezclas

obtenidos a diferentes tasas de calentamiento a varios modelos de reacción que se basan en parámetros de la ecuación de Arrhenius. Por tal efecto se puede asegurar que el estudio cinético de la degradación térmica proporcionara información útil para mejorar algún tratamiento de materiales poliméricos.

La información que tendrá esta investigación podría servir como guía para futuros estudios que la Facultad de Ciencias de la ESPOCH pueda proponer o para ejecutar proyectos con la comunidad industrial de la ciudad, el país; ya que la utilización de estos materiales tiene una afección a nivel nacional e internacional.

### ***1.5.2. Justificación Metodológica***

Esta investigación busca obtener más información del trabajo realizado por el grupo de investigación ambiental y desarrollo GIADE “Reciclaje Químico”. Con base a los anteriores estudios acerca de la degradación térmica de polímeros PP, PE, PET, PVC, PS teniendo ya los datos experimentales obtenidos a partir del análisis gravimétrico térmico empleando un instrumento TGA Q 500 que calentara los polímeros a diferentes tasas de calentamiento en 5, °C.min<sup>-1</sup>, 10 °C.min<sup>-1</sup> y 15 °C.min<sup>-1</sup>.

Estos datos experimentales se utilizarán para determinar el comportamiento de la co-pirólisis de estos mismos polímeros, sabiendo que la co-pirólisis es un proceso que implica la degradación de una mezcla de dos o más materiales como una materia prima en el que se puede inducir un efecto sinérgico entre materiales.

El estudio cinético de la degradación térmica proporcionará información útil para la optimización del tratamiento sucesivo de las mezclas de termoplásticos para determinar el triplete cinético ( $A, E_a, f(\alpha)$ ) se lo hará con los modelos isoconversionales que asume que la función  $f(\alpha)$  no cambia con la variación de la tasa de calentamiento para todos los valores de la conversión. Este método es considerado por dar valores exactos de la energía de activación además el factor pre-exponencial generalmente no puede determinarse sin la presencia del modelo de reacción. Este método fue propuesto por Kissinger\_Akahira\_Sunoe (KAS) y Friedman (FR) y en este estudio se basará en aplicar solo el método de Kissinger\_Akahira\_Sunoe (KAS) (Marinović-Cincović et al. 2013, p. 323).

### ***1.5.3. Justificación Práctica***

Si bien en cierto los plásticos reciclables como tereftalato de polietileno, polietileno de alta densidad, cloruro de polivinilo, polietileno de baja densidad, polipropileno, poliestireno se etiquetan como 1 a 7 ya que se clasifican debido al orden de facilidad de reciclar. Sin embargo, el reciclaje de plásticos se complica a medida que avanza el número de etiqueta. Es por tanto

que se adoptan medidas de reciclaje. Kumar (2020, p. 2383) El proceso de reciclaje de termoplásticos se clasifica en cuatro categorías primaria, secundaria, terciaria y cuaternaria. El reciclaje primario y secundario se encuentran entre los medios mecánicos del reciclaje, mientras que el reciclaje terciario y cuaternario se encuentra en la categoría de reciclaje químico y térmico, pero porque el reciclaje terciario es el más sustentable que el cuaternario, el reciclaje cuaternario se enfoca en el “proceso de incineración” el problema radica en que se produce una alta contaminación que puede ser una amenaza al medio ambiente, mientras que el reciclaje terciario es un proceso tipo químico que mediante la pirólisis se da un craqueo térmico donde se produce la degradación de la biomasa por efecto del calor sin la presencia de oxígeno siendo un proceso más sustentable para el medio ambiente y también se considera un proceso más económico.

## **1.6. Hipótesis**

### ***1.6.1. Hipótesis general***

- Mediante el análisis de la energía libre de Gibbs se podrá determinar el proceso de degradación térmica más adecuado para las mezclas de termoplástico.

### ***1.6.2. Hipótesis específicas***

- Se podrá conocer a partir del modelo cinético KAS los datos del análisis de pérdida de masa respecto a la temperatura para las tres tasas de calentamiento para cada una de las mezclas.
- Por medio del análisis termogravimétrico TGA se podrá obtener la energía de activación a las tres tasas de calentamiento aplicando el modelo de KAS.
- Los parámetros termodinámicos como, la energía libre de Gibbs y entropía se determinarán a partir del modelo cinético de KAS.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

Hujuri (2008, p. 1833) menciona que la degradación térmica de los polímeros ha tomado importancia en los últimos años debido a la poca información que se posee por lo que se ha pretendido ampliar el conocimiento de la cinética de degradación térmica de los polímeros para ayudar de cierta forma a contribuir al reciclaje, para ello se ha publicado una gran cantidad de trabajos para estimar la cinética de degradación mediante técnicas empíricas y teóricas como las siguientes:

Li (2021, p. 1-8) la investigación del Estudio sobre la co-pirólisis de llantas de desechos y plásticos tiene como objetivo investigar las características de degradación térmica así como los efectos sinérgicos de la mezcla de WTs (desechos de neumáticos) explorados a través de TG-FTIR/MS, además para encontrar el mecanismo de la co-pirólisis de WTs (desecho de neumáticos) y WPs (PVC, PP, PE) aplicaron el método isoconversional con tres grupos de tasas de calentamiento  $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ ,  $15^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ ,  $20^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  asignando valores de (0.2;0.3;0.4;0.5;0.6;0.7;0.8) respectivamente para la conversión y tuvieron como resultado en las curvas de regresión lineal ajustadas al método FWO un valor del coeficiente relativo ( $R^2$ ) por encima de 0.95 es decir lograron una excelente linealidad lo que demostró que el método FWO es adecuado para el proceso.

También Zaker (2021, p. 3-5) en la investigación de co-pirólisis de lodos depurados y polietileno a baja densidad estudio de la termo-cinética y parámetros termodinámicos busca ampliar información sobre la conversión térmica, mediante el comportamiento cinético, termodinámico de lodos depurados (SS), polietileno de baja densidad (LDPE) y sus mezclas durante la pirólisis. La metodología empleada fue el análisis termogravimétrico (TGA) con ayuda de los métodos sin modelos (isoconversionales) y los métodos de ajuste de modelos lograron estimar los valores del factor pre-exponencial (A) y la energía de activación (E), en esta investigación hicieron usos de cuatro tasas de calentamiento múltiple para mejorar la sensibilidad y el error llegando a obtener un rango de  $194.56\text{-}206.4 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$  y  $119.28\text{-}119.54 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$  para  $\Delta H$  y  $\Delta G$  respectivamente lo que indica que es considerada como una mezcla factible para la producción de bioenergía.

Palmay (2021, p. 2-5) en el estudio de determinación de los parámetros termodinámicos del proceso de pirólisis de termoplástico post consumo mediante análisis termogravimétrico no isotérmico tiene como objetivo determinar los parámetros cinéticos del cambio de energía libre de Gibbs que se produce en las reacciones de los termoplásticos (PP, PS, HDPE, PVC) a partir



del cálculo de la entalpía y entropía. La metodología utilizada estuvo basada en la termogravimetría no isotérmica realizada a tres tasas de calentamiento con una atmosfera inerte usando los modelos isoconversionales de Friedman, Kissinger\_Akahira\_Sunose y Flynn\_Wall\_Ozawa con el fin de conocer el modelo que mejor se ajuste a los datos experimentales y con esto el cálculo del triplete cinético llegando a la conclusión que el modelo KAS fue el que mejor se ajustó para este tipo de material reciclado, se evidencio que las estructuras que tienen grupos aromáticos tiene un valor bajo de energía libre de Gibbs en comparación con los polímeros que tiene estructuras lineales sin embargo los resultados indicaron que para las tasas de calentamiento bajas  $5\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  presenta menos facilidad de procesamientos mientras que para una tasa de entre  $10\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  y  $15\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  tiene mayor facilidad en comparación a la de  $5\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ .

De acuerdo al análisis realizado al estado del arte, los métodos isoconversionales pueden ser utilizados como herramienta principal para determinar los valores del triplete cinético; el factor pre-exponencial, la energía de activación y el orden de reacción cuyo análisis cinético se basa por la ley de Arrhenius que como se conoce esta ley permite estudiar la velocidad en que las reacciones químicas ocurren por tanto es muy factible visualizar como la reacción de la degradación de polímeros va cambiando, basándose en varios factores como es la temperatura y debido a la realización de varios estudios se ha demostrado que es útil tanto para la degradación un polímero como para una mezcla de polímeros.

## **2.2. Referencias teóricas**







### ***2.2.1. Aspectos generales de la degradación de polímeros***

La degradación de polímeros puede definirse como el proceso que sufre una mezcla de polímeros, en atmosfera inerte debido a la acción del calor (Mantia et al. 2017, p. 80). Por lo general existen diferentes tipos de degradación de polímeros. Entre los más comunes son: degradación térmica, termo-oxidativa y foto-oxidativa (Scaffaro and Botta 2013, p. 424 – 425).

## 2.2.2. Características de los plásticos

### 2.2.2.1. Degradación térmica

**Tabla 1-2:** Características de los Plásticos

Tipo de plásticos	Productos Típicos de la pirólisis	Etiquetas
Tereftalato de Polietileno (PET)	Ácido 4-(viniloxicarbonil) benzoico, Acido benzoico, Benzoato de vinilo, Benceno, Tereftalato de divinilo, Ácido Tereftálico, Feniletina, Bifenilo, CO, CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> .	 PETE
Polietileno de Alta densidad (HDPE)	Metano, Etileno, Etano, Propileno, Pronano, Butano, 1-Buteno, 1-Penteno, Butadieno, Alcano y alquinos	 HDPE
Policloruro de Vinilo (PVC)	Ácido clorhídrico, Etileno, Etano, Propileno, Propano, Benceno, Tolueno, PAHs.	 V
Polietileno de Baja densidad (LDPE)	Metano, Etileno, Etano, Propileno, Propano, Butano, 1-Buteno, 1-penteno, Butadieno, Alcanos y alquinos	 LDPE
Polipropileno (PP)	2,4-dimetil-1-hepteno(trimer), Metano, Etano, Propileno, Isobutileno, 2-penteno, 2-metil-1-penteno, 2,4,6-trimetil-1-noneno, alcanos y alquenos	 PP
Poliestireno (PS)	Estireno, dímeros de estireno, trímeros, tetrámeros, benceno, etilbenceno, tolueno, cumeno, naftalenos e indenos.	 PS

**Fuente:** (Mortezaeikia, et al., 2021, p. 2).

**Elaborador por:** Enríquez, Kerly. 2022.

La degradación térmica se determina mediante un análisis gravimétrico térmico empleando un instrumento TGA Q 500. Se calentarán las muestras a una velocidad de calentamiento deseada (Sangroniz et al., 2018, p. 27).

### 2.2.3. Análisis termogravimétrico

El análisis termogravimétrico (TGA) es un método analítico más utilizado para estudiar la cinética de las degradaciones de los polímeros al monitorear el cambio de peso que ocurre cuando una muestra se calienta a una velocidad constante. La medición se realiza normalmente en una atmósfera inerte como el helio o el argón y el peso se registra en función del aumento de la temperatura (Rajisha et al., 2011, p. 262).

### 2.2.4. Modelación cinética

Según Das (2017, p. 192) el análisis termogravimétrico (TGA) registra el cambio de masa de la muestra con la temperatura (o el tiempo) en el entorno del gas especificado y la velocidad de calentamiento bajo un determinado rango de temperatura. Los datos de pérdida de peso se convierten a continuación en conversión.

$$\alpha = \frac{\omega_0 - \omega_t}{\omega_0 - \omega_f} \quad (\text{Ec. 1-2})$$

donde  $\alpha$  es la conversión,  $\omega_0$  es el peso inicial,  $\omega_t$  es el peso de la muestra en un tiempo determinado y  $\omega_f$  es el peso de la muestra final. Los datos de la conversión variaran en un rango de 0 a 1.

La cinética de pirólisis se describe en su mayoría a través de la ley de Arrhenius de primero orden. La ecuación fundamental del análisis cinético puede ser expresado como sigue: (Li, Lei, Wang, et al. 2021, p. 3).

$$\frac{d\alpha}{dt} = k(T) f(\alpha) \quad (\text{Ec. 2-2})$$

Donde  $d\alpha/dt$  es la tasa de conversión a temperatura constante en función de la pérdida de conversión del reactivo y de la constante de velocidad,  $k(T)$  es la constante cinética en función de la temperatura,  $f(\alpha)$  es el modelo de reacción en función de la conversión que determina el mecanismo de la degradación.

La constante de velocidad  $k(T)$  se basa en la ley de Arrhenius (Palmay et al., 2021, p. 4).

$$k(T) = Ae^{\left(\frac{-E}{RT}\right)} \quad (\text{Ec. 3-2})$$

Donde A es el factor pre-exponencial ( $s^{-1}$ ), E es la energía de activación  $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ , R la constante de los gases  $0.008314 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , además que A y E son dos parámetros importantes que deben combinarse con los modelos experimentales.

Si el experimento de TGA se realiza con una velocidad de calentamiento lineal de  $\beta$  ( $\text{K}\cdot\text{min}^{-1}$ ), las coordenadas de temperatura y coordenadas de tiempo estarán relacionadas entre sí como: (Jiang y Wei 2018, p. 147).

$$T = T_o + \beta t \quad (\text{Ec. 4-2})$$

Por tanto, la variación de la conversión con respecto al tiempo ( $d\alpha/dt$ ) se mide experimentalmente con el DTG, que es función de la velocidad de calentamiento  $\beta$ , que se relaciona mediante la expresión (Palmy et al., 2021, p. 3).

$$\frac{d\alpha}{dt} = \left(\frac{d\alpha}{dT}\right) \left(\frac{dT}{dt}\right) = \beta \left(\frac{d\alpha}{dT}\right) \quad (\text{Ec. 5-2})$$

Sustituyendo la ecuación (Ec. 3-2) y (Ec. 5-2) en (Ec. 2-2) da como resultado:

$$\beta \left(\frac{d\alpha}{dT}\right) = Ae^{\left(\frac{-E}{RT}\right)} f(\alpha) \quad (\text{Ec. 6-2})$$

Donde  $\beta = dT/dt$  representa la tasa de calentamiento.

La ecuación (Ec. 6-2) también puede escribirse como:

$$\frac{d(\alpha)}{f(\alpha)} = \frac{A}{\beta} e^{(-E/RT)} dT \quad (\text{Ec. 7-2})$$

Para distintos modelos de reacción existen diferencias en la expresión de  $f(\alpha)$  uno de los modelos de reacción mas utilizados es el modelo de primer orden (Jiang and Wei 2018, p. 147).

$$f(\alpha) = (1 - \alpha)^n \quad (\text{Ec. 8-2})$$

### 2.2.5. Métodos isoconversionales

Los métodos isoconversionales son considerados para dar valores precisos de la energía de activación, el factor pre-exponencial usualmente no puede ser determinado sin la suposición del modelo de reacción  $f(\alpha)$  (Marinović-Cincović et al., 2013, p. 323).

Los métodos “sin modelo” Isoconversionales fueron propuestos por Friedman (FR) y Kissinger\_Akahira\_Sunose (KAS):

#### 2.2.5.1. Método friedman (FR)

Este método isoconversional diferencial se basa directamente en la ecuación (Ec. 6-2) y añadiendo la ecuación (Ec. 8-2) da la siguiente ecuación integral (Palmay et al., 2021, p. 4).

$$\ln\left(\frac{d\alpha}{dT}\right) = \ln\left(\beta \frac{d\alpha}{dT}\right) = \ln(A) - \frac{E}{RT} + \ln(1 - \alpha)^n \quad (\text{Ec. 9-2})$$

#### 2.2.5.2. Método kissinger – akahira – sunose (KAS)

Es un método integral isoconversional que se obtiene mejorando la ecuación (Ec. 7-2) e integrando a las condiciones de  $\alpha = 0$  en  $T = T_o$  y asumiendo que  $A, f(\alpha), E$  son independientes de T, mientras que A y E son independientes de  $\alpha$  conducen a la siguiente forma: (Palmay et al., 2021, p. 4).

$$g(\alpha) = \int_0^\alpha \frac{d(\alpha)}{f(\alpha)} = \frac{A}{\beta} \int_{T_o}^T \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) dT \equiv \frac{AE}{\beta R} P\left(\frac{E}{RT}\right) \quad (\text{Ec. 10-2})$$

Donde  $g(\alpha)$  es la forma integral del mecanismo de reacción y  $T_o$  es la temperatura inicial del experimento no isotérmico. La expresión  $P\left(\frac{E}{RT}\right)$  se basa en la aproximación Coats\_Redfern según la cual es:

$$P\left(\frac{E}{RT}\right) = \frac{e^{(-E/RT)}}{\frac{E}{RT}} - \int_{-\infty}^{\frac{E}{RT}} \frac{e^{(-E/RT)}}{\frac{E}{RT}} d\left(\frac{E}{RT}\right) \quad (\text{Ec. 11-2})$$

De la relación (Ec. 10-2) y (Ec. 11-2) se deduce la siguiente ecuación

$$\ln\left(\frac{(1-\alpha)^n}{Tm^2}\right) = \ln\frac{AR}{E} - \ln\beta - \frac{E}{RT} \quad (\text{Ec. 12-2})$$

Para cada grado de conversión, el gráfico lineal de  $\ln\left(\frac{(1-\alpha)^n}{Tm^2}\right)$  frente a  $1/T$  permite determinar la energía de activación. Si se conoce el modelo de reacción se puede calcular el factor pre exponencial (Palmay et al., 2021, p. 4).

### 2.2.6. Modelo de reacción

Para calcular la energía de activación se utiliza el método Criado que compara experimentalmente los resultados de TGA utilizando modelos de reacción como se tabula en Tabla 2-2.

**Tabla 2-2:** Modelo de reacción para cada residuo de plástico

Residuos de Plásticos	Modelo de Reacción	Código de modelo	$f(\alpha)$	$g(\alpha)$
PE	Ginstling-Brounshetein	D4	$\frac{3}{2}((1-\alpha)^{-1/3} - 1)$	$1 - (2\alpha/3) - (1-\alpha)^{2/3}$
PP	Contracting Cylinder	R3	$3(1-\alpha)^{2/3}$	$1 - (1-\alpha)^{1/3}$
PS	Avrami-Erofeev	A2	$2(1-\alpha) \times [-\ln(1-\alpha)]^{1/2}$	$[-\ln(1-\alpha)]^{1/2}$
PET	Power law	P2	$(2\alpha)^{1/2}$	$\alpha^{1/2}$
PVC	Three-dimensional diffusion	D3	$\frac{3}{2}(1-\alpha)^{2/3}[1 - (1-\alpha)^{1/3}]^{-1}$	$[1 - (1-\alpha)^{1/3}]^2$

Fuente: (Palmay et al., 2021, p. 5)&(Singh et al., 2021, p. 10).

Realizado por: Enríquez, Kerly. 2022.

### 2.2.7. Co-pirólisis

La co-pirólisis es un proceso que implica la degradación de una mezcla de dos o más materiales como una materia prima, en el que se puede inducir un efecto sinérgico entre materiales que reducirá la energía de activación de todo el sistema (Yap et al., 2022, p. 2).

### 2.2.8. Efecto sinérgico

El sinergismo viene de la palabra griega "synergos" que significa "trabajar juntos. Los efectos sinérgicos están presentes cuando la resistencia a la degradación térmica de la mezcla es mayor que la de los componentes individuales (Mantia et al., 2017, p. 85).

El efecto sinérgico del proceso de pirolisis entre las mezclas de PE, PP, PS, PET, PVC puede representarse por la diferencia de masa que se define como (Singh et al., 2021, p. 8).

$$\Delta W = W_{exp} - W_{theo} \quad (Ec. 13-2)$$

$$\Delta W_{TG} = TG_{exp} - TG_{theo} \quad (Ec. 14-2)$$

$$\Delta W_{DTG} = DTG_{exp} - DTG_{theo} \quad (Ec. 15-2)$$

Donde  $W_{exp}$  es el porcentaje de pérdida de peso experimental de las mezclas,  $W_{theo}$  es el porcentaje de pérdida del peso teórico de la mezcla aplicado tanto para TG y DTG.

Para determinar los efectos de interacción entre PE, PP, PS, PET, PVC es necesario contar con curvas teóricas para las mezclas (Li et al., 2021, p. 3).

$$W_{theo} = \alpha_1 W_{PE} + \alpha_2 W_{PP} + \alpha_3 W_{PS} + \alpha_4 W_{PET} + \alpha_5 W_{PVC} \quad (Ec. 16-2)$$

Donde  $\alpha_i$  es la proporción de la mezcla de cada sustancia en las mezclas,  $W_i$  son los valores experimentales de una curva TG y DTG.

### 2.2.9. Parámetros termodinámicos

Los métodos isoconversionales suelen limitarse a estimar el valor A y predecir el modelo de reacción para mejorar esta limitación, KAS desarrollo una ecuación no isotérmica sin modelo (Zaker et al., 2021, p. 11).

$$A = \beta E e^{\left(\frac{E}{RT_{max}}\right)} / RT_{max}^2 \quad (Ec. 17-2)$$

Los parámetros termodinámicos incluyen el cálculo del cambio de entalpia que representa la energía total consumida por el material para su conversión en las diferentes fracciones que se determinara con la siguiente ecuación que se basa en el cálculo de energía de activación relacionada con la cinética de descomposición macroscópica (Palmay et al., 2021, p. 5).

$$\Delta H = \square \square - RT \quad (Ec. 18-2)$$

También incluyen el cálculo del cambio de la energía libre Gibbs y la entropía.

$$\Delta G = E_a + RT_{\max} \times \ln\left(\frac{K_B T_{\max}}{h \times A}\right) \quad (\text{Ec. 19-2})$$

Donde  $K_B$  y  $h$  son la constante de Boltzmann  $1.381 \times 10^{-23} \text{ J.K}^{-1}$  y la de Planck  $6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s}^{-1}$  respectivamente.  $T_{\max}$  es la temperatura de pico de la curva DTG y  $T$  la temperatura a el grado de conversión  $\alpha$  (Zaker et al. 2021, p. 12).

$$\Delta S = \frac{\Delta H - \Delta G}{T_{\max}} \quad (\text{Ec. 20-2})$$

Por último, la entropía ( $\Delta S$ ) indica el grado de desorden del material.



## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Enfoque de investigación

Este trabajo de investigación es de tipo exploratoria y sistemático ya que se centra en el análisis, investigación e interpretación de datos experimentales de muestras de tereftalato de polietileno, polietileno, policloruro de vinilo, polipropileno, poliestireno determinadas a tres tasas de calentamiento (5, 10 y 15 °C.min<sup>-1</sup>) para posteriormente analizar el proceso de co-pirólisis es decir trabajando como una mezcla de plásticos a diferentes composiciones mixtas aplicando el método Kissinger – Akahira – Sunose (KAS) para determinar los cambios termodinámicos que se producirán aplicando este modelo.

##### 3.1.1. Método cuantitativo

Esta investigación se enfoca en identificar los parámetros cinéticos del proceso de co-pirólisis es decir en encontrar el triplete cinético; energía de activación, orden de reacción y factor pre-exponencial mediante la aplicación de los modelos cinéticos derivados de la ecuación de Arrhenius y la obtención del coeficiente de correlación lineal.

Para encontrar los parámetros cinéticos se partirá de los datos experimentales obtenidos en el análisis gravimétrico térmico del instrumento TGA de cada uno de los termoplásticos de estudios anteriores para aplicar ahora un análisis para diferentes composiciones mixtas para cada uno de ellos y determinar lo anteriormente explicado.

##### 3.1.2. Método cualitativo

A partir de los datos obtenidos de la cinética del proceso aplicando el modelo cinético de KAS se determinará mediante fuentes bibliográficas actuales y veraces el tipo de parámetro termodinámico que sea ajuste más a datos bibliográficos más adecuados para las mezclas de termoplásticos. Ya que se pretende realizar varios análisis para diferentes composiciones mixtas como, por ejemplo: 20% PP + 20% PS + 20% PE + 20% PET + 20% PVC.

#### 3.2. Nivel de investigación

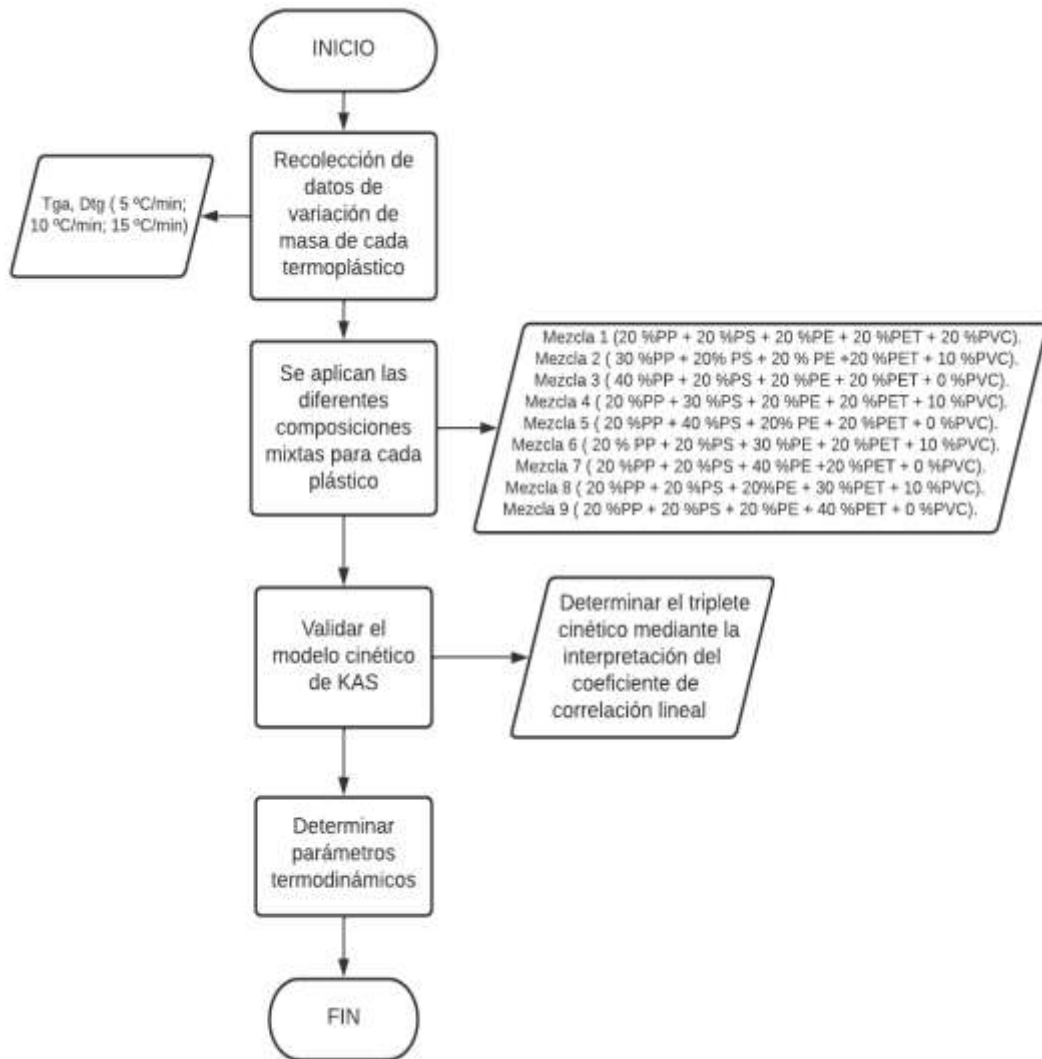
El nivel de Investigación que tiene este trabajo es determinar el proceso termodinámico de cada uno de las reacciones de los termoplásticos con las diferentes composiciones mixtas que se

aplicaran haciendo uso del modelo cinético de Kissinger – Akahira – Sunose (KAS) debido a que este el modelo se caracteriza por dar valores más exactos para la energía de activación.

### **3.3. Diseño de investigación**

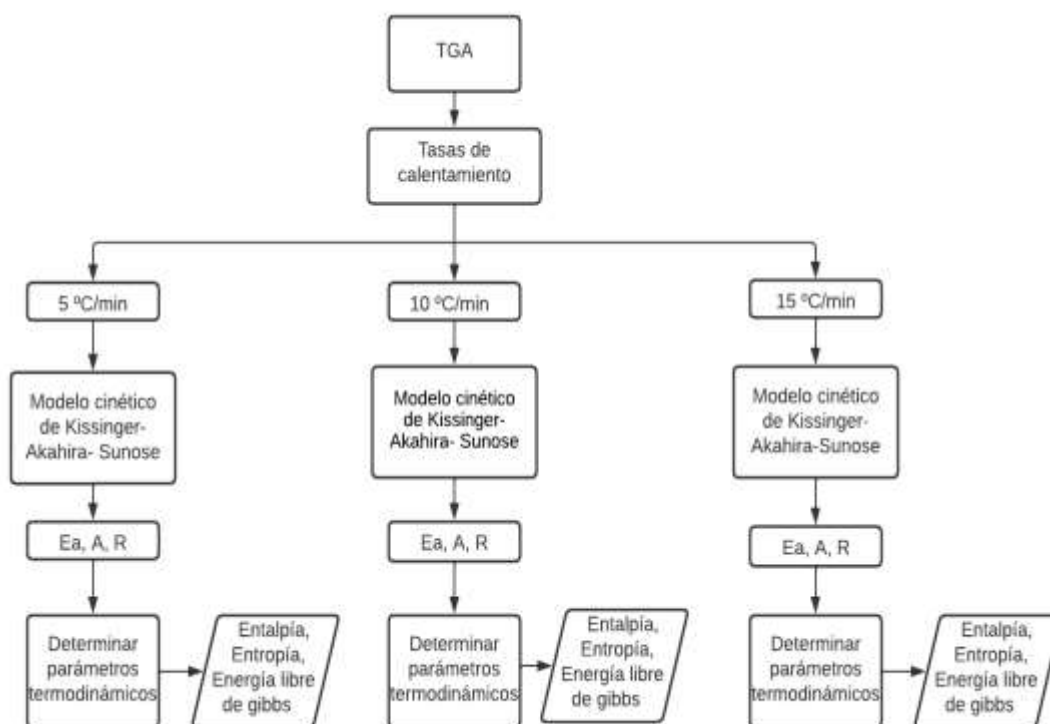
El diseño de investigación se basa en los siguientes pasos:

Primero recolectar los datos de variación de masa y demás parámetros para cada termoplásticos; tereftalato de polietileno, polietileno, cloruro de polivinilo, polipropileno, poliestireno. Luego se aplicarán diferentes composiciones mixtas para cada uno, esto dará una mezcla de termoplásticos. El siguiente paso es aplicar el modelo cinético de Kissinger – Akahira – Sunose (KAS) para validar los parámetros cinéticos obtenidos mediante la interpretación del coeficiente de correlación lineal encontrado para cada caso y mediante bibliografía se podrá determinar el proceso de co-pirólisis.



**Ilustración 1-3:** Diagrama de flujo del proceso de estudio cinético de la degradación térmica para mezclas de plásticos.

**Realizado por:** Enríquez, Kerly. 2022.



**Ilustración 2-3:** Diagrama de flujo de obtención de los datos del TGA y parámetros termodinámicos para la mezcla de termoplásticos.

Realizado por: Enríquez, Kerly. 2022.

### 3.3.1. Según la manipulación o no de la variable independiente

**Tabla 3-3:** Enfoque de Investigación

Etapas del Proceso	Variables independientes	Variables dependientes
Análisis Termogravimétrico	Tasas de calentamiento	Variación de masa Tiempo de degradación Temperatura máxima de degradación
Validación del modelo	Constante de aproximación Temperatura de degradación térmica	Energía de Activación Factor pre-exponencial Orden de Reacción
Determinación de los parámetros termodinámicos	Energía de Activación	Entalpía Energía libre de Gibbs Entropía

Realizado por: Enríquez, Kerly. 2022.

### **3.3.2. Según las intervenciones en el trabajo de campo**

Este trabajo de investigación es tipo exploratorio es decir se centra más en el análisis e interpretación de datos en el cual no abarcara trabajo de campo.

### **3.4. Tipo de Estudio**

El tipo de estudio hace referencia más a un estudio tipo documental.

### **3.5. Población y planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra**

Se selecciono los datos obtenidos del análisis termogravimétrico del proceso de la pirólisis del tereftalato de polietileno, polietileno, polipropileno, policloruro de vinilo y poliestireno de estudios anteriores para las tres tasas de calentamiento 5, 10 y 15 ( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ ) para aplicar las diferentes composiciones mixtas de análisis.

### **3.6. Métodos, técnicas e instrumentos de investigación.**

#### **3.6.1. Modelo cinético de kissinger – akahira – sunose (KAS)**

Para aplicar el modelo cinético de KAS se debe primero tener los datos de variaciones de masa ya aplicado las diferentes composiciones mixtas para luego seguir a determinar la conversión posteriormente se utiliza la ecuación del modelo de KAS que es  $\ln\left(\frac{(1-\alpha)^n}{Tm^2}\right)$  frente a  $1/T$  para encontrar la energía de activación.

## CAPÍTULO IV

### 4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. Composición de la mezcla de polímeros

La descomposición térmica de las mezclas PP, PS, PE, PET y PVC se llevó a cabo a tres velocidades de calentamiento diferentes (5,10,15) °Cmin<sup>-1</sup>. En la Tabla 4-4 se encuentra la composición mixta estudiada para cada polímero.

Porcentaje (%)	PP	PS	PE	PET	PVC
Mezcla 1	20	20	20	20	20
Mezcla 2	30	20	20	20	10
Mezcla 3	40	20	20	20	0
Mezcla 4	20	30	20	20	10
Mezcla 5	20	40	20	20	0
Mezcla 6	20	20	30	20	10
Mezcla 7	20	20	40	20	0
Mezcla 8	20	20	20	30	10
Mezcla 9	20	20	20	40	0

Realizado por: Enríquez, Kerly.2022.

**Tabla 4-4:**

Composici  
ón de la  
mezcla de  
termoplásti  
cos  
probados  
en este  
estudio

#### 4.2. Análisis Termogravimétrico (TG y DTG)

En las siguientes tablas se denota la degradación de masa en función de la temperatura que tiene cada mezcla, la degradación térmica fue estudiada mediante el análisis termogravimétrico (TGA) y mediante la termogravimétrica derivativa (DTG) por ser un método bien establecido para determinar las características de degradación en una atmosfera inerte que registra los datos a una o más tasas de calentamiento (Singh et al., 2020, p. 1).

**Tabla 5-4:** Variación de masa de la mezcla de plásticos para TGA 5°C.min<sup>-1</sup>

Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Mezcla 4	Mezcla 5	Mezcla 6	Mezcla 7	Mezcla 8	Mezcla 9
15.36	16.23	17.11	17.01	18.67	15.51	15.67	17.87	20.38
15.25	16.12	17.00	16.88	18.51	15.41	15.57	17.75	20.26
15.11	15.98	16.85	16.70	18.30	15.28	15.44	17.59	20.07
14.81	15.67	16.54	16.32	17.84	14.97	15.14	17.24	19.68
14.21	15.08	15.94	15.58	16.95	14.39	14.56	16.54	18.87
13.18	14.03	14.88	14.30	15.43	13.35	13.53	15.24	17.30
11.69	12.53	13.380	12.54	13.40	11.86	12.04	13.30	14.92
9.97	10.79	11.62	10.57	11.17	10.15	10.33	11.03	12.10
8.22	9.04	9.85	8.54	8.85	8.41	8.59	8.79	9.35
6.82	7.62	8.422	6.89	6.95	7.01	7.20	7.03	7.24
5.97	6.76	7.55	5.92	6.95	6.17	6.37	6.02	6.07
5.48	6.25	7.03	5.40	5.31	5.66	5.83	5.49	5.50

Realizado por: Enríquez, Kerly.2022.

**Tabla 6-4:** Datos de variación para DTG 5°C.min<sup>-1</sup>

Mezcla1	Mezcla 2	Mezcla 3	Mezcla 4	Mezcla 5	Mezcla 6	Mezcla 7	Mezcla 8	Mezcla 9
-0.03353	-0.02624	-0.01895	-0.02638	-0.01923	-0.027711	-0.02069	-0.03621	-0.03510
-0.04598	-0.04060	-0.03522	-0.04083	-0.03568	-0.04043	-0.03487	-0.05755	-0.06948
-0.06953	-0.06858	-0.06763	-0.06902	-0.06852	-0.06854	-0.06754	-0.10163	-0.13351
-0.16586	-0.16353	-0.16121	-0.16454	-0.16322	-0.16564	-0.1654	-0.24494	-0.31515
-0.35521	-0.35269	-0.35018	-0.35446	-0.35371	-0.35278	-0.35035	-0.52573	-0.69542
-0.69250	-0.68775	-0.68300	-0.69011	-0.68771	-0.69019	-0.68788	-1.02890	-1.35495
-0.99717	-0.99146	-0.98575	-0.99377	-0.99037	-0.99435	-0.99153	-1.48430	-1.95903
-1.0676	-1.05798	-1.04830	-1.06034	-1.05300	-1.06364	-1.05961	-1.58452	-2.07753
-0.90892	-0.89341	-0.87791	-0.89580	-0.88269	-0.90204	-0.89517	-1.3375	-1.73023
-0.61802	-0.59563	-0.57325	-0.59725	-0.57648	-0.61075	-0.60349	-0.89455	-1.1090
-0.34309	-0.31735	-0.29160	-0.31779	-0.29248	-0.34839	-0.35369	-0.49237	-0.5156
-0.26475	-0.24113	-0.21752	-0.24099	-0.21722	-0.30362	-0.34250	-0.41092	-0.30498

Realizado por: Enríquez, Kerly.2022.

**Tabla 7-4:** Variación de masa de la mezcla de plásticos para TGA 10°C.min<sup>-1</sup>

Mezcla1	Mezcla 2	Mezcla 3	Mezcla 4	Mezcla 5	Mezcla 6	Mezcla 7	Mezcla 8	Mezcla 9
13.1956	14.1639	15.1322	15.1579	17.1203	13.4758	13.7559	13.4328	13.6700
13.1794	14.1442	15.1090	15.1446	14.1099	13.4625	13.7456	13.4224	13.6653
13.1361	14.0957	15.0552	15.0906	17.0451	13.4199	13.7036	13.3765	13.6169
13.0803	14.0374	14.9945	15.0233	16.9663	13.3693	13.6583	13.3201	13.5600
12.9541	13.9082	14.8622	14.8669	16.7796	13.2437	13.5333	13.1835	13.4129
12.7274	13.6730	14.6186	14.5593	16.3913	13.0210	13.3146	12.9360	13.1446
12.2247	13.1661	14.1076	13.8689	15.5131	12.5209	12.8170	12.3946	12.5646
11.3280	12.2636	13.1993	12.6340	13.9401	11.6235	11.9190	11.4283	11.5286

10.1732	11.1054	12.0376	11.0597	11.9461	10.4772	10.7812	10.1654	10.1576
8.9745	9.9066	10.8388	9.9554	9.9554	9.2867	9.5988	8.8344	8.6943
7.8787	8.8125	9.7463	8.0598	8.2409	8.2055	8.5323	7.6209	7.3630
7.1078	8.0431	8.9785	7.1204	7.1330	7.4421	7.7763	6.7950	6.4822

Realizado por: Enríquez, Kerly.2022.

**Tabla 8-4:** Datos de variación para DTG 10°C.min<sup>-1</sup>

Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Mezcla 4	Mezcla 5	Mezcla 6	Mezcla 7	Mezcla 8	Mezcla 9
-0.00086	-0.00078	-0.00069	-0.00072	-0.000577	-0.000640	-0.000413	-0.000689	-0.000510
-0.00115	-0.00119	-0.00124	-0.00131	-0.001477	-0.001061	-0.000972	-0.001157	-0.001164
-.001869	-0.00196	-0.00206	-0.00235	-0.002840	-0.001830	-0.000972	-0.002005	-0.002141
-0.00364	-0.00377	-0.00389	-0.00485	-0.006061	-0.003632	-0.003616	-0.003966	-0.004284
-0.00735	-0.00750	-0.00764	-0.01011	-0.012871	-0.007328	-0.007298	-0.007966	-0.008575
-0.01291	-0.01308	-0.01325	-0.01788	-0.022849	-0.012899	-0.012878	-0.014028	-0.015137
-0.01839	-0.01854	-0.01870	-0.02525	-0.032108	-0.018345	-0.018296	-0.020123	-0.021853
0.02129	-0.02141	-0.02153	-0.02877	-0.036252	-0.021186	-0.021078	-0.023568	-0.025842
0.02058	-0.02067	-0.02075	-0.02717	-0.033765	-0.020431	-0.020280	-0.022906	-0.025229
-0.01656	-0.01663	-0.01671	-0.02116	-0.025765	-0.016375	-0.016187	-0.018265	-0.019967
-0.01155	-0.01166	-0.01177	-0.01390	-0.016250	-0.011458	-0.011357	-0.012314	-0.013068
-0.00833	-0.00856	-0.00878	-0.00908	-0.009829	-0.008611	-0.008874	-0.008365	-0.008382

Realizado por: Enríquez, Kerly.2022.

**Tabla 9-4:** Variación de masa de la mezcla de plásticos para TGA 15°C.min<sup>-1</sup>

Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Mezcla 4	Mezcla 5	Mezcla 6	Mezcla 7	Mezcla 8	Mezcla 9
11.0684	11.8919	12.7154	11.8670	12.6665	11.3606	11.6527	11.4768	11.8851
11.0419	11.8670	12.6921	11.8428	12.6437	11.3400	11.6382	11.4542	11.8666
11.0199	11.8422	12.6645	11.8136	12.6073	11.3188	11.6178	11.4280	11.8362
10.9523	11.7758	12.5993	11.7378	12.5232	11.2529	11.5534	11.3582	11.7641
10.8480	11.6707	12.4935	11.6054	12.3628	11.1516	11.4551	11.2369	11.6257
10.6464	11.4685	12.2906	11.3423	12.0381	10.9536	11.2608	11.0134	11.3803
10.2121	11.0352	11.8584	10.7645	11.3169	10.5193	10.8265	10.5268	10.8415
9.5739	10.4018	11.2298	9.9286	10.2833	9.8911	10.2083	9.8047	10.0355
8.7474	9.5833	10.4192	8.8840	9.0207	9.0609	9.3921	8.8371	8.9268
7.88772	8.7375	9.58740	7.8389	7.79020	8.2249	8.5621	7.8170	7.7462
7.0984	7.9685	8.8385	6.9009	6.7035	7.4470	7.7955	6.8973	6.6962
6.5640	7.4565	8.3490	6.3002	6.03641	6.9161	7.2682	6.3123	6.0605

Realizado por: Enríquez, Kerly.2022.

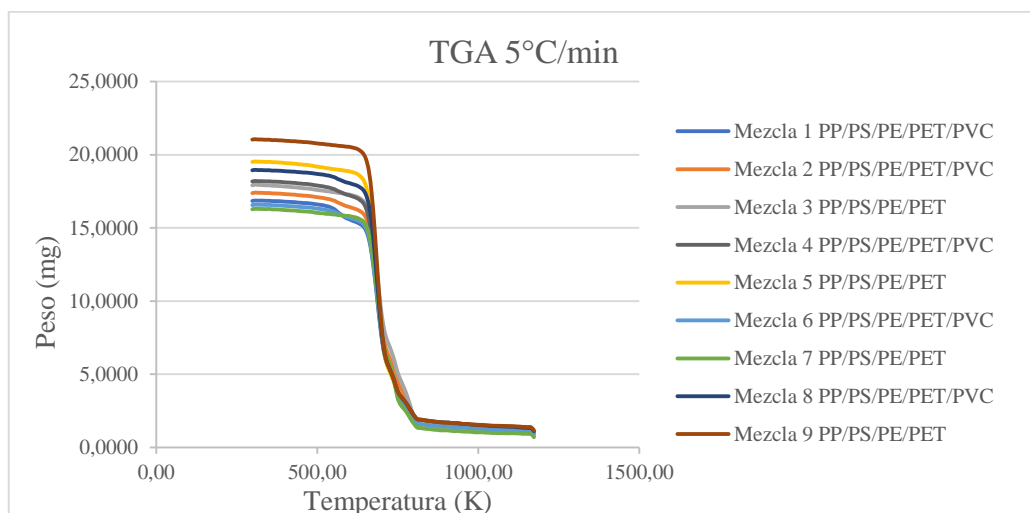


**Tabla 10-4:** Datos de variación para DTG 15°C.min<sup>-1</sup>

Mezcla1	Mezcla	Mezcla 3	Mezcla 4	Mezcla 5	Mezcla 6	Mezcla 7	Mezcla 8	Mezcla 9
-0.00118	-0.0009	-0.00063	-0.00090	-0.00062	-0.000807	-0.000430	-0.000852	-0.000521
-0.00113	-0.0010	-0.00099	-0.00116	-0.00118	-0.000971	-0.000802	-0.001060	-0.009820
-0.00160	-0.0016	-0.00164	-0.00190	-0.00221	-0.001521	-0.001439	-0.001725	-0.001846
-0.00294	-0.0029	-0.00303	-0.00374	-0.00453	-0.002886	-0.002824	-0.003283	-0.003617
-0.00564	-0.0056	-0.00569	-0.00734	-0.00905	-0.005564	-0.005488	-0.006314	-0.006987
-0.00969	-0.0096	-0.00967	-0.01266	-0.01564	-0.009588	-0.009482	-0.010938	-0.012183
-0.01454	-0.0144	-0.01439	-0.01878	-0.02301	-0.014387	-0.014230	-0.016614	-0.018683
-0.01892	-0.0187	-0.01859	-0.02398	-0.02904	-0.018694	-0.018464	-0.021891	-0.024857
-0.02135	-0.0210	-0.02079	-0.02644	-0.03154	-0.021085	-0.020818	-0.024853	-0.028352
-0.02079	-0.0204	-0.02004	-0.02503	-0.02927	-0.020594	-0.020390	-0.020511	-0.027400
-0.01809	-0.0176	-0.01726	-0.02095	-0.02380	-0.018251	-0.018404	-0.020511	-0.022923
-0.01535	-0.0150	-0.01470	-0.01682	-0.01829	-0.016466	-0.017580	-0.016625	-0.017897

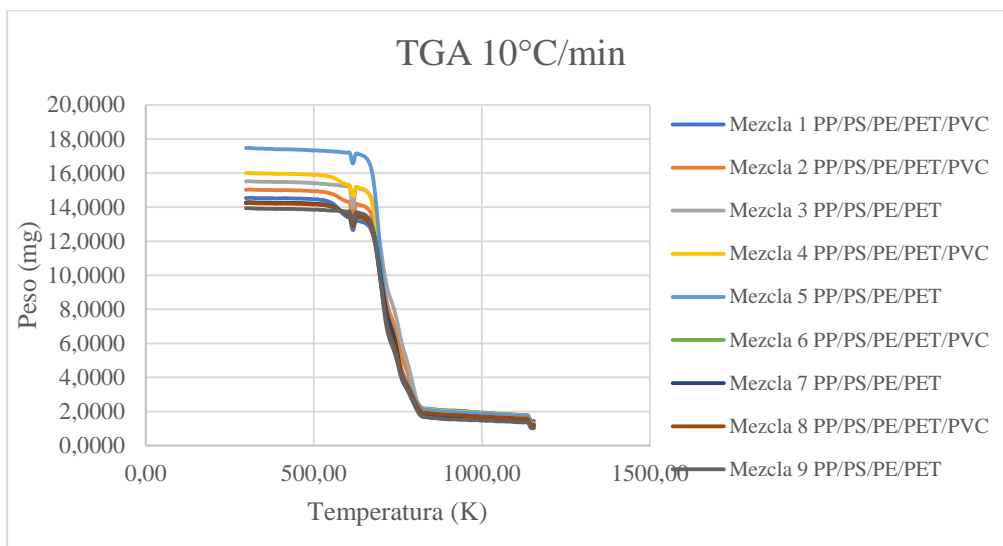
Realizado por: Enríquez, Kerly.2022.

Los resultados obtenidos del análisis termogravimétrico mostraron para todas las mezclas la misma forma de curva: degradación de una sola etapa en la región de temperatura de 351-449 °C (624-722 K) con la mayor parte de pérdida de peso total, su temperatura máxima de degradación (Tm) fue de 413 °C (686 K) tanto para la tasa de calentamiento de 5 y de 10 °Cmin<sup>-1</sup>. Para la tasa de calentamiento de 15 °Cmin<sup>-1</sup> se afectó la posición de la curva Tg, la degradación con mayor parte de pérdida de peso total se encontró en la región de temperatura de 502-581°C (775-854 K) y su temperatura máxima de degradación fue de 537°C (810 K).



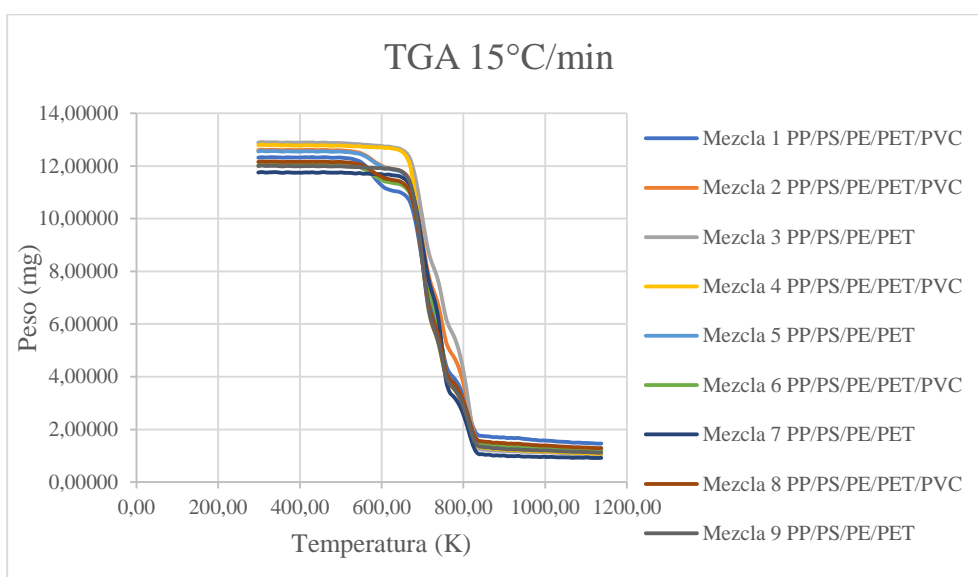
**Ilustración 3-4:** Rampa TGA 5°C.min<sup>-1</sup>

Realizado por: Enríquez, Kerly. 2022.



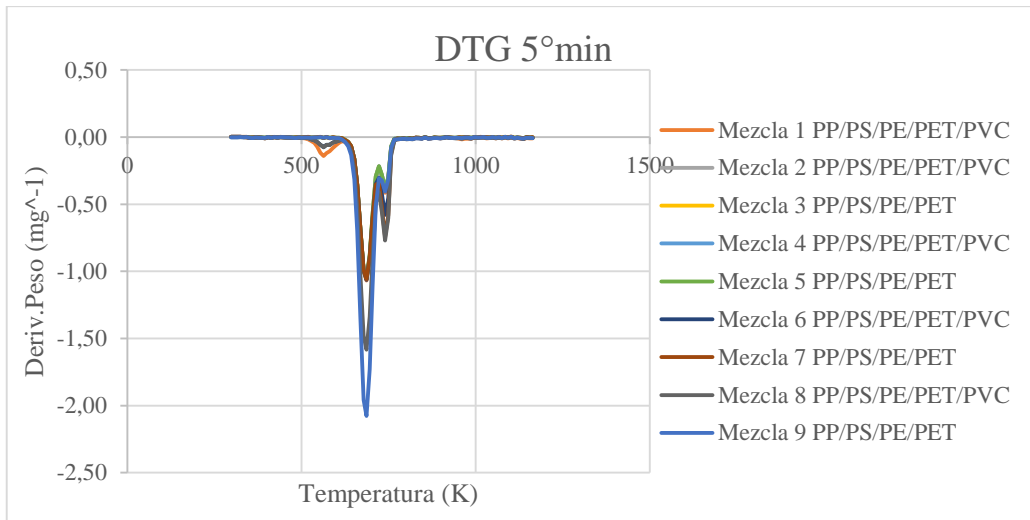
**Ilustración 4-4:** Rampa TGA 10°C.min<sup>-1</sup>

Realizado por: Enríquez, Kerly. 2022.



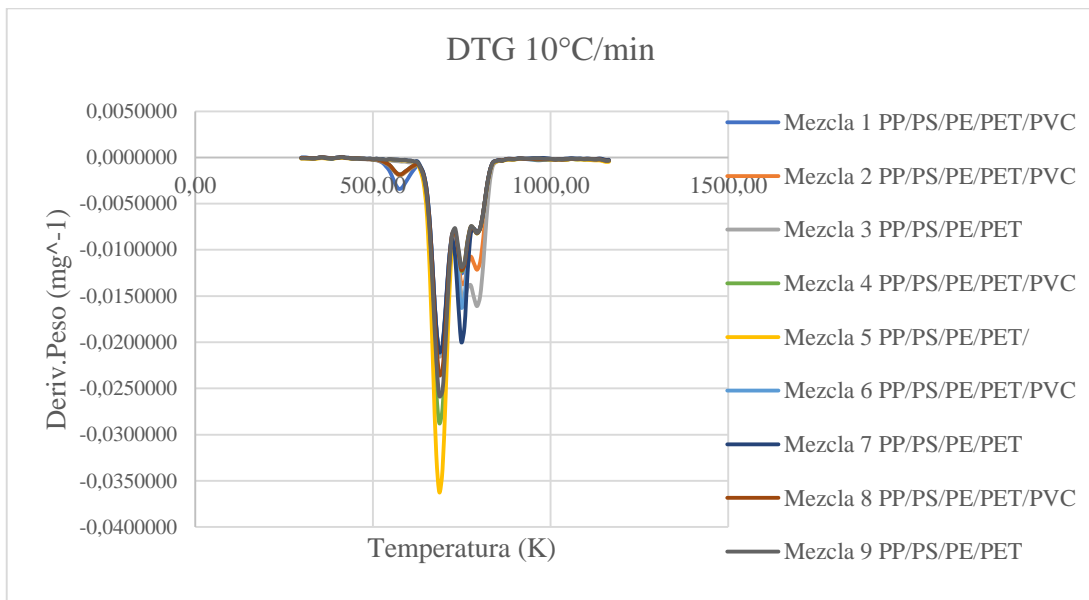
**Ilustración 5-4:** Rampa TGA 15°C.min<sup>-1</sup>

Realizado por: Enríquez, Kerly.2022.



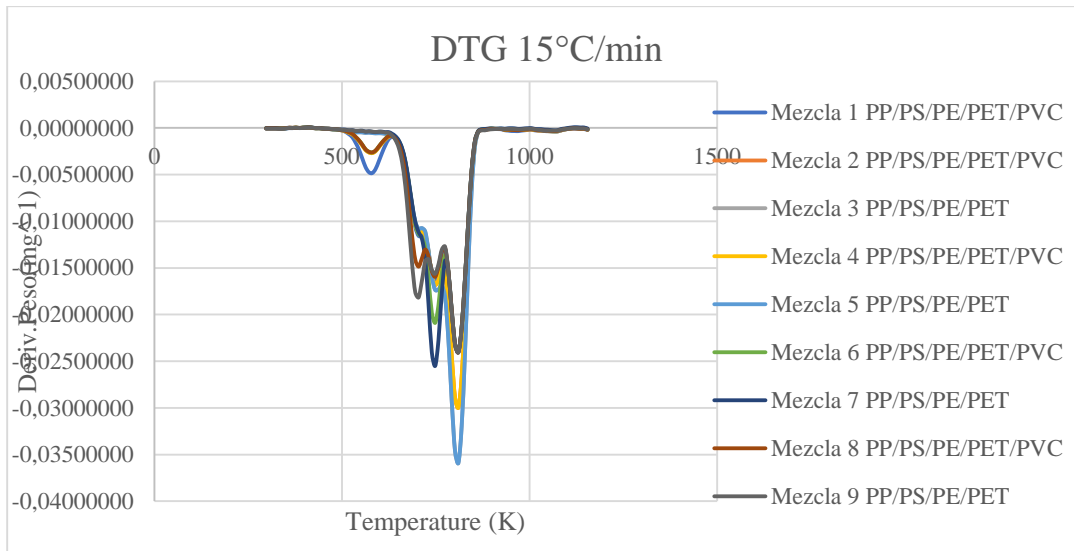
**Ilustración 6-4:** Rampa DTG 5°C.min<sup>-1</sup>

**Realizado por:** Enríquez, Kerly.2022.



**Ilustración 7-4:** Rampa DTG 10°C.min<sup>-1</sup>

**Realizado por:** Enríquez, Kerly.2022.



**Ilustración 8-4:** Rampa DTG 15°C.min<sup>-1</sup>

**Realizado por:** Enríquez, Kerly.2022.

Por otra parte, las curvas de DTG de la Ilustración 6-4, Ilustración 7-4, Ilustración 8-4 muestran la primera derivación de la curva TG y, por tanto, demuestra el cambio de masa por tiempo a lo largo del programa de temperatura. Cuando la velocidad de calentamiento aumenta la temperatura inicial y final de la región de pirólisis aumentan ligeramente. Por tanto, a una mayor velocidad de calentamiento permite un tiempo para que todo el proceso de descomposición, comience y termina a un nivel de temperatura más alto (Bonell 2016, p. 51).

Las gráficas obtenidas del DTG se asemejan a la investigación de Li (et al., 2021, p. 4) tienen tres etapas a lo largo del proceso. La primera etapa está dominada por la descomposición del PVC; la segunda por el craqueo térmico del PS y del PE.

#### 4.3. Modelo cinético basado en el método de Kissinger-Akahira-Sunose (KAS)

Los parámetros cinéticos expuestos en las siguientes tablas se obtuvieron a través de la regresión lineal de la cinética de degradación térmica para cada tasa de calentamiento de 5, 10 y 15 °C.min<sup>-1</sup> aplicando la (Ec. 12-2).

Las ilustraciones de las líneas de regresión para cada tasa de calentamiento se pueden observar en el Anexo “B”.

Las ilustraciones resultan de  $\ln\left(\frac{(1-\alpha)^n}{Tm^2}\right)$  frente a 1/T para encontrar a partir de la pendiente la energía de activación y de su ordenada el factor pre-exponencial.

En las siguientes Tablas, se observa el factor de correlación, la energía de activación y el factor pre-exponencial, para la tasa de calentamiento de 5, 10 y 15 °C.min<sup>-1</sup>.

**Tabla 11-4:** Parámetros cinéticos para la tasa de calentamiento de 5°C.min<sup>-1</sup>

$\beta$ (5°C/min)	Tm (K)	Regresión lineal	R <sup>2</sup>	Ea (Kj/mol)	A (s <sup>-1</sup> )
Mezcla 1	686.82	$\text{Ln}(-\text{Ln}(1-X^{0.5}) / Tm^2)$	0.99	121.592	$3.45 \times 10^{+06}$
Mezcla 2	686.82	$\text{Ln}(-\text{Ln}(1-X^{0.5}) / Tm^2)$	0.9899	121.051	$3.13 \times 10^{+06}$
Mezcla 3	686.82	$\text{Ln}(-\text{Ln}(1-X^{0.5}) / Tm^2)$	0.9898	120.536	$2.48 \times 10^{+06}$
Mezcla 4	686.82	$\text{Ln}(-\text{Ln}(1-X^{0.5}) / Tm^2)$	0.9888	120.902	$3.09 \times 10^{+06}$
Mezcla 5	686.82	$\text{Ln}(-\text{Ln}(1-X^{0.5}) / Tm^2)$	0.9879	120.461	$2.89 \times 10^{+06}$
Mezcla 6	686.82	$\text{Ln}(-\text{Ln}(1-X^{0.5}) / Tm^2)$	0.9889	122.382	$3.97 \times 10^{+06}$
Mezcla 7	686.82	$\text{Ln}(-\text{Ln}(1-X^{0.5}) / Tm^2)$	0.9877	123.238	$4.62 \times 10^{+06}$
Mezcla 8	686.82	$\text{Ln}(-\text{Ln}(1-X^{0.5}) / Tm^2)$	0.99	126.547	$8.59 \times 10^{+06}$
Mezcla 9	686.82	$\text{Ln}(-\text{Ln}(1-X^{0.5}) / Tm^2)$	0.9899	130.163	$1.67 \times 10^{+07}$

Realizado por: Enríquez, Kerly. 2022.

**Tabla 12-4:** Parámetros cinéticos para la tasa de calentamiento de 10°C.min<sup>-1</sup>

$\beta$ (10°C/min)	Tm (K)	Regresión lineal	R <sup>2</sup>	Ea (Kj/mol)	A (s <sup>-1</sup> )
Mezcla 1	686.82	$\text{Ln}(-\text{Ln}(1-X^{0.5}) / Tm^2)$	0.9946	142.285	$2.11 \times 10^{+08}$
Mezcla 2	686.82	$\text{Ln}(-\text{Ln}(1-X^{0.5}) / Tm^2)$	0.9956	138.228	$1.02 \times 10^{+08}$
Mezcla 3	686.82	$\text{Ln}(-\text{Ln}(1-X^{0.5}) / Tm^2)$	0.9961	134.769	$5.48 \times 10^{+07}$
Mezcla 4	686.82	$\text{Ln}(-\text{Ln}(1-X^{0.5}) / Tm^2)$	0.9887	151.755	$1.19 \times 10^{+09}$
Mezcla 5	686.82	$\text{Ln}(-\text{Ln}(1-X^{0.5}) / Tm^2)$	0.9802	159.803	$5.13 \times 10^{+09}$
Mezcla 6	686.82	$\text{Ln}(-\text{Ln}(1-X^{0.5}) / Tm^2)$	0.9923	145.677	$3.90 \times 10^{+08}$
Mezcla 7	686.82	$\text{Ln}(-\text{Ln}(1-X^{0.5}) / Tm^2)$	0.9888	149.760	$8.16 \times 10^{+08}$
Mezcla 8	686.82	$\text{Ln}(-\text{Ln}(1-X^{0.5}) / Tm^2)$	0.9867	150.757	$9.78 \times 10^{+08}$
Mezcla 9	686.82	$\text{Ln}(-\text{Ln}(1-X^{0.5}) / Tm^2)$	0.9641	163.453	$9.72 \times 10^{+09}$

Realizado por: Enríquez, Kerly. 2022.

**Tabla 13-4:** Parámetros cinéticos para la tasa de calentamiento de 15°C.min<sup>-1</sup>

$\beta$ (15°C/min)	Tm (K)	Regresión lineal	R <sup>2</sup>	Ea (Kj/mol)	A (s <sup>-1</sup> )
Mezcla 1	810.48	$\text{Ln}(-\text{Ln}(1-X^{0.5}) / Tm^2)$	0.9823	168.699	$4.41 \times 10^{+08}$
Mezcla 2	810.48	$\text{Ln}(-\text{Ln}(1-X^{0.5}) / Tm^2)$	0.9856	172.083	$7.48 \times 10^{+08}$
Mezcla 3	810.48	$\text{Ln}(-\text{Ln}(1-X^{0.5}) / Tm^2)$	0.9876	174.211	$1.04 \times 10^{+09}$
Mezcla 4	810.48	$\text{Ln}(-\text{Ln}(1-X^{0.5}) / Tm^2)$	0.9819	168.849	$4.50 \times 10^{+08}$
Mezcla 5	810.48	$\text{Ln}(-\text{Ln}(1-X^{0.5}) / Tm^2)$	0.9815	169.006	$4.59 \times 10^{+08}$
Mezcla 6	810.48	$\text{Ln}(-\text{Ln}(1-X^{0.5}) / Tm^2)$	0.9797	168.591	$4.32 \times 10^{+08}$

Mezcla 7	810.48	$\text{Ln}(-\text{Ln}(1-X^{0.5}) / \text{Tm}^2)$	0.977	168.674	$4.36 \times 10^{+08}$
Mezcla 8	810.48	$\text{Ln}(-\text{Ln}(1-X^{0.5}) / \text{Tm}^2)$	0.9813	167.360	$3.57 \times 10^{+08}$
Mezcla 9	810.48	$\text{Ln}(-\text{Ln}(1-X^{0.5}) / \text{Tm}^2)$	0.9804	166.138	$2.95 \times 10^{+08}$

Realizado por: Enríquez, Kerly. 2022.

El coeficiente de correlación ( $R^2$ ) para la tasa de calentamiento de 5,10 y 15 °C.min<sup>-1</sup> de cada mezcla tienen un valor de entre 0.999-0.979 demostrando que el modelo aplicado se ajusta satisfactoriamente.

#### 4.3.1. Ajuste y Validación estadística del modelo de KAS

Para el ajuste de los parámetros cinéticos de los datos experimentales obtenidos a partir de la modelación de Kissinger\_Akahira\_Sunose (KAS) fue necesario validarlos con el uso de la herramienta SOLVER.

Se realizó el ajuste de datos mediante el DTG experimental respecto al DTG calculado para evaluar una mezcla idónea que se ajuste al modelo, las gráficas del DTG 5, 10 y 15 °C.min<sup>-1</sup> se lo puede apreciar en el Anexo “C”.

##### 4.3.1.1. Función Objetivo Error

La función objetivo es la suma de la expresión de la (Ec. 21-4), que ayuda a optimizar el error total de los parámetros cinéticos experimentales dadas ciertas restricciones y con variables que necesitan ser minimizadas o maximizadas (Al-Salem et al., 2017, p. 13).

$$\text{FOE} = \frac{\sum_{i=1}^N \left( \frac{dx_{i_{exp}}}{dt} - \frac{dx_{i_{cal}}}{dt} \right)^2}{N} \quad (\text{Ec. 21-4})$$

Mediante la herramienta SOLVER de Microsoft Office Excel se planteó reducir el error entre los valores calculados de cada mezcla. Mientras mejor sea el ajuste, los residuos disminuirán y por ende la media del error absoluto será cercana a cero.

La función objetivo tiene tres variables. Las variables que fueron manipuladas son:  $E_a$ , y  $A$  para minimizar el error absoluto fijando como restricción que cuando la degradación térmica llegue a la temperatura máxima la masa de pérdida del peso experimental sea igual o menor a la pérdida de peso del modelo. En la Tabla 14-4, Tabla 15-4 y Tabla 16-4 se encuentran los valores ajustados para cada tasa de calentamiento.

**Tabla 14-4:** Parámetros cinéticos ajustados para la tasa de calentamiento de 5°C.min<sup>-1</sup>

$\beta$ 5°C/min	Experimental			Ajustado		
	Ea (Kj.mol <sup>-1</sup> )	A (s <sup>-1</sup> )	FOE	Ea (Kj.mol <sup>-1</sup> )	A(s <sup>-1</sup> )	FOE
Mezcla 1	121.592	3.45x10 <sup>+06</sup>	0.01589	206.63	1.22x10 <sup>+16</sup>	0.01589
Mezcla 2	121.051	3.12x10 <sup>+06</sup>	0.33647	194.634	1.48x10 <sup>+15</sup>	0.01701
Mezcla 3	120.536	2.48x10 <sup>+06</sup>	0.32634	201.831	5.15x10 <sup>+15</sup>	0.01695
Mezcla 4	120.902	3.09x10 <sup>+06</sup>	0.33822	208.722	1.78x10 <sup>+16</sup>	0.01473
Mezcla 5	120.461	2.89x10 <sup>+06</sup>	0.32979	209.953	2.23x10 <sup>+16</sup>	0.01395
Mezcla 6	122.382	3.97x10 <sup>+06</sup>	0.34566	205.234	9.50x10 <sup>+15</sup>	0.01853
Mezcla 7	123.238	4.62x10 <sup>+06</sup>	0.34463	203.904	7.47x10 <sup>+15</sup>	0.02146
Mezcla 8	126.547	8.59x10 <sup>+06</sup>	0.75939	213.501	6.12x10 <sup>+16</sup>	0.03244
Mezcla 9	130.163	1.67x10 <sup>+07</sup>	1.26364	215.077	1.07x10 <sup>+17</sup>	0.04109

**Realizado por:** Enríquez, Kerly.2022.

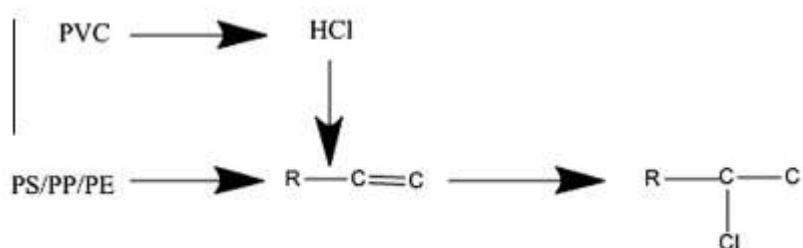
En el ajuste del TGA 5°C.min<sup>-1</sup> se puede visualizar que en la mezcla 2 (0.3PP/0.2PS/0.2PE/0.2PET/0.1PVC) su energía de activación es menor al resto indicando que su reacción inicia fácilmente, haciendo un recuerdo a la definición de la energía de activación el autor Xu (2018, p. 1111) hace mención que la energía de activación es la cantidad de energía mínima que necesitan las moléculas para producir una transformación química.

Roy (2005, p. 479) indica que una mezcla que contenga más porcentaje de PP provoca una reducción de la energía de activación debido al efecto de iniciación de los radicales del PP que se escapan de la masa durante la descomposición, una conclusión similar fue alcanzada por Dodson (1976, p. 361) cuando los plásticos tienen valores de Ea muy cercanos, el comportamiento de la mezcla podría dar lugar a una disminución de la Ea de los polímeros más establecidos debido a la transferencia de hidrógeno desde el polímero más estable hacia los radicales de los polímeros menos estables. Así también lo menciona Marcilla (2005, p. 387–388) los carbonos ternarios disminuyen la estabilidad térmica en polímeros de naturaleza similar así que se espera que el PP se descomponga a temperatura menores, además que, en presencia de PS, PE provoca una rápida degradación.

Los resultados mostraron que los valores de energía de activación para los ajustados están en un rango de 194-215 Kj.mol<sup>-1</sup>, valores cercanos al estudio de Dubdub (2021, p. 8) en donde analiza una mezcla ternaria entre el PP, PE, PS obteniendo como energía 223 Kj.mol<sup>-1</sup> donde menciona que es debido al valor de la energía de activación del PE que es mayor a la del PP puro, el PS y la interacción entre los componentes de la mezcla.

Con respecto a PET y PVC Roy (2005, p. 486–487) revela que la evolución del HCL en la mezcla de plásticos el cloro es liberado por completo antes de los 375 °C, en los resultados indican que

una mezcla que contenga PVC, poliolefinas o PS presentan dos efectos; el primero que en presencia de poliolefinas (polipropileno y polietileno) estabilizan la evolución del HCL y en segundo lugar la cadena de polieno (los dobles enlaces conjugados del resultado de la deshidrocloración del PVC) estabiliza las poliolefinas y reaccionan con cualquiera de los radicales intermedios producidos por las reacciones de transferencia intramolecular (radical PS) como se muestra en la Ilustración 9-4.



**Ilustración 9-4:** Esquema de la pirólisis mixta

**Fuente:** (Yu et al., 2016, p. 9).

En la ilustración se muestra como la degradación térmica de la co-pirólisis de PS/PP/PE/PVC forman hidrocarburos clorados, el PVC reacciona con los hidrocarburos olefínicos, dando lugar a compuestos tóxicos (Yu et al., 2016, p. 9).

Los valores ajustados del factor pre-exponencial (A) indica el número de veces que las moléculas chocaron en la orientación necesaria para desencadenar una reacción. Los valores altos de A ( $\geq 10^9 \text{ S}^{-1}$ ) señala una reacción altamente compleja.

**Tabla 15-4:** Parámetros cinéticos ajustados para la tasa de calentamiento de  $10^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$

$\beta$ $10^\circ\text{C}/\text{min}$	Experimental			Ajustado		
	Ea (Kj.mol <sup>-1</sup> )	A (s <sup>-1</sup> )	FOE	Ea (Kj.mol <sup>-1</sup> )	A (s <sup>-1</sup> )	FOE
Mezcla 1	142.285	$2.11 \times 10^{+08}$	0.000129	169.048	$2.21 \times 10^{+11}$	$8.3421 \times 10^{-06}$
Mezcla 2	138.228	$1.02 \times 10^{+08}$	0.000132	168.849	$2.16 \times 10^{+11}$	$8.6009 \times 10^{-06}$
Mezcla 3	134.769	$5.48 \times 10^{+07}$	0.000135	168.673	$2.12 \times 10^{+11}$	$8.8728 \times 10^{-06}$
Mezcla 4	151.755	$1.19 \times 10^{+09}$	0.000246	168.736	$2.86 \times 10^{+11}$	$1.221 \times 10^{-05}$
Mezcla 5	159.803	$5.13 \times 10^{+09}$	0.000377	168.817	$3.68 \times 10^{+11}$	$1.7218 \times 10^{-05}$
Mezcla 6	145.677	$3.90 \times 10^{+08}$	0.000127	169.038	$2.20 \times 10^{+11}$	$8.798 \times 10^{-06}$
Mezcla 7	149.760	$8.16 \times 10^{+08}$	0.000125	169.250	$2.27 \times 10^{+11}$	$9.273 \times 10^{-06}$
Mezcla 8	150.757	$9.78 \times 10^{+08}$	0.000154	169.949	$2.85 \times 10^{+11}$	$9.0085 \times 10^{-06}$
Mezcla 9	163.453	$9.72 \times 10^{+09}$	0.000185	170.670	$3.52 \times 10^{+11}$	$9.7699 \times 10^{-06}$

**Realizado por:** Enríquez, Kerly.2022.

Los resultados obtenidos para los valores ajustados en la energía de activación fueron bajos casi que constantes lo que demuestra que la reacción de cada mezcla inicia fácilmente, si se los



compara con el estudio de Albano (1998, p. 293) en donde analizan la degradación de componentes binarios aplicado a métodos integrales la energía de activación de la mezcla obtenida es baja se encuentra en un rango de 167-196 KJ.mol<sup>-1</sup>, estos valores lo atribuyen a que uno de los polímeros acelera el proceso de descomposición del otro y es más notable cuando la concentración del polímero es superior al 20%.

También en el estudio de Li (2021, p. 9) indica un valor de 181.58 KJ.mol<sup>-1</sup> por la baja estabilidad térmica que se da en una mezcla cuaternaria.

**Tabla 16-4:** Parámetros cinéticos ajustados para la tasa de calentamiento de 15°C.min<sup>-1</sup>

$\beta$ 15°C/min	Calculado			Ajustado		
	Ea (Kj.mol <sup>-1</sup> )	A (s <sup>-1</sup> )	FOE	Ea (Kj.mol <sup>-1</sup> )	A (s <sup>-1</sup> )	FOE
Mezcla 1	168.699	4.41x10 <sup>+08</sup>	0.000217	245.647	3.54x10 <sup>+14</sup>	1.235x10 <sup>-05</sup>
Mezcla 2	172.083	7.48x10 <sup>+08</sup>	0.000351	249.579	7.95x10 <sup>+14</sup>	2.044x10 <sup>-05</sup>
Mezcla 3	174.211	1.04x10 <sup>+09</sup>	0.000517	228.584	4.23x10 <sup>+13</sup>	3.203x10 <sup>-05</sup>
Mezcla 4	168.849	4.50x10 <sup>+08</sup>	0.000352	248.883	7.12x10 <sup>+14</sup>	1.824x10 <sup>-05</sup>
Mezcla 5	169.006	4.59x10 <sup>+08</sup>	0.000519	257.767	3.42x10 <sup>+15</sup>	2.039x10 <sup>-05</sup>
Mezcla 6	168.591	4.32x10 <sup>+08</sup>	0.000218	242.588	2.25x10 <sup>+14</sup>	1.259x10 <sup>-05</sup>
Mezcla 7	168.674	4.36x10 <sup>+08</sup>	0.000219	239.396	1.40x10 <sup>+14</sup>	1.293x10 <sup>-05</sup>
Mezcla 8	167.360	3.57x10 <sup>+08</sup>	0.000218	246.165	3.82x10 <sup>+14</sup>	1.164x10 <sup>-05</sup>
Mezcla 9	166.138	2.95x10 <sup>+08</sup>	0.000218	246.960	4.28x10 <sup>+14</sup>	1.098x10 <sup>-05</sup>

Realizado por: Enríquez, Kerly.2022.

Para la tasa de calentamiento de 15 °C.min<sup>-1</sup> se produjeron tres picos en el DTG por lo que se seleccionó los datos de degradación de mayor pérdida de peso, observando los valores ajustados de la energía de activación indican que son más elevados a comparación de las de tasa de 5 y de 10 esto puede atribuirse por varias razones la primera es que al seleccionar los datos del tercer pico el valor de la conversión es mayor y por ende la energía de activación se incrementó, como en el caso del estudio de Fang (2021, p. 6) en donde la pirólisis de la mezcla se dividió en dos etapas a la primera etapa su energía de activación era baja alrededor de 170 KJ.mol<sup>-1</sup> y a altas temperaturas su energía fue de 300 KJ.mol<sup>-1</sup>, esto debido a que necesitan más energía para la reacción de radicales libres.

Se puede apreciar que la mezcla 5 (0.2PP+0.4PS+0.2PE+0.2PET+0.0PVC) tiene una energía de 257.767 (Kj.mol<sup>-1</sup>) mayor al resto, esto puede deberse a que los productos primarios de la pirólisis del PE se combinaron con los monómeros de la descomposición del PS Como resultado, el proceso duró más tiempo (Li et al., 2021, p. 666).

Los resultados se asemejan al estudio de Dubdub (2021, p. 10) donde explica que la interacción entre los componentes de la mezcla, da a lugar a un efecto sinérgico.

#### 4.4. Parámetros termodinámicos

Mediante los parámetros cinéticos del modelo de (KAS) se puede determinar los parámetros termodinámicos aplicando las (Ec. 18-2), (Ec. 19-2), (Ec. 20-2).

Los parámetros termodinámicos de la pirólisis de la mezcla se calcularon a 5, 10, y 15 °C.min<sup>-1</sup> como se muestran en las siguientes tablas.

**Tabla 17-4:** Parámetros Termodinámicos estimados para la tasa de 5 °C.min<sup>-1</sup>.

$\beta$ (5°C/min)	E KJ/mol	$\Delta H$	$\Delta G$	$\Delta S$
Mezcla 1	206.63	201.0349	5.91x10 <sup>+02</sup>	-5.68x10 <sup>-01</sup>
Mezcla 2	194.634	189.0345	5.67x10 <sup>+02</sup>	-5.50x10 <sup>-01</sup>
Mezcla 3	201.831	196.2311	5.81x10 <sup>+02</sup>	-5.61x10 <sup>-01</sup>
Mezcla 4	208.722	203.1228	5.95x10 <sup>+02</sup>	-5.71x10 <sup>-01</sup>
Mezcla 5	209.953	204.3531	5.98x10 <sup>+02</sup>	5.73x10 <sup>-01</sup>
Mezcla 6	205.234	199.6345	5.88x10 <sup>+02</sup>	-5.66x10 <sup>-01</sup>
Mezcla 7	203.904	198.7372	5.91x10 <sup>+02</sup>	-5.62x10 <sup>-01</sup>
Mezcla 8	213.501	207.901	6.07x10 <sup>+02</sup>	-5.81x10 <sup>-01</sup>
Mezcla 9	215.077	209.4774	6.12x10 <sup>+02</sup>	-5.86x10 <sup>-01</sup>

Realizado por: Enríquez, Kerly.2022.

**Tabla 18-4:** Parámetros Termodinámicos estimados para la tasa de 10 °C.min<sup>-1</sup>.

$\beta$ (10°C/min)	E KJ/mol	$\Delta H$	$\Delta G$	$\Delta S$
Mezcla 1	169.048	163.4489	4.91x10 <sup>+02</sup>	-4.77x10 <sup>-01</sup>
Mezcla 2	168.849	163.2490	4.91x10 <sup>+02</sup>	-4.77x10 <sup>-01</sup>
Mezcla 3	168.673	163.0739	4.91x10 <sup>+02</sup>	-4.77x10 <sup>-01</sup>
Mezcla 4	168.736	163.1362	4.92x10 <sup>+02</sup>	-4.79x10 <sup>-01</sup>
Mezcla 5	168.817	163.2171	4.94x10 <sup>+02</sup>	-4.81x10 <sup>-01</sup>
Mezcla 6	169.038	163.4388	4.91x10 <sup>+02</sup>	-4.77x10 <sup>-01</sup>
Mezcla 7	169.250	163.6505	4.92x10 <sup>+02</sup>	-4.77x10 <sup>-01</sup>
Mezcla 8	169.949	164.3499	4.94x10 <sup>+02</sup>	-4.79x10 <sup>-01</sup>
Mezcla 9	170.670	165.0709	4.95x10 <sup>+02</sup>	-4.81x10 <sup>-01</sup>

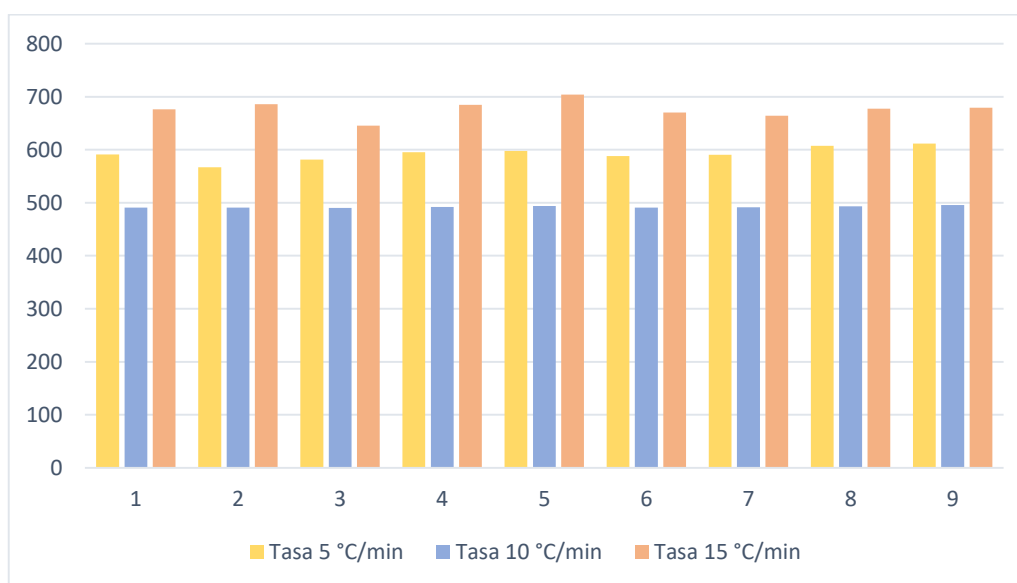
Realizado por: Enríquez, Kerly.2022.

**Tabla 19-4:** Parámetros Termodinámicos estimados para la tasa de 15 °C.min<sup>-1</sup>.

$\beta$ (15°C/min)	E KJ/mol	$\Delta H$	$\Delta G$	$\Delta S$
--------------------	----------	------------	------------	------------

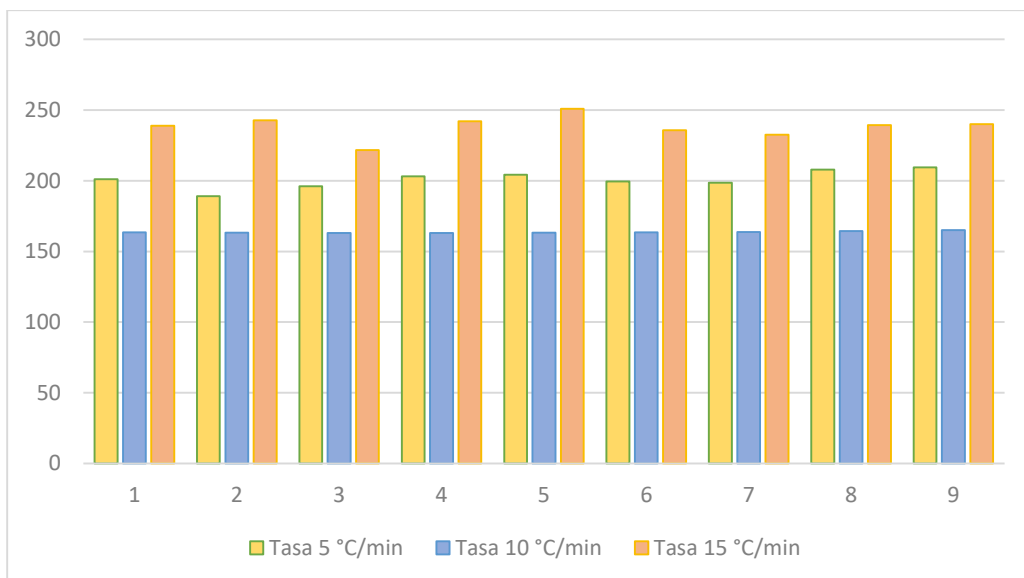
Mezcla 1	245.647	238.8727	$6.77 \times 10^{+02}$	$-5.40 \times 10^{-01}$
Mezcla 2	249.579	243.9338	$6.86 \times 10^{+02}$	$-5.45 \times 10^{-01}$
Mezcla 3	228.584	221.8098	$6.45 \times 10^{+02}$	$-5.22 \times 10^{-01}$
Mezcla 4	248.883	242.1084	$6.85 \times 10^{+02}$	$-5.46 \times 10^{-01}$
Mezcla 5	257.767	250.9926	$7.04 \times 10^{+02}$	$-5.59 \times 10^{-01}$
Mezcla 6	242.588	235.8138	$6.70 \times 10^{+02}$	$-5.36 \times 10^{-01}$
Mezcla 7	239.396	232.6244	$6.64 \times 10^{+02}$	$-5.32 \times 10^{-01}$
Mezcla 8	246.165	239.3907	$6.78 \times 10^{+02}$	$-5.41 \times 10^{-01}$
Mezcla 9	246.960	240.1849	$6.79 \times 10^{+02}$	$-5.42 \times 10^{-01}$

Realizado por: Enríquez, Kerly.2022.



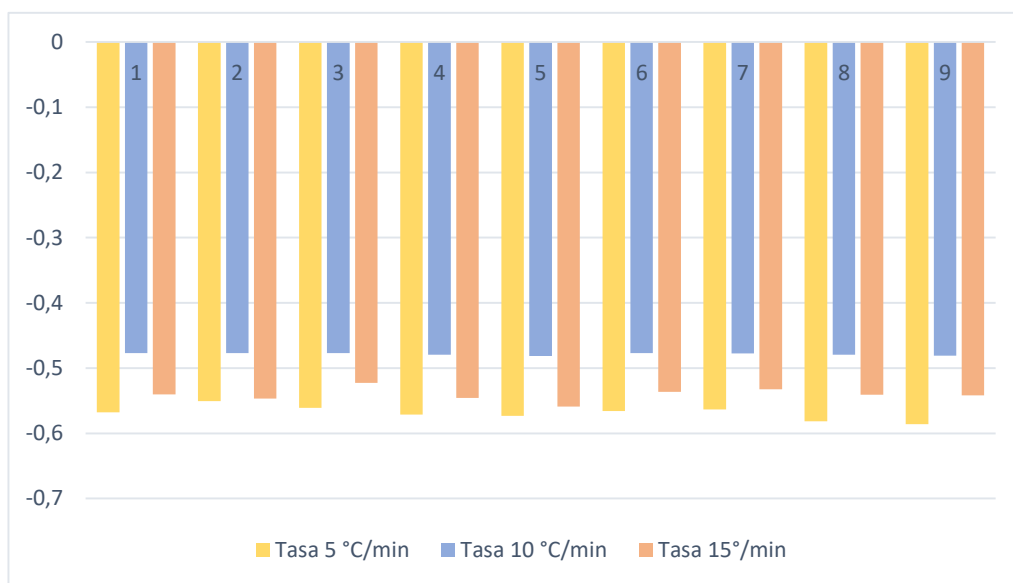
**Ilustración 10-4:** Comparación de los valores de la  $\Delta G$  para cada tasa de calentamiento

Realizado por: Enríquez, Kerly.2022.



**Ilustración 11-4:** Comparación de los valores de la  $\Delta H$  para cada tasa de calentamiento

Realizado por: Enríquez, Kerly.2022.



**Ilustración 12-4:** Comparación de los valores de la  $\Delta S$  para cada tasa de calentamiento

Realizado por: Enríquez, Kerly.2022.

$\Delta H(\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1})$  es una función del calor absorbido o liberado en un proceso isobárico y para la pirólisis indica la cantidad total de calor intercambiado entre el reactivo y el complejo activado durante el proceso isotérmico todas las diferentes tasas de calentamiento revelaron un  $\Delta H$  positivo lo que significa que necesita una fuente de energía externa para elevar el nivel de energía a su estado de transición; reflejando que la pirólisis de las mezclas es endotérmico. Además, se pudo presenciar que en la Tabla 17-4 y Tabla 18-4 los valores más altos se

encuentran en la mezcla 9 y el más bajo en la mezcla 2 y en la mezcla 3 respectivamente. Para la mezcla 9 la degradación térmica estudiada se encuentra en mayor proporción el PET con un 40 %, por tanto, se deduce que el polímero presenta dificultad para romper su estructura principal debido a la presencia del grupo COO-, lo que requiere más tiempo y energía; mientras en la mezcla 2 se encuentra en mayor proporción el PP con un 30% el polímero posee una estabilidad térmica menor comparada con el resto de los plásticos es por tal razón que su entalpía es la menor al resto.

Los valores de  $\Delta G$  (kJ.mol<sup>-1</sup>) indican la energía total del sistema desde la aproximación del reactivo y la formación del complejo activado y dependerá de los cambios de entalpía y entropía para la formación del complejo activado; según los datos obtenidos la reacción de la pirólisis no fue espontánea requirió un consumo de energía adicional para que ocurriera. El alto valor de la energía libre de Gibbs puede ser utilizado como sustituto para la producción de bioenergía.

A partir del valor de entropía  $\Delta S$ (kJ.mol<sup>-1</sup>) se puede concluir el grado de ordenación y la complejidad del producto formado respecto a los reactivos iniciales. El orden de reacción se clasifica como lenta por tener valores  $< 0$  es decir que los productos formados están más estructurados u ordenados que los reactivos iniciales (Chaula et al., 2018, p. 277).

## CONCLUSIONES

Un modelo que pueda describir el comportamiento de degradación de mezclas de polímeros puede resultar una tarea compleja debido a la miscibilidad de los polímeros que está en función de la temperatura junto con la composición, las cuales no son constantes durante la pirólisis. En este trabajo se dio énfasis al modelo libre de KAS para describir la cinética de degradación de las mezclas. Los parámetros cinéticos y termodinámicos obtenidos ayudaran comprender la complejidad de las reacciones múltiples.

Se analizó la Energía Libre de Gibbs para cada velocidad de calentamiento, dando valores positivos indicando un proceso no espontáneo siendo la tasa de  $15^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  donde se tuvo un mayor porcentaje específicamente en la mezcla 5 se vio reflejado una cantidad de  $7.04 \times 10^{+02}$   $\text{Kj}\cdot\text{mol}^{-1}$ .

A partir de los datos del DTG se midió la pérdida de peso de las mezclas en función de la temperatura para cada velocidad de calentamiento presentando una tendencia similar en la misma forma de curva; indicando una degradación térmica de una sola etapa. Para la tasa de calentamiento de 5 y de  $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  su temperatura máxima fue de  $413^{\circ}\text{C}$  ( $686.82\text{K}$ ) y para la tasa de  $15^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  su temperatura máxima se encontró a  $537^{\circ}\text{C}$  ( $810\text{K}$ ) debido a que el termograma derivativo (DTG) se desplazó a temperaturas mayores.

El método empleado para los ajustes de datos de degradación térmica de mezclas de plásticos fue el modelo libre Kissinger – Akahira – Sunose (KAS) debido a que es más fiable para evaluar la energía de activación. Los parámetros cinéticos obtenidos como la energía de activación para la velocidad de calentamiento de 5, 10 y  $15^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  oscilo entre (194-215)  $\text{Kj}\cdot\text{mol}^{-1}$ , (168-170)  $\text{Kj}\cdot\text{mol}^{-1}$  y (228-246)  $\text{Kj}\cdot\text{mol}^{-1}$  respetivamente. En el proceso cinético se vio que al tener una mezcla de polímeros (poliolefinas) o PS en el que esté involucrado el PVC va a dar como reacción compuestos clorados.

Los parámetros termodinámicos, como la entalpia  $\Delta H(\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1})$ , la entropía  $\Delta S(\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1})$  y la energía libre de Gibbs  $\Delta G(\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1})$  se calcularon a (5,10, y  $15^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  tasas de calentamiento a partir de los valores ajustados, donde se visualizó que si la energía de activación es alta la entalpia tendrá también valores altos, las mezclas muestran una menor entropía, entalpia y energía libre de Gibbs en la tasa de  $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  para la mezcla 3, y una mayor entalpia y energía libre de Gibbs en la tasa de  $15^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  para la mezcla 5 mientras que en la entropía se encuentra en la tasa de  $5^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  en la mezcla 9 .

## **RECOMENDACIONES**

Luego de conocer los datos obtenidos a partir del modelo libre de KAS es necesario tener más información acerca del efecto sinérgico que se produce en algunas mezclas para cada tasa de calentamiento de esta manera se podrá explorar más el comportamiento que tiene en una mezcla quinaria. Además, usar otros modelos de los métodos isoconversionales para elegir el mecanismo de reacción más adecuado.

En la gráfica del DTG seleccionar los datos de la curva más pronunciada ya que es donde se encuentra la variación de masa con mayor degradación obtenida.

En la gráfica experimental del DTG es necesario realizar el ajuste al modelo de KAS mediante el análisis de FOE (función objetivo error) para observar si el modelo se adapta satisfactoriamente.

Aplicar en un estudio futuro un análisis espectrómetro de masas para identificar los compuestos obtenidos y sus debidas estructuras.

## BIBLIOGRAFÍA

**ALBANO, C. y DE FREITAS, E.** Thermogravimetric evaluation of the kinetics of decomposition of polyolefin blends. *Polymer Degradation and Stability* [en línea], 1998. vol 61, pp 293. ISSN 0141-3910. Disponible en: [https://dx.doi.org/10.1016/S0141-3910\(97\)00211-5](https://dx.doi.org/10.1016/S0141-3910(97)00211-5).

**AL-SALEM, S.M., SHARMA, B.K., KHAN, A.R., ARNOLD, J.C., ALSTON, S.M., CHANDRASEKARAN, S.R. y AL-DHAFFERI, A.T.** Thermal degradation kinetics of virgin polypropylene (PP) and PP with starch blends exposed to natural weathering. *Industrial and Engineering Chemistry Research* [en línea], 2017. vol 56, no. 18, pp. 5210-5220. ISSN 15205045. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.1021/acs.iecr.7b00754>.

**BONELL, L.** Thermogravimetric analysis and Kinetic study of marine plastic litter. [en línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universität für Bodenkultur Wien, 2016. pp. 51. Disponible en: [https://abstracts.boku.ac.at/download.php?dataset\\_id=14123&property\\_id=107](https://abstracts.boku.ac.at/download.php?dataset_id=14123&property_id=107).

**CHAULA, Z., JOHN, G., SAID, M., MANYELE, S. y MHILU, C.** Non-Isothermal Degradation and Thermodynamic Properties of Pine Sawdust. *Smart Grid and Renewable Energy* [en línea], 2018. vol. 09, no. 12, pp. 272-284. ISSN 2151-481X. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.4236/sgre.2018.912017>.

**DAS, P. y TIWARI, P.** Thermal degradation kinetics of plastics and model selection. *Thermochimica Acta* [en línea], 2017. vol. 654, pp. 191-202. ISSN 00406031. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.1016/j.tca.2017.06.001>.

**DODSON, B. y MCNEILL, I.C.** Degradation of Polymer Mixtures. VI. Blends of Poly(vinyl Chloride) with Polystyrene. *JOURNAL OF POLYMER SCIENCE: Polymer Chemistry Edition* [en línea], 1976. vol 14, pp. 361. ISSN 353-364. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.1002/pol.1976.170140208>.

**DUBDUB, I. y AL-YAARI, M.** Thermal behavior of mixed plastics at different heating rates: I. pyrolysis kinetics. *Polymers* [en línea], 2021. vol. 13, no. 19. pp. 8 ISSN 20734360. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.3390/polym13193413>.



**FANG, S., LIN, Y., HUANG, Z., HUANG, H., CHEN, S. y DING, L.** Investigation of co-pyrolysis characteristics and kinetics of municipal solid waste and paper sludge through TG-FTIR and DAEM. *Thermochimica Acta* [en línea], 2021. vol. 700. pp.6 ISSN 00406031. Disponible: <https://dx.doi.org/10.1016/j.tca.2021.178889>.

**HUJURI, U., GHOSHAL, A.K. y GUMMA, S.** Modeling pyrolysis kinetics of plastic mixtures. *Polymer Degradation and Stability* [en línea], 2008. vol. 93, no. 10, pp. 1832-1837. ISSN 01413910. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2008.07.006>.

**JIANG, G. y WEI, L.** Analysis of Pyrolysis Kinetic Model for Processing of Thermogravimetric Analysis Data. *Phase Change Materials and Their Applications* [en línea], 2018. vol.8. pp. 147 ISSN 01415962. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.5772/intechopen.79226>.

**KUMAR, R.** Tertiary and quaternary recycling of thermoplastics by additive manufacturing approach for thermal sustainability. *Materials Today: Proceedings* [en línea], 2020. pp. 2382-2386. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.183>.

**LA MANTIA, F.P., MORREALE, M., BOTTA, L., MISTRETTA, M.C., CERAULO, M. y SCAFFARO, R.** Degradation of polymer blends: A brief review. *Polymer Degradation and Stability* [en línea], 2017. vol. 145, pp. 79-92. ISSN 01413910. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2017.07.011>.

**LI, D., LEI, S., RAJPUT, G., ZHONG, L., MA, W. y CHEN, G.** Study on the co-pyrolysis of waste tires and plastics. *Energy* [en línea], 2021. vol. 226. pp.5. ISSN 03605442. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2021.120381>.

**LI, D., LEI, S., WANG, P., ZHONG, L., MA, W. y CHEN, G.** Study on the pyrolysis behaviors of mixed waste plastics. *Renewable Energy* [en línea], 2021. vol. 173, pp. 662-674. ISSN 18790682. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2021.04.035>.

**MARCILLA, A., GARCÍA-QUESADA, J.C., SÁNCHEZ, S. y RUIZ, R.** Study of the catalytic pyrolysis behaviour of polyethylene-polypropylene mixtures. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* [en línea], 2005, vol. 74 pp. 387-392. ISSN 0165-2370. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.1016/j.jaap.2004.10.005>.

**MARINOVIĆ-CINCOVIĆ, M., JANKOVIĆ, B., JOVANOVIĆ, V., SAMARŽIJA-JOVANOVIĆ, S. y MARKOVIĆ, G.** The kinetic and thermodynamic analyses of non-isothermal degradation process of acrylonitrile-butadiene and ethylene-propylene-diene rubbers. *Composites Part B: Engineering* [en línea], 2013. vol. 45, no. 1, pp. 321-332. ISSN 13598368. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2012.08.006>.

**MORTEZAEIKIA, V., TAVAKOLI, O. y KHODAPARASTI, M.S.** A review on kinetic study approach for pyrolysis of plastic wastes using thermogravimetric analysis [en línea], 2021. vol. 5, pp. 2. ISSN 0165-2370. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.1016/j.jaap.2021.105340>.

**MUMBACH, G.D., ALVES, J.L.F., DA SILVA, J.C.G., DE SENA, R.F., MARANGONI, C., MACHADO, R.A.F. y BOLZAN, A.** Thermal investigation of plastic solid waste pyrolysis via the deconvolution technique using the asymmetric double sigmoidal function: Determination of the kinetic triplet, thermodynamic parameters, thermal lifetime and pyrolytic oil composition for clean energy recovery. *Energy Conversion and Management* [en línea], 2019. vol. 200, pp. 2. ISSN 01968904. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2019.112031>.

**PALMAY, P., PUENTE, C., BARZALLO, D. y BRUNO, J.C.** Determination of the thermodynamic parameters of the pyrolysis process of post-consumption thermoplastics by non-isothermal thermogravimetric analysis. *Polymers* [en línea], 2021. vol. 13, no. 24, pp.2-5. ISSN 20734360. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.3390/polym13244379>.

**KAIRÓS.** Percepción ciudadana sobre el sistema de recolección de desechos sólidos mediante ecotachos en el barrio San Alfonso, cantón Riobamba. *REVISTA DE CIENCIAS ECONÓMICAS, JURÍDICAS Y ADMINISTRATIVAS* [en línea], 2021. vol. 4, no. 6, pp. 70-81. ISSN 25496320. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.37135/kai.03.06.05>.

**RAJISHA, K.R., DEEPA, B., POTHAN, L.A. y THOMAS, S.** Thermomechanical and spectroscopic characterization of natural fibre composites. *Interface Engineering of Natural Fibre Composites for Maximum Performance* [en línea], 2011. vol. 8, pp. 241-274. ISSN 01456972. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.1533/9780857092281.2.241>.

**ROY, C., MIRANDA, R., YANG, J. y VASILE, C.** Vacuum pyrolysis of commingled plastics containing PVC I. *Kinetic study* [en línea], 2005. vol. 75, pp.486-487. ISSN 0141-391. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/287457256>.

**SANGRONIZ, A., GONZALEZ, A., MARTIN, L., IRUSTA, L., IRIARTE, M. y ETXEBERRIA, A.** Miscibility and degradation of polymer blends based on biodegradable poly(butylene adipate-co-terephthalate). *Polymer Degradation and Stability* [en línea], 2018. vol. 151, pp. 25-35. ISSN 01413910. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.1016/j.polyimdegradstab.2018.01.023>.

**SCAFFARO, R. y BOTTA, L.** Degradation Behavior of Nanocomposite Polymer Blends. *Nanostructured Polymer Blends* [en línea], 2013. vol.12 pp. 423-447. ISBN 9781455731596. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-1-4557-3159-6.00012-2>.

**SINGH, R.K., RUJ, B., SADHUKHAN, A.K. y GUPTA, P.** A TG-FTIR investigation on the co-pyrolysis of the waste HDPE, PP, PS and PET under high heating conditions. *Journal of the Energy Institute* [en línea], 2020. vol. 93, no. 3, pp. 1020-1035. ISSN 17460220. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.1016/j.joei.2019.09.003>.

**SINGH, S., PATIL, T., TEKADE, S.P., GAWANDE, M.B. y SAWARKAR, A.N.** Studies on individual pyrolysis and co-pyrolysis of corn cob and polyethylene: Thermal degradation behavior, possible synergism, kinetics, and thermodynamic analysis. *Science of the Total Environment* [en línea], 2021. vol. 783. pp. 10. ISSN 18791026. <https://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147004>.

**SOLIZ.** Cartografía de los residuos sólidos.2020. *Universidad Andina Simón Bolívar* [en línea], 2020. pp. 138. ISBN 978-9942-837-29-5. Disponible en: <https://repositorio.uasb.edu.ec/handle/10644/7773#:~:text=La%20cartograf%C3%ADa%20de%20los%20residuos,hasta%20el%20momento%20en%20Ecuador>.

**TAGHAVI, N., UDUGAMA, I.A., ZHUANG, W.Q. y BAROUTIAN, S.** Challenges in biodegradation of non-degradable thermoplastic waste: *From environmental impact to operational readiness* [en línea], 2021. pp. 2. ISSN 0734-9750. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2021.107731>.

**XU, F., WANG, B., YANG, D., HAO, J., QIAO, Y. y TIAN, Y.** Thermal degradation of typical plastics under high heating rate conditions by TG-FTIR: Pyrolysis behaviors and kinetic analysis. *Energy Conversion and Management* [en línea], 2018. vol. 171, pp. 1106-1115. ISSN 01968904. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.06.047>.

**YAP, T.L., LOY, A.C.M., CHIN, B.L.F., LIM, J.Y., ALHAMZI, H., CHAI, Y.H., YIIN, C.L., CHEAH, K.W., WEE, M.X.J., LAM, M.K., JAWAD, Z.A., YUSUP, S. y LOCK, S.S.M.** Synergistic effects of catalytic co-pyrolysis *Chlorella vulgaris* and polyethylene mixtures using artificial neuron network: Thermodynamic and empirical kinetic analyses. *Journal of Environmental Chemical Engineering* [en línea], 2022. vol. 10, no. 3, pp. 107391. ISSN 22133437. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.107391>.

**YU, J., SUN, L., MA, C., QIAO, Y. y YAO, H.** *Thermal degradation of PVC: A review*. 2016 [en línea], pp. 9. ISSN 0956-053X. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2015.11.041>.

**ZAKER, A., CHEN, Z., ZAHEER-UDDIN, M. y GUO, J.** Co-pyrolysis of sewage sludge and low-density polyethylene – A thermogravimetric study of thermo-kinetics and thermodynamic parameters. *Journal of Environmental Chemical Engineering* [en línea], 2021. vol. 9, no. 1. pp.11. ISSN 22133437. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.1016/j.jece.2020.104554>.



## ANEXOS

### ANEXO A: RESULTADOS DE LA COMPOSICIÓN MIXTA ESTUDIADA

**Tabla 20-A:** TGA 5°Cmin<sup>-1</sup>

Temperature	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Mezcla 4	Mezcla 5	Mezcla 6	Mezcla 7	Mezcla 8	Mezcla 9
K	mg	Mg	mg	mg	mg	mg	Mg	mg	mg
298,15	14,529	15,017	15,5059	15,9970	17,4647	14,2660	14,0025	14,2306	13,9317
306,98	14,541	15,030	15,5203	16,0075	17,4736	14,2837	14,0260	14,2421	13,9428
315,82	14,545	15,027	15,5105	16,0018	17,4583	14,2764	14,0075	14,2373	13,9293
324,65	14,530	15,016	15,5025	15,9897	17,4491	14,2679	14,0054	14,2235	13,9167
333,48	14,527	15,010	15,4927	15,9828	17,4378	14,2591	13,9904	14,2181	13,9083
342,32	14,524	15,010	15,4957	15,9816	17,4386	14,2608	13,9971	14,2174	13,9103
351,15	14,524	15,005	15,4859	15,9756	17,4271	14,2563	13,9884	14,2136	13,9030
359,98	14,520	15,003	15,4863	15,9701	17,4201	14,2568	13,9935	14,2118	13,9035
368,82	14,525	15,005	15,4859	15,9723	17,4196	14,2577	13,9903	14,2124	13,8997
377,65	14,520	15,000	15,4794	15,9645	17,4083	14,2515	13,9825	14,2112	13,9018
386,48	14,506	14,988	15,4711	15,9511	17,3962	14,2362	13,9663	14,1975	13,8890
395,32	14,514	14,994	15,4744	15,9560	17,3970	14,2463	13,9777	14,2051	13,8953
404,15	14,509	14,989	15,4686	15,9492	17,3889	14,2374	13,9654	14,2013	13,8932
412,98	14,522	14,999	15,4762	15,9596	17,3967	14,2525	13,9827	14,2080	13,8936
421,82	14,515	14,9942	15,4726	15,9539	17,3921	14,2492	13,9826	14,2064	13,8971
430,65	14,509	14,98	15,4668	15,9475	17,3854	14,2398	13,9701	14,2007	13,8917
439,48	14,512	14,989	15,4654	15,9484	17,3845	14,2467	13,9810	14,2023	13,8921
448,32	14,499	14,971	15,4532	15,9356	17,3722	14,2318	13,9647	14,1893	13,8796
457,15	14,506	14,974	15,4528	15,9389	17,3719	14,2390	13,9720	14,1922	13,8783
465,98	14,493	14,961	15,4426	15,9296	17,3655	14,2259	13,9582	14,1861	13,8786
474,82	14,490	14,969	15,4331	15,9225	17,3543	14,2206	13,9504	14,1792	13,8677
483,65	14,485	14,958	15,4265	15,9170	17,3489	14,2138	13,9425	14,1743	13,8636
492,48	14,466	14,934	15,4123	15,9010	17,3354	14,2013	13,9360	14,1596	13,8526
501,32	14,457	14,923	15,3975	15,8894	17,3217	14,1881	13,9191	14,1501	13,8430
510,15	14,463	14,930	15,4064	15,8998	17,3360	14,2015	13,9394	14,1604	13,8573
518,98	14,426	14,891	15,3698	15,8661	17,3059	14,1673	13,9083	14,1257	13,8251
527,82	14,417	14,895	15,3694	15,8643	17,3110	14,1671	13,9166	14,1274	13,8372
536,65	14,375	14,860	15,3522	15,8357	17,2955	14,1402	13,9046	14,0961	13,8165
545,48	14,313	14,823	15,3333	15,7969	17,2805	14,0984	13,8835	14,0592	13,8051
554,32	14,235	14,772	15,3188	15,7524	17,2690	14,0605	13,8854	14,0143	13,7929
563,15	14,107	14,705	15,3057	15,6839	17,2605	13,9915	13,8757	13,9506	13,7939
571,98	13,920	14,604	15,2908	15,5862	17,2523	13,8945	13,8689	13,8540	13,7879
580,82	13,726	14,493	15,2578	15,4752	17,2236	13,7845	13,8422	13,7404	13,7540
589,65	13,566	14,400	15,2436	15,3895	17,2125	13,6999	13,8334	13,6608	13,7551
598,48	13,427	14,327	15,2198	15,3121	17,1966	13,6217	13,8158	13,5802	13,7328
607,32	13,340	14,273	15,2006	15,2626	17,1851	13,5751	13,8101	13,5340	13,7279
616,15	12,651	13,306	13,9675	14,6039	16,5560	12,9161	13,1804	12,8775	13,1033
624,98	13,195	14,169	15,1322	15,1579	17,1203	13,4758	13,7559	13,4328	13,6700
633,82	13,179	14,142	15,1090	15,1446	17,1099	13,4625	13,7456	13,4224	13,6653
642,65	13,136	14,097	15,0552	15,0906	17,0451	13,4199	13,7036	13,3765	13,6169
651,48	13,080	14,03	14,9945	15,0233	16,9663	13,3693	13,6583	13,3201	13,5600
660,32	12,954	13,90	14,8622	14,8669	16,7796	13,2437	13,5333	13,1835	13,4129
669,15	12,727	13,67	14,6186	14,5593	16,3913	13,0210	13,3146	12,9360	13,1446
677,98	12,224	13,161	14,1076	13,8689	15,5131	12,5209	12,8170	12,3946	12,5646
686,82	11,328	12,26	13,1993	12,6340	13,9401	11,6235	11,9190	11,4283	11,5286
695,65	10,173	11,10	12,0376	11,0597	11,9461	10,4772	10,7812	10,1654	10,1576

704,48	8,9745	9,906	10,8388	9,4649	9,9554	9,2867	9,5988	8,8344	8,6943
713,32	7,8787	8,812	9,7463	8,0598	8,2409	8,2055	8,5323	7,6209	7,3630
722,15	7,1078	8,043	8,9785	7,1204	7,1330	7,4421	7,7763	6,7950	6,4822
730,98	6,6109	7,540	8,4707	6,5747	6,5386	6,9200	7,2291	6,2911	5,9713
739,82	6,1249	7,034	7,9434	6,0744	6,0239	6,3420	6,5591	5,8136	5,5024
748,65	5,4862	6,363	7,2408	5,4415	5,3968	5,5110	5,5358	5,1945	4,9028
757,48	4,7277	5,552	6,3771	4,6939	4,6601	4,5036	4,2794	4,4528	4,1779
766,32	4,2128	4,952	5,6923	4,1855	4,1583	3,8598	3,5069	3,9464	3,6801
775,15	3,9021	4,518	5,1346	3,8776	3,8531	3,5405	3,1790	3,6442	3,3863
783,98	3,5621	4,022	4,4826	3,5366	3,5110	3,2008	2,8395	3,3009	3,0396
792,82	3,1776	3,466	3,7553	3,1559	3,1341	2,8201	2,4626	2,9222	2,6668
801,65	2,8090	2,910	3,0112	2,7858	2,7626	2,4570	2,1050	2,5534	2,2978
810,48	2,4748	2,412	2,3503	2,4498	2,4247	2,1208	1,7668	2,2184	1,9620
819,32	2,2545	2,092	1,9312	2,2273	2,2001	1,8981	1,5416	1,9966	1,7388
828,15	2,1747	1,992	1,8112	2,1498	2,1248	1,8265	1,4784	1,9237	1,6727
836,98	2,1788	1,987	1,7961	2,1499	2,1210	1,8320	1,4852	1,9231	1,6674
845,82	2,1457	1,951	1,7564	2,1148	2,0840	1,7951	1,4445	1,8887	1,6318
854,65	2,1321	1,934	1,7373	2,0960	2,0599	1,7819	1,4317	1,8728	1,6135
863,48	2,1226	1,927	1,7331	2,0890	2,0553	1,7804	1,4382	1,8678	1,6129
872,32	2,0915	1,898	1,7050	2,0562	2,0210	1,7472	1,4030	1,8372	1,5829
881,15	2,0819	1,887	1,6923	2,0416	2,0013	1,7375	1,3931	1,8234	1,5650
889,98	2,0773	1,881	1,6861	2,0357	1,9940	1,7284	1,3795	1,8195	1,5617
898,82	2,0653	1,868	1,6719	2,0211	1,9769	1,7142	1,3631	1,8030	1,5408
907,65	2,0569	1,863	1,6703	2,0139	1,9709	1,7160	1,3751	1,7971	1,5374
916,48	2,0609	1,867	1,6748	2,0173	1,9736	1,7241	1,3873	1,8036	1,5464
925,32	2,0497	1,856	1,6631	2,0039	1,9580	1,7093	1,3688	1,7921	1,5345
934,15	2,0396	1,846	1,6524	1,9928	1,9460	1,6976	1,3556	1,7787	1,5179
942,98	2,0332	1,841	1,6496	1,9863	1,9394	1,6929	1,3527	1,7747	1,5162
951,82	2,0260	1,839	1,6536	1,9846	1,9431	1,6922	1,3584	1,7734	1,5209
960,65	1,9960	1,816	1,6366	1,9577	1,9194	1,6676	1,3392	1,7479	1,4999
969,48	1,9727	1,801	1,6294	1,9415	1,9103	1,6532	1,3338	1,7341	1,4954
978,32	1,9648	1,798	1,6311	1,9385	1,9121	1,6557	1,3467	1,7288	1,4928
987,15	1,9691	1,802	1,6358	1,9399	1,9108	1,6644	1,3597	1,7347	1,5002
995,98	1,9339	1,771	1,6088	1,9090	1,8840	1,6251	1,3164	1,6998	1,4657
1004,82	1,9416	1,777	1,6135	1,9154	1,8893	1,6387	1,3359	1,7085	1,4755
1013,65	1,9116	1,750	1,5903	1,8878	1,8641	1,6097	1,3077	1,6825	1,4534
1022,48	1,9074	1,748	1,5902	1,8839	1,8604	1,6120	1,3165	1,6839	1,4604
1031,32	1,9020	1,745	1,5882	1,8801	1,8581	1,6116	1,3213	1,6812	1,4603
1040,15	1,8842	1,727	1,5697	1,8616	1,8390	1,5918	1,2994	1,6614	1,4385
1048,98	1,8745	1,713	1,5522	1,8490	1,8234	1,5843	1,2941	1,6476	1,4207
1057,82	1,8715	1,711	1,5517	1,8471	1,8226	1,5847	1,2979	1,6510	1,4305
1066,65	1,8584	1,702	1,5474	1,8352	1,8120	1,5795	1,3006	1,6406	1,4227
1075,48	1,8409	1,689	1,5388	1,8214	1,8020	1,5632	1,2856	1,6252	1,4096
1084,32	1,8435	1,692	1,5416	1,8206	1,7977	1,5672	1,2909	1,6287	1,4139
1093,15	1,8280	1,673	1,5197	1,8004	1,7729	1,5473	1,2667	1,6097	1,3913
1101,98	1,8123	1,6609	1,5095	1,7866	1,7609	1,5316	1,2508	1,5961	1,3798
1110,82	1,8046	1,6543	1,5039	1,7766	1,7487	1,5289	1,2532	1,5876	1,3707
1119,65	1,7957	1,6462	1,4966	1,7652	1,7347	1,5167	1,2376	1,5819	1,3681
1128,48	1,7862	1,6397	1,4933	1,7552	1,7242	1,5126	1,2390	1,5738	1,3615
1137,32	1,7716	1,6282	1,4847	1,7390	1,7064	1,5004	1,2291	1,5605	1,3494
1146,15	1,4647	1,3222	1,1797	1,2759	1,0872	1,1984	0,9321	1,2542	1,0437

Realizado por: Enríquez, Kerly.2022.

**Tabla 21-A: DTG 5°Cmin<sup>-1</sup>**

Temperatura	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Mezcla 4	Mezcla 5	Mezcla 6	Mezcla 7	Mezcla 8	Mezcla 9
K	mgs <sup>-1</sup>	mgs <sup>-1</sup>	mgs <sup>-1</sup>	mgs <sup>-1</sup>	mgs <sup>-1</sup>	mgs <sup>-1</sup>	mgs <sup>-1</sup>	mgs <sup>-1</sup>	mgs <sup>-1</sup>
298,15	-9,221E-06	-3,842E-05	-6,762E-05	-6,920E-05	-1,292E-04	-2,009E-05	-3,097E-05	-5,119E-05	-9,316E-05
306,98	-7,868E-06	-3,707E-05	-6,626E-05	-6,785E-05	-1,278E-04	-1,874E-05	-2,962E-05	-4,916E-05	-9,046E-05
315,82	-2,202E-05	-4,992E-05	-7,781E-05	-8,205E-05	-1,421E-04	-3,373E-05	-4,544E-05	-6,430E-05	-1,066E-04
324,65	-7,711E-05	-8,909E-05	-1,011E-04	-1,186E-04	-1,601E-04	-8,042E-05	-8,372E-05	-8,517E-05	-9,323E-05
333,48	-8,918E-05	-1,006E-04	-1,121E-04	-1,253E-04	-1,614E-04	-8,679E-05	-8,440E-05	-1,004E-04	-1,115E-04
342,32	-5,327E-05	-6,388E-05	-7,449E-05	-8,816E-05	-1,231E-04	-5,316E-05	-5,304E-05	-5,484E-05	-5,641E-05
351,15	8,923E-06	-8,300E-06	-2,552E-05	-3,605E-05	-8,101E-05	8,623E-06	8,323E-06	4,357E-06	-2,090E-07
359,98	1,363E-05	-3,220E-06	-2,007E-05	-3,184E-05	-7,732E-05	8,375E-06	3,118E-06	1,704E-05	2,045E-05
368,82	-3,466E-06	-3,183E-05	-6,020E-05	-6,221E-05	-1,209E-04	-4,237E-05	-8,126E-05	-2,652E-05	-4,957E-05
377,65	-5,374E-05	-6,717E-05	-8,060E-05	-9,423E-05	-1,347E-04	-8,370E-05	-1,137E-04	-6,296E-05	-7,218E-05
386,48	-6,869E-05	-7,879E-05	-8,890E-05	-1,037E-04	-1,388E-04	-9,615E-05	-1,236E-04	-7,331E-05	-7,792E-05
395,32	-3,814E-05	-3,706E-05	-3,598E-05	-5,967E-05	-8,119E-05	-3,141E-05	-2,468E-05	-4,091E-05	-4,367E-05
404,15	-1,635E-05	-2,027E-05	-2,418E-05	-3,590E-05	-5,544E-05	-2,353E-06	1,165E-05	-1,293E-05	-9,515E-06
412,98	3,901E-05	2,061E-05	2,214E-06	1,107E-05	-1,688E-05	5,361E-05	6,820E-05	3,489E-05	3,077E-05
421,82	-4,155E-05	-4,895E-05	-5,634E-05	-5,478E-05	-6,801E-05	-3,197E-05	-2,238E-05	-2,732E-05	-1,308E-05
430,65	-4,573E-05	-6,480E-05	-8,387E-05	-6,425E-05	-8,278E-05	-3,112E-05	-1,652E-05	-5,237E-05	-5,901E-05
439,48	-1,046E-04	-1,137E-04	-1,229E-04	-1,102E-04	-1,158E-04	-9,920E-05	-9,382E-05	-9,624E-05	-8,790E-05
448,32	-1,018E-04	-1,243E-04	-1,467E-04	-1,109E-04	-1,200E-04	-1,005E-04	-9,922E-05	-9,931E-05	-9,678E-05
457,15	-8,573E-05	-1,135E-04	-1,412E-04	-9,423E-05	-1,027E-04	-9,960E-05	-1,135E-04	-8,292E-05	-8,010E-05
465,98	-9,886E-05	-1,352E-04	-1,715E-04	-1,267E-04	-1,546E-04	-1,148E-04	-1,308E-04	-1,150E-04	-1,312E-04
474,82	-1,139E-04	-1,508E-04	-1,878E-04	-1,390E-04	-1,640E-04	-1,230E-04	-1,320E-04	-1,236E-04	-1,333E-04
483,65	-1,809E-04	-1,925E-04	-2,041E-04	-1,759E-04	-1,708E-04	-1,563E-04	-1,318E-04	-1,651E-04	-1,494E-04
492,48	-2,003E-04	-1,989E-04	-1,976E-04	-1,735E-04	-1,467E-04	-1,578E-04	-1,153E-04	-1,605E-04	-1,207E-04
501,32	-2,754E-04	-2,765E-04	-2,776E-04	-2,367E-04	-1,979E-04	-2,320E-04	-1,886E-04	-2,255E-04	-1,755E-04
510,15	-3,010E-04	-2,831E-04	-2,651E-04	-2,263E-04	-1,516E-04	-2,087E-04	-1,164E-04	-2,175E-04	-1,340E-04
518,98	-4,208E-04	-3,771E-04	-3,333E-04	-3,197E-04	-2,186E-04	-3,134E-04	-2,059E-04	-3,150E-04	-2,092E-04

527,82	-6,025E-04	-4,654E-04	-3,283E-04	-4,147E-04	-2,268E-04	-3,869E-04	-1,714E-04	-4,032E-04	-2,040E-04
536,65	-9,669E-04	-6,635E-04	-3,602E-04	-6,276E-04	-2,882E-04	-6,249E-04	-2,829E-04	-6,056E-04	-2,442E-04
545,48	-1,390E-03	-8,540E-04	-3,177E-04	-8,106E-04	-2,309E-04	-7,890E-04	-1,878E-04	-7,804E-04	-1,705E-04
554,32	-2,102E-03	-1,231E-03	-3,600E-04	-1,171E-03	-2,397E-04	-1,162E-03	-2,226E-04	-1,146E-03	-1,892E-04
563,15	-2,891E-03	-1,643E-03	-3,948E-04	-1,577E-03	-2,621E-04	-1,560E-03	-2,283E-04	-1,557E-03	-2,233E-04
571,98	-3,379E-03	-1,896E-03	-4,136E-04	-1,829E-03	-2,790E-04	-1,809E-03	-2,396E-04	-1,817E-03	-2,541E-04
580,82	-3,305E-03	-1,880E-03	-4,546E-04	-1,821E-03	-3,364E-04	-1,800E-03	-2,941E-04	-1,795E-03	-2,843E-04
589,65	-2,815E-03	-1,632E-03	-4,492E-04	-1,557E-03	-2,997E-04	-1,533E-03	-2,501E-04	-1,544E-03	-2,731E-04
598,48	-2,268E-03	-1,394E-03	-5,204E-04	-1,322E-03	-3,762E-04	-1,299E-03	-3,295E-04	-1,302E-03	-3,373E-04
607,32	-1,722E-03	-1,134E-03	-5,470E-04	-1,058E-03	-3,932E-04	-1,031E-03	-3,399E-04	-1,036E-03	-3,505E-04
616,15	-1,257E-03	-9,528E-04	-6,488E-04	-8,821E-04	-5,073E-04	-8,503E-04	-4,438E-04	-8,461E-04	-4,353E-04
624,98	-8,675E-04	-7,817E-04	-6,960E-04	-7,227E-04	-5,778E-04	-6,407E-04	-4,138E-04	-6,891E-04	-5,106E-04
633,82	-1,151E-03	-1,197E-03	-1,243E-03	-1,314E-03	-1,477E-03	-1,062E-03	-9,729E-04	-1,158E-03	-1,165E-03
642,65	-1,870E-03	-1,965E-03	-2,061E-03	-2,355E-03	-2,840E-03	-1,831E-03	-1,792E-03	-2,006E-03	-2,141E-03
651,48	-3,649E-03	-3,773E-03	-3,897E-03	-4,855E-03	-6,062E-03	-3,633E-03	-3,617E-03	-3,967E-03	-4,285E-03
660,32	-7,358E-03	-7,501E-03	-7,644E-03	-1,011E-02	-1,287E-02	-7,328E-03	-7,299E-03	-7,967E-03	-8,576E-03
669,15	-1,292E-02	-1,309E-02	-1,325E-02	-1,788E-02	-2,285E-02	-1,290E-02	-1,288E-02	-1,403E-02	-1,514E-02
677,98	-1,839E-02	-1,855E-02	-1,870E-02	-2,525E-02	-3,211E-02	-1,835E-02	-1,830E-02	-2,012E-02	-2,185E-02
686,82	-2,130E-02	-2,141E-02	-2,153E-02	-2,877E-02	-3,625E-02	-2,119E-02	-2,108E-02	-2,357E-02	-2,584E-02
695,65	-2,058E-02	-2,067E-02	-2,076E-02	-2,717E-02	-3,377E-02	-2,043E-02	-2,028E-02	-2,291E-02	-2,523E-02
704,48	-1,656E-02	-1,664E-02	-1,671E-02	-2,116E-02	-2,577E-02	-1,638E-02	-1,619E-02	-1,827E-02	-1,997E-02
713,32	-1,156E-02	-1,167E-02	-1,177E-02	-1,390E-02	-1,625E-02	-1,146E-02	-1,136E-02	-1,231E-02	-1,307E-02
722,15	-8,348E-03	-8,565E-03	-8,782E-03	-9,089E-03	-9,830E-03	-8,611E-03	-8,874E-03	-8,365E-03	-8,383E-03
730,98	-8,274E-03	-8,683E-03	-9,092E-03	-8,311E-03	-8,348E-03	-9,479E-03	-1,068E-02	-7,961E-03	-7,648E-03
739,82	-1,043E-02	-1,114E-02	-1,184E-02	-1,024E-02	-1,006E-02	-1,310E-02	-1,576E-02	-1,004E-02	-9,657E-03
748,65	-1,253E-02	-1,365E-02	-1,477E-02	-1,229E-02	-1,205E-02	-1,626E-02	-1,999E-02	-1,218E-02	-1,184E-02
757,48	-1,187E-02	-1,357E-02	-1,527E-02	-1,167E-02	-1,147E-02	-1,509E-02	-1,831E-02	-1,162E-02	-1,136E-02
766,32	-9,308E-03	-1,169E-02	-1,408E-02	-9,169E-03	-9,030E-03	-1,086E-02	-1,241E-02	-9,133E-03	-8,958E-03
775,15	-7,632E-03	-1,073E-02	-1,383E-02	-7,571E-03	-7,510E-03	-7,924E-03	-8,215E-03	-7,545E-03	-7,458E-03



783,98	-7,791E-03	-1,147E-02	-1,515E-02	-7,775E-03	-7,758E-03	-7,746E-03	-7,701E-03	-7,748E-03	-7,705E-03
792,82	-8,210E-03	-1,215E-02	-1,609E-02	-8,216E-03	-8,221E-03	-8,172E-03	-8,134E-03	-8,188E-03	-8,166E-03
801,65	-7,642E-03	-1,132E-02	-1,499E-02	-7,663E-03	-7,684E-03	-7,613E-03	-7,584E-03	-7,634E-03	-7,626E-03
810,48	-5,897E-03	-8,682E-03	-1,147E-02	-5,923E-03	-5,950E-03	-5,886E-03	-5,875E-03	-5,895E-03	-5,893E-03
819,32	-3,464E-03	-5,068E-03	-6,672E-03	-3,498E-03	-3,532E-03	-3,430E-03	-3,396E-03	-3,470E-03	-3,476E-03
828,15	-1,551E-03	-2,211E-03	-2,871E-03	-1,591E-03	-1,631E-03	-1,530E-03	-1,508E-03	-1,570E-03	-1,590E-03
836,98	-5,817E-04	-7,603E-04	-9,388E-04	-6,235E-04	-6,652E-04	-5,543E-04	-5,268E-04	-5,885E-04	-5,953E-04
845,82	-3,976E-04	-4,535E-04	-5,094E-04	-4,320E-04	-4,664E-04	-3,797E-04	-3,619E-04	-3,946E-04	-3,917E-04
854,65	-3,058E-04	-3,380E-04	-3,702E-04	-3,449E-04	-3,839E-04	-2,889E-04	-2,720E-04	-3,160E-04	-3,263E-04
863,48	-3,003E-04	-3,206E-04	-3,409E-04	-3,438E-04	-3,873E-04	-3,172E-04	-3,341E-04	-3,270E-04	-3,538E-04
872,32	-2,119E-04	-2,199E-04	-2,279E-04	-2,467E-04	-2,815E-04	-2,076E-04	-2,033E-04	-2,247E-04	-2,376E-04
881,15	-1,848E-04	-1,754E-04	-1,661E-04	-2,080E-04	-2,313E-04	-1,543E-04	-1,239E-04	-1,834E-04	-1,820E-04
889,98	-1,940E-04	-1,812E-04	-1,685E-04	-2,128E-04	-2,316E-04	-1,683E-04	-1,427E-04	-1,988E-04	-2,037E-04
898,82	-1,925E-04	-1,774E-04	-1,624E-04	-2,050E-04	-2,175E-04	-1,721E-04	-1,517E-04	-1,901E-04	-1,877E-04
907,65	-1,392E-04	-1,297E-04	-1,202E-04	-1,563E-04	-1,733E-04	-1,160E-04	-9,288E-05	-1,332E-04	-1,273E-04
916,48	-1,229E-04	-1,116E-04	-1,004E-04	-1,325E-04	-1,421E-04	-1,030E-04	-8,303E-05	-1,094E-04	-9,594E-05
925,32	-1,531E-04	-1,344E-04	-1,157E-04	-1,578E-04	-1,626E-04	-1,355E-04	-1,180E-04	-1,424E-04	-1,317E-04
934,15	-1,865E-04	-1,470E-04	-1,075E-04	-1,700E-04	-1,535E-04	-1,514E-04	-1,164E-04	-1,607E-04	-1,349E-04
942,98	-2,118E-04	-1,594E-04	-1,070E-04	-1,873E-04	-1,627E-04	-1,503E-04	-8,871E-05	-1,763E-04	-1,407E-04
951,82	-2,539E-04	-1,729E-04	-9,190E-05	-1,992E-04	-1,445E-04	-1,602E-04	-6,656E-05	-1,747E-04	-9,551E-05
960,65	-2,977E-04	-2,004E-04	-1,030E-04	-2,249E-04	-1,521E-04	-1,841E-04	-7,042E-05	-2,015E-04	-1,053E-04
969,48	-3,033E-04	-2,003E-04	-9,730E-05	-2,208E-04	-1,383E-04	-1,831E-04	-6,280E-05	-1,974E-04	-9,140E-05
978,32	-2,710E-04	-1,890E-04	-1,069E-04	-2,075E-04	-1,440E-04	-1,567E-04	-4,240E-05	-1,987E-04	-1,264E-04
987,15	-2,505E-04	-1,922E-04	-1,339E-04	-2,103E-04	-1,701E-04	-1,629E-04	-7,537E-05	-1,960E-04	-1,416E-04
995,98	-2,317E-04	-1,972E-04	-1,627E-04	-2,160E-04	-2,003E-04	-1,688E-04	-1,060E-04	-1,875E-04	-1,432E-04
1004,82	-2,468E-04	-2,277E-04	-2,087E-04	-2,436E-04	-2,404E-04	-2,041E-04	-1,614E-04	-2,080E-04	-1,692E-04
1013,65	-2,676E-04	-2,573E-04	-2,470E-04	-2,676E-04	-2,675E-04	-2,368E-04	-2,060E-04	-2,381E-04	-2,086E-04
1022,48	-2,330E-04	-2,287E-04	-2,244E-04	-2,339E-04	-2,348E-04	-1,964E-04	-1,597E-04	-2,108E-04	-1,885E-04
1031,32	-2,799E-04	-2,619E-04	-2,438E-04	-2,644E-04	-2,489E-04	-2,293E-04	-1,787E-04	-2,414E-04	-2,028E-04

1040,15	-2,546E-04	-2,425E-04	-2,304E-04	-2,382E-04	-2,218E-04	-1,898E-04	-1,250E-04	-2,135E-04	-1,725E-04
1048,98	-1,943E-04	-2,020E-04	-2,097E-04	-2,041E-04	-2,139E-04	-1,492E-04	-1,042E-04	-1,800E-04	-1,657E-04
1057,82	-1,449E-04	-1,479E-04	-1,510E-04	-1,568E-04	-1,688E-04	-1,118E-04	-7,872E-05	-1,368E-04	-1,287E-04
1066,65	-1,769E-04	-1,507E-04	-1,244E-04	-1,845E-04	-1,920E-04	-1,391E-04	-1,013E-04	-1,633E-04	-1,496E-04
1075,48	-1,980E-04	-1,665E-04	-1,351E-04	-2,066E-04	-2,152E-04	-1,555E-04	-1,131E-04	-1,726E-04	-1,471E-04
1084,32	-1,698E-04	-1,550E-04	-1,402E-04	-1,917E-04	-2,137E-04	-1,400E-04	-1,103E-04	-1,532E-04	-1,365E-04
1093,15	-1,998E-04	-1,820E-04	-1,642E-04	-2,182E-04	-2,367E-04	-1,713E-04	-1,429E-04	-1,901E-04	-1,804E-04
1101,98	-2,010E-04	-1,673E-04	-1,337E-04	-2,187E-04	-2,364E-04	-1,542E-04	-1,074E-04	-1,846E-04	-1,682E-04
1110,82	-2,083E-04	-1,723E-04	-1,362E-04	-2,392E-04	-2,701E-04	-1,731E-04	-1,379E-04	-1,904E-04	-1,725E-04
1119,65	-2,297E-04	-1,910E-04	-1,523E-04	-2,663E-04	-3,029E-04	-2,044E-04	-1,791E-04	-2,079E-04	-1,862E-04
1128,48	-2,289E-04	-1,940E-04	-1,591E-04	-2,722E-04	-3,155E-04	-1,926E-04	-1,562E-04	-2,245E-04	-2,201E-04
1137,32	-2,069E-04	-1,736E-04	-1,402E-04	-2,599E-04	-3,129E-04	-1,561E-04	-1,054E-04	-2,021E-04	-1,974E-04
1146,15	-2,601E-04	-2,269E-04	-1,938E-04	-3,239E-04	-3,876E-04	-2,111E-04	-1,620E-04	-2,654E-04	-2,706E-04
1154,98	-3,476E-04	-3,349E-04	-3,221E-04	-4,095E-04	-4,713E-04	-3,052E-04	-2,628E-04	-3,508E-04	-3,539E-04

Realizado por: Enríquez, Kerly.2022.

**Tabla 22-A:** TGA 10°Cmin<sup>-1</sup>

Temperature	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Mezcla 4	Mezcla 5	Mezcla 6	Mezcla 7	Mezcla 8	Mezcla 9
K	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg
298,15	14,5294	15,0176	15,5059	15,9970	17,4647	14,2660	14,0025	14,2306	13,9317
306,98	14,5415	15,0309	15,5203	16,0075	17,4736	14,2837	14,0260	14,2421	13,9428
315,82	14,5453	15,0279	15,5105	16,0018	17,4583	14,2764	14,0075	14,2373	13,9293
324,65	14,5303	15,0164	15,5025	15,9897	17,4491	14,2679	14,0054	14,2235	13,9167
333,48	14,5278	15,0103	15,4927	15,9828	17,4378	14,2591	13,9904	14,2181	13,9083
342,32	14,5246	15,0102	15,4957	15,9816	17,4386	14,2608	13,9971	14,2174	13,9103
351,15	14,5242	15,0050	15,4859	15,9756	17,4271	14,2563	13,9884	14,2136	13,9030
359,98	14,5201	15,0032	15,4863	15,9701	17,4201	14,2568	13,9935	14,2118	13,9035
368,82	14,5250	15,0055	15,4859	15,9723	17,4196	14,2577	13,9903	14,2124	13,8997
377,65	14,5206	15,0000	15,4794	15,9645	17,4083	14,2515	13,9825	14,2112	13,9018
386,48	14,5061	14,9886	15,4711	15,9511	17,3962	14,2362	13,9663	14,1975	13,8890
395,32	14,5149	14,9947	15,4744	15,9560	17,3970	14,2463	13,9777	14,2051	13,8953
404,15	14,5094	14,9890	15,4686	15,9492	17,3889	14,2374	13,9654	14,2013	13,8932
412,98	14,5224	14,9993	15,4762	15,9596	17,3967	14,2525	13,9827	14,2080	13,8936
421,82	14,5157	14,9942	15,4726	15,9539	17,3921	14,2492	13,9826	14,2064	13,8971
430,65	14,5096	14,9882	15,4668	15,9475	17,3854	14,2398	13,9701	14,2007	13,8917
439,48	14,5124	14,9889	15,4654	15,9484	17,3845	14,2467	13,9810	14,2023	13,8921
448,32	14,4990	14,9761	15,4532	15,9356	17,3722	14,2318	13,9647	14,1893	13,8796
457,15	14,5060	14,9794	15,4528	15,9389	17,3719	14,2390	13,9720	14,1922	13,8783
465,98	14,4937	14,9681	15,4426	15,9296	17,3655	14,2259	13,9582	14,1861	13,8786
474,82	14,4907	14,9619	15,4331	15,9225	17,3543	14,2206	13,9504	14,1792	13,8677
483,65	14,4851	14,9558	15,4265	15,9170	17,3489	14,2138	13,9425	14,1743	13,8636
492,48	14,4665	14,9394	15,4123	15,9010	17,3354	14,2013	13,9360	14,1596	13,8526

501,32	14,4571	14,9273	15,3975	15,8894	17,3217	14,1881	13,9191	14,1501	13,8430
510,15	14,4636	14,9350	15,4064	15,8998	17,3360	14,2015	13,9394	14,1604	13,8573
518,98	14,4263	14,8981	15,3698	15,8661	17,3059	14,1673	13,9083	14,1257	13,8251
527,82	14,4176	14,8935	15,3694	15,8643	17,3110	14,1671	13,9166	14,1274	13,8372
536,65	14,3758	14,8640	15,3522	15,8357	17,2955	14,1402	13,9046	14,0961	13,8165
545,48	14,3133	14,8233	15,3333	15,7969	17,2805	14,0984	13,8835	14,0592	13,8051
554,32	14,2357	14,7772	15,3188	15,7524	17,2690	14,0605	13,8854	14,0143	13,7929
563,15	14,1074	14,7065	15,3057	15,6839	17,2605	13,9915	13,8757	13,9506	13,7939
571,98	13,9201	14,6054	15,2908	15,5862	17,2523	13,8945	13,8689	13,8540	13,7879
580,82	13,7268	14,4923	15,2578	15,4752	17,2236	13,7845	13,8422	13,7404	13,7540
589,65	13,5665	14,4050	15,2436	15,3895	17,2125	13,6999	13,8334	13,6608	13,7551
598,48	13,4276	14,3237	15,2198	15,3121	17,1966	13,6217	13,8158	13,5802	13,7328
607,32	13,3400	14,2703	15,2006	15,2626	17,1851	13,5751	13,8101	13,5340	13,7279
616,15	12,6518	13,3096	13,9675	14,6039	16,5560	12,9161	13,1804	12,8775	13,1033
624,98	13,1956	14,1639	15,1322	15,1579	17,1203	13,4758	13,7559	13,4328	13,6700
633,82	13,1794	14,1442	15,1090	15,1446	17,1099	13,4625	13,7456	13,4224	13,6653
642,65	13,1361	14,0957	15,0552	15,0906	17,0451	13,4199	13,7036	13,3765	13,6169
651,48	13,0803	14,0374	14,9945	15,0233	16,9663	13,3693	13,6583	13,3201	13,5600
660,32	12,9541	13,9082	14,8622	14,8669	16,7796	13,2437	13,5333	13,1835	13,4129
669,15	12,7274	13,6730	14,6186	14,5593	16,3913	13,0210	13,3146	12,9360	13,1446
677,98	12,2247	13,1661	14,1076	13,8689	15,5131	12,5209	12,8170	12,3946	12,5646
686,82	11,3280	12,2636	13,1993	12,6340	13,9401	11,6235	11,9190	11,4283	11,5286
695,65	10,1732	11,1054	12,0376	11,0597	11,9461	10,4772	10,7812	10,1654	10,1576
704,48	8,9745	9,9066	10,8388	9,4649	9,9554	9,2867	9,5988	8,8344	8,6943
713,32	7,8787	8,8125	9,7463	8,0598	8,2409	8,2055	8,5323	7,6209	7,3630
722,15	7,1078	8,0431	8,9785	7,1204	7,1330	7,4421	7,7763	6,7950	6,4822
730,98	6,6109	7,5408	8,4707	6,5747	6,5386	6,9200	7,2291	6,2911	5,9713
739,82	6,1249	7,0341	7,9434	6,0744	6,0239	6,3420	6,5591	5,8136	5,5024
748,65	5,4862	6,3635	7,2408	5,4415	5,3968	5,5110	5,5358	5,1945	4,9028
757,48	4,7277	5,5524	6,3771	4,6939	4,6601	4,5036	4,2794	4,4528	4,1779
766,32	4,2128	4,9525	5,6923	4,1855	4,1583	3,8598	3,5069	3,9464	3,6801
775,15	3,9021	4,5184	5,1346	3,8776	3,8531	3,5405	3,1790	3,6442	3,3863
783,98	3,5621	4,0224	4,4826	3,5366	3,5110	3,2008	2,8395	3,3009	3,0396
792,82	3,1776	3,4665	3,7553	3,1559	3,1341	2,8201	2,4626	2,9222	2,6668
801,65	2,8090	2,9101	3,0112	2,7858	2,7626	2,4570	2,1050	2,5534	2,2978
810,48	2,4748	2,4126	2,3503	2,4498	2,4247	2,1208	1,7668	2,2184	1,9620
819,32	2,2545	2,0928	1,9312	2,2273	2,2001	1,8981	1,5416	1,9966	1,7388
828,15	2,1747	1,9929	1,8112	2,1498	2,1248	1,8265	1,4784	1,9237	1,6727
836,98	2,1788	1,9875	1,7961	2,1499	2,1210	1,8320	1,4852	1,9231	1,6674
845,82	2,1457	1,9511	1,7564	2,1148	2,0840	1,7951	1,4445	1,8887	1,6318
854,65	2,1321	1,9347	1,7373	2,0960	2,0599	1,7819	1,4317	1,8728	1,6135
863,48	2,1226	1,9279	1,7331	2,0890	2,0553	1,7804	1,4382	1,8678	1,6129
872,32	2,0915	1,8983	1,7050	2,0562	2,0210	1,7472	1,4030	1,8372	1,5829
881,15	2,0819	1,8871	1,6923	2,0416	2,0013	1,7375	1,3931	1,8234	1,5650
889,98	2,0773	1,8817	1,6861	2,0357	1,9940	1,7284	1,3795	1,8195	1,5617
898,82	2,0653	1,8686	1,6719	2,0211	1,9769	1,7142	1,3631	1,8030	1,5408
907,65	2,0569	1,8636	1,6703	2,0139	1,9709	1,7160	1,3751	1,7971	1,5374
916,48	2,0609	1,8679	1,6748	2,0173	1,9736	1,7241	1,3873	1,8036	1,5464
925,32	2,0497	1,8564	1,6631	2,0039	1,9580	1,7093	1,3688	1,7921	1,5345
934,15	2,0396	1,8460	1,6524	1,9928	1,9460	1,6976	1,3556	1,7787	1,5179
942,98	2,0332	1,8414	1,6496	1,9863	1,9394	1,6929	1,3527	1,7747	1,5162
951,82	2,0260	1,8398	1,6536	1,9846	1,9431	1,6922	1,3584	1,7734	1,5209
960,65	1,9960	1,8163	1,6366	1,9577	1,9194	1,6676	1,3392	1,7479	1,4999
969,48	1,9727	1,8011	1,6294	1,9415	1,9103	1,6532	1,3338	1,7341	1,4954
978,32	1,9648	1,7980	1,6311	1,9385	1,9121	1,6557	1,3467	1,7288	1,4928
987,15	1,9691	1,8024	1,6358	1,9399	1,9108	1,6644	1,3597	1,7347	1,5002
995,98	1,9339	1,7713	1,6088	1,9090	1,8840	1,6251	1,3164	1,6998	1,4657
1004,82	1,9416	1,7775	1,6135	1,9154	1,8893	1,6387	1,3359	1,7085	1,4755
1013,65	1,9116	1,7509	1,5903	1,8878	1,8641	1,6097	1,3077	1,6825	1,4534

1022,48	1,9074	1,7488	1,5902	1,8839	1,8604	1,6120	1,3165	1,6839	1,4604
1031,32	1,9020	1,7451	1,5882	1,8801	1,8581	1,6116	1,3213	1,6812	1,4603
1040,15	1,8842	1,7270	1,5697	1,8616	1,8390	1,5918	1,2994	1,6614	1,4385
1048,98	1,8745	1,7134	1,5522	1,8490	1,8234	1,5843	1,2941	1,6476	1,4207
1057,82	1,8715	1,7116	1,5517	1,8471	1,8226	1,5847	1,2979	1,6510	1,4305
1066,65	1,8584	1,7029	1,5474	1,8352	1,8120	1,5795	1,3006	1,6406	1,4227
1075,48	1,8409	1,6898	1,5388	1,8214	1,8020	1,5632	1,2856	1,6252	1,4096
1084,32	1,8435	1,6926	1,5416	1,8206	1,7977	1,5672	1,2909	1,6287	1,4139
1093,15	1,8280	1,6739	1,5197	1,8004	1,7729	1,5473	1,2667	1,6097	1,3913
1101,98	1,8123	1,6609	1,5095	1,7866	1,7609	1,5316	1,2508	1,5961	1,3798
1110,82	1,8046	1,6543	1,5039	1,7766	1,7487	1,5289	1,2532	1,5876	1,3707
1119,65	1,7957	1,6462	1,4966	1,7652	1,7347	1,5167	1,2376	1,5819	1,3681
1128,48	1,7862	1,6397	1,4933	1,7552	1,7242	1,5126	1,2390	1,5738	1,3615
1137,32	1,7716	1,6282	1,4847	1,7390	1,7064	1,5004	1,2291	1,5605	1,3494
1146,15	1,4647	1,3222	1,1797	1,2759	1,0872	1,1984	0,9321	1,2542	1,0437
1154,98	1,4526	1,3133	1,1741	1,2670	1,0815	1,1888	0,9251	1,2411	1,0296

Realizado por: Enríquez, Kerly.2022.

**Tabla 23-A:** DTG 10°Cmin<sup>-1</sup>

Temperature	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Mezcla 4	Mezcla 5	Mezcla 6	Mezcla 7	Mezcla 8	Mezcla 9
K	mgs <sup>-2</sup>	mgs <sup>-2</sup>	mgs <sup>-2</sup>	mgs <sup>-2</sup>	mgs <sup>-2</sup>	mgs <sup>-2</sup>	mgs <sup>-2</sup>	mgs <sup>-2</sup>	mgs <sup>-2</sup>
298,15	-9,22E-06	-3,84E-05	-6,76E-05	-6,92E-05	-1,29E-04	-2,01E-05	-3,10E-05	-5,12E-05	-9,32E-05
306,98	-7,87E-06	-3,71E-05	-6,63E-05	-6,78E-05	-1,28E-04	-1,87E-05	-2,96E-05	-4,92E-05	-9,05E-05
315,82	-2,20E-05	-4,99E-05	-7,78E-05	-8,20E-05	-1,42E-04	-3,37E-05	-4,54E-05	-6,43E-05	-1,07E-04
324,65	-7,71E-05	-8,91E-05	-1,01E-04	-1,19E-04	-1,60E-04	-8,04E-05	-8,37E-05	-8,52E-05	-9,32E-05
333,48	-8,92E-05	-1,01E-04	-1,12E-04	-1,25E-04	-1,61E-04	-8,68E-05	-8,44E-05	-1,00E-04	-1,12E-04
342,32	-5,33E-05	-6,39E-05	-7,45E-05	-8,82E-05	-1,23E-04	-5,32E-05	-5,30E-05	-5,48E-05	-5,64E-05
351,15	8,92E-06	-8,30E-06	-2,55E-05	-3,60E-05	-8,10E-05	8,62E-06	8,32E-06	4,36E-06	-2,09E-07
359,98	1,36E-05	-3,22E-06	-2,01E-05	-3,18E-05	-7,73E-05	8,38E-06	3,12E-06	1,70E-05	2,04E-05
368,82	-3,47E-06	-3,18E-05	-6,02E-05	-6,22E-05	-1,21E-04	-4,24E-05	-8,13E-05	-2,65E-05	-4,96E-05
377,65	-5,37E-05	-6,72E-05	-8,06E-05	-9,42E-05	-1,35E-04	-8,37E-05	-1,14E-04	-6,30E-05	-7,22E-05
386,48	-6,87E-05	-7,88E-05	-8,89E-05	-1,04E-04	-1,39E-04	-9,62E-05	-1,24E-04	-7,33E-05	-7,79E-05
395,32	-3,81E-05	-3,71E-05	-3,60E-05	-5,97E-05	-8,12E-05	-3,14E-05	-2,47E-05	-4,09E-05	-4,37E-05
404,15	-1,64E-05	-2,03E-05	-2,42E-05	-3,59E-05	-5,54E-05	-2,35E-06	1,16E-05	-1,29E-05	-9,52E-06
412,98	3,90E-05	2,06E-05	2,21E-06	1,11E-05	-1,69E-05	5,36E-05	6,82E-05	3,49E-05	3,08E-05
421,82	-4,15E-05	-4,89E-05	-5,63E-05	-5,48E-05	-6,80E-05	-3,20E-05	-2,24E-05	-2,73E-05	-1,31E-05
430,65	-4,57E-05	-6,48E-05	-8,39E-05	-6,43E-05	-8,28E-05	-3,11E-05	-1,65E-05	-5,24E-05	-5,90E-05
439,48	-1,05E-04	-1,14E-04	-1,23E-04	-1,10E-04	-1,16E-04	-9,92E-05	-9,38E-05	-9,62E-05	-8,79E-05
448,32	-1,02E-04	-1,24E-04	-1,47E-04	-1,11E-04	-1,20E-04	-1,01E-04	-9,92E-05	-9,93E-05	-9,68E-05
457,15	-8,57E-05	-1,13E-04	-1,41E-04	-9,42E-05	-1,03E-04	-9,96E-05	-1,13E-04	-8,29E-05	-8,01E-05
465,98	-9,89E-05	-1,35E-04	-1,72E-04	-1,27E-04	-1,55E-04	-1,15E-04	-1,31E-04	-1,15E-04	-1,31E-04

	05	04	04	04	04	04	04	04	04
474,82	-1,14E-04	-1,51E-04	-1,88E-04	-1,39E-04	-1,64E-04	-1,23E-04	-1,32E-04	-1,24E-04	-1,33E-04
483,65	-1,81E-04	-1,92E-04	-2,04E-04	-1,76E-04	-1,71E-04	-1,56E-04	-1,32E-04	-1,65E-04	-1,49E-04
492,48	-2,00E-04	-1,99E-04	-1,98E-04	-1,73E-04	-1,47E-04	-1,58E-04	-1,15E-04	-1,60E-04	-1,21E-04
501,32	-2,75E-04	-2,77E-04	-2,78E-04	-2,37E-04	-1,98E-04	-2,32E-04	-1,89E-04	-2,25E-04	-1,75E-04
510,15	-3,01E-04	-2,83E-04	-2,65E-04	-2,26E-04	-1,52E-04	-2,09E-04	-1,16E-04	-2,18E-04	-1,34E-04
518,98	-4,21E-04	-3,77E-04	-3,33E-04	-3,20E-04	-2,19E-04	-3,13E-04	-2,06E-04	-3,15E-04	-2,09E-04
527,82	-6,03E-04	-4,65E-04	-3,28E-04	-4,15E-04	-2,27E-04	-3,87E-04	-1,71E-04	-4,03E-04	-2,04E-04
536,65	-9,67E-04	-6,64E-04	-3,60E-04	-6,28E-04	-2,88E-04	-6,25E-04	-2,83E-04	-6,06E-04	-2,44E-04
545,48	-1,39E-03	-8,54E-04	-3,18E-04	-8,11E-04	-2,31E-04	-7,89E-04	-1,88E-04	-7,80E-04	-1,71E-04
554,32	-2,10E-03	-1,23E-03	-3,60E-04	-1,17E-03	-2,40E-04	-1,16E-03	-2,23E-04	-1,15E-03	-1,89E-04
563,15	-2,89E-03	-1,64E-03	-3,95E-04	-1,58E-03	-2,62E-04	-1,56E-03	-2,28E-04	-1,56E-03	-2,23E-04
571,98	-3,38E-03	-1,90E-03	-4,14E-04	-1,83E-03	-2,79E-04	-1,81E-03	-2,40E-04	-1,82E-03	-2,54E-04
580,82	-3,31E-03	-1,88E-03	-4,55E-04	-1,82E-03	-3,36E-04	-1,80E-03	-2,94E-04	-1,79E-03	-2,84E-04
589,65	-2,81E-03	-1,63E-03	-4,49E-04	-1,56E-03	-3,00E-04	-1,53E-03	-2,50E-04	-1,54E-03	-2,73E-04
598,48	-2,27E-03	-1,39E-03	-5,20E-04	-1,32E-03	-3,76E-04	-1,30E-03	-3,29E-04	-1,30E-03	-3,37E-04
607,32	-1,72E-03	-1,13E-03	-5,47E-04	-1,06E-03	-3,93E-04	-1,03E-03	-3,40E-04	-1,04E-03	-3,51E-04
616,15	-1,26E-03	-9,53E-04	-6,49E-04	-8,82E-04	-5,07E-04	-8,50E-04	-4,44E-04	-8,46E-04	-4,35E-04
624,98	-8,68E-04	-7,82E-04	-6,96E-04	-7,23E-04	-5,78E-04	-6,41E-04	-4,14E-04	-6,89E-04	-5,11E-04
633,82	-1,15E-03	-1,20E-03	-1,24E-03	-1,31E-03	-1,48E-03	-1,06E-03	-9,73E-04	-1,16E-03	-1,16E-03
642,65	-1,87E-03	-1,97E-03	-2,06E-03	-2,36E-03	-2,84E-03	-1,83E-03	-1,79E-03	-2,01E-03	-2,14E-03
651,48	-3,65E-03	-3,77E-03	-3,90E-03	-4,86E-03	-6,06E-03	-3,63E-03	-3,62E-03	-3,97E-03	-4,28E-03
660,32	-7,36E-03	-7,50E-03	-7,64E-03	-1,01E-02	-1,29E-02	-7,33E-03	-7,30E-03	-7,97E-03	-8,58E-03
669,15	-1,29E-02	-1,31E-02	-1,33E-02	-1,79E-02	-2,28E-02	-1,29E-02	-1,29E-02	-1,40E-02	-1,51E-02
677,98	-1,84E-02	-1,85E-02	-1,87E-02	-2,53E-02	-3,21E-02	-1,83E-02	-1,83E-02	-2,01E-02	-2,19E-02
686,82	-2,13E-02	-2,14E-02	-2,15E-02	-2,88E-02	-3,63E-02	-2,12E-02	-2,11E-02	-2,36E-02	-2,58E-02
695,65	-2,06E-02	-2,07E-02	-2,08E-02	-2,72E-02	-3,38E-02	-2,04E-02	-2,03E-02	-2,29E-02	-2,52E-02
704,48	-1,66E-02	-1,66E-02	-1,67E-02	-2,12E-02	-2,58E-02	-1,64E-02	-1,62E-02	-1,83E-02	-2,00E-02
713,32	-1,16E-02	-1,17E-02	-1,18E-02	-1,39E-02	-1,63E-02	-1,15E-02	-1,14E-02	-1,23E-02	-1,31E-02
722,15	-8,35E-03	-8,57E-03	-8,78E-03	-9,09E-03	-9,83E-03	-8,61E-03	-8,87E-03	-8,37E-03	-8,38E-03
730,98	-8,27E-03	-8,68E-03	-9,09E-03	-8,31E-03	-8,35E-03	-9,48E-03	-1,07E-02	-7,96E-03	-7,65E-03
739,82	-1,04E-02	-1,11E-02	-1,18E-02	-1,02E-02	-1,01E-02	-1,31E-02	-1,58E-02	-1,00E-02	-9,66E-03
748,65	-1,25E-02	-1,36E-02	-1,48E-02	-1,23E-02	-1,21E-02	-1,63E-02	-2,00E-02	-1,22E-02	-1,18E-02

757,48	-1,19E-02	-1,36E-02	-1,53E-02	-1,17E-02	-1,15E-02	-1,51E-02	-1,83E-02	-1,16E-02	-1,14E-02
766,32	-9,31E-03	-1,17E-02	-1,41E-02	-9,17E-03	-9,03E-03	-1,09E-02	-1,24E-02	-9,13E-03	-8,96E-03
775,15	-7,63E-03	-1,07E-02	-1,38E-02	-7,57E-03	-7,51E-03	-7,92E-03	-8,22E-03	-7,54E-03	-7,46E-03
783,98	-7,79E-03	-1,15E-02	-1,51E-02	-7,77E-03	-7,76E-03	-7,75E-03	-7,70E-03	-7,75E-03	-7,71E-03
792,82	-8,21E-03	-1,22E-02	-1,61E-02	-8,22E-03	-8,22E-03	-8,17E-03	-8,13E-03	-8,19E-03	-8,17E-03
801,65	-7,64E-03	-1,13E-02	-1,50E-02	-7,66E-03	-7,68E-03	-7,61E-03	-7,58E-03	-7,63E-03	-7,63E-03
810,48	-5,90E-03	-8,68E-03	-1,15E-02	-5,92E-03	-5,95E-03	-5,89E-03	-5,88E-03	-5,89E-03	-5,89E-03
819,32	-3,46E-03	-5,07E-03	-6,67E-03	-3,50E-03	-3,53E-03	-3,43E-03	-3,40E-03	-3,47E-03	-3,48E-03
828,15	-1,55E-03	-2,21E-03	-2,87E-03	-1,59E-03	-1,63E-03	-1,53E-03	-1,51E-03	-1,57E-03	-1,59E-03
836,98	-5,82E-04	-7,60E-04	-9,39E-04	-6,23E-04	-6,65E-04	-5,54E-04	-5,27E-04	-5,89E-04	-5,95E-04
845,82	-3,98E-04	-4,53E-04	-5,09E-04	-4,32E-04	-4,66E-04	-3,80E-04	-3,62E-04	-3,95E-04	-3,92E-04
854,65	-3,06E-04	-3,38E-04	-3,70E-04	-3,45E-04	-3,84E-04	-2,89E-04	-2,72E-04	-3,16E-04	-3,26E-04
863,48	-3,00E-04	-3,21E-04	-3,41E-04	-3,44E-04	-3,87E-04	-3,17E-04	-3,34E-04	-3,27E-04	-3,54E-04
872,32	-2,12E-04	-2,20E-04	-2,28E-04	-2,47E-04	-2,82E-04	-2,08E-04	-2,03E-04	-2,25E-04	-2,38E-04
881,15	-1,85E-04	-1,75E-04	-1,66E-04	-2,08E-04	-2,31E-04	-1,54E-04	-1,24E-04	-1,83E-04	-1,82E-04
889,98	-1,94E-04	-1,81E-04	-1,68E-04	-2,13E-04	-2,32E-04	-1,68E-04	-1,43E-04	-1,99E-04	-2,04E-04
898,82	-1,92E-04	-1,77E-04	-1,62E-04	-2,05E-04	-2,18E-04	-1,72E-04	-1,52E-04	-1,90E-04	-1,88E-04
907,65	-1,39E-04	-1,30E-04	-1,20E-04	-1,56E-04	-1,73E-04	-1,16E-04	-9,29E-05	-1,33E-04	-1,27E-04
916,48	-1,23E-04	-1,12E-04	-1,00E-04	-1,33E-04	-1,42E-04	-1,03E-04	-8,30E-05	-1,09E-04	-9,59E-05
925,32	-1,53E-04	-1,34E-04	-1,16E-04	-1,58E-04	-1,63E-04	-1,36E-04	-1,18E-04	-1,42E-04	-1,32E-04
934,15	-1,87E-04	-1,47E-04	-1,07E-04	-1,70E-04	-1,54E-04	-1,51E-04	-1,16E-04	-1,61E-04	-1,35E-04
942,98	-2,12E-04	-1,59E-04	-1,07E-04	-1,87E-04	-1,63E-04	-1,50E-04	-8,87E-05	-1,76E-04	-1,41E-04
951,82	-2,54E-04	-1,73E-04	-9,19E-05	-1,99E-04	-1,45E-04	-1,60E-04	-6,66E-05	-1,75E-04	-9,55E-05
960,65	-2,98E-04	-2,00E-04	-1,03E-04	-2,25E-04	-1,52E-04	-1,84E-04	-7,04E-05	-2,02E-04	-1,05E-04
969,48	-3,03E-04	-2,00E-04	-9,73E-05	-2,21E-04	-1,38E-04	-1,83E-04	-6,28E-05	-1,97E-04	-9,14E-05
978,32	-2,71E-04	-1,89E-04	-1,07E-04	-2,08E-04	-1,44E-04	-1,57E-04	-4,24E-05	-1,99E-04	-1,26E-04
987,15	-2,50E-04	-1,92E-04	-1,34E-04	-2,10E-04	-1,70E-04	-1,63E-04	-7,54E-05	-1,96E-04	-1,42E-04
995,98	-2,32E-04	-1,97E-04	-1,63E-04	-2,16E-04	-2,00E-04	-1,69E-04	-1,06E-04	-1,87E-04	-1,43E-04
1004,82	-2,47E-04	-2,28E-04	-2,09E-04	-2,44E-04	-2,40E-04	-2,04E-04	-1,61E-04	-2,08E-04	-1,69E-04
1013,65	-2,68E-04	-2,57E-04	-2,47E-04	-2,68E-04	-2,68E-04	-2,37E-04	-2,06E-04	-2,38E-04	-2,09E-04
1022,48	-2,33E-04	-2,29E-04	-2,24E-04	-2,34E-04	-2,35E-04	-1,96E-04	-1,60E-04	-2,11E-04	-1,89E-04
1031,32	-2,80E-04	-2,62E-04	-2,44E-04	-2,64E-04	-2,49E-04	-2,29E-04	-1,79E-04	-2,41E-04	-2,03E-04
1040,15	-2,55E-04	-2,43E-04	-2,30E-04	-2,38E-04	-2,22E-04	-1,90E-04	-1,25E-04	-2,14E-04	-1,72E-04

1048,98	-1,94E-04	-2,02E-04	-2,10E-04	-2,04E-04	-2,14E-04	-1,49E-04	-1,04E-04	-1,80E-04	-1,66E-04
1057,82	-1,45E-04	-1,48E-04	-1,51E-04	-1,57E-04	-1,69E-04	-1,12E-04	-7,87E-05	-1,37E-04	-1,29E-04
1066,65	-1,77E-04	-1,51E-04	-1,24E-04	-1,84E-04	-1,92E-04	-1,39E-04	-1,01E-04	-1,63E-04	-1,50E-04
1075,48	-1,98E-04	-1,67E-04	-1,35E-04	-2,07E-04	-2,15E-04	-1,56E-04	-1,13E-04	-1,73E-04	-1,47E-04
1084,32	-1,70E-04	-1,55E-04	-1,40E-04	-1,92E-04	-2,14E-04	-1,40E-04	-1,10E-04	-1,53E-04	-1,37E-04
1093,15	-2,00E-04	-1,82E-04	-1,64E-04	-2,18E-04	-2,37E-04	-1,71E-04	-1,43E-04	-1,90E-04	-1,80E-04
1101,98	-2,01E-04	-1,67E-04	-1,34E-04	-2,19E-04	-2,36E-04	-1,54E-04	-1,07E-04	-1,85E-04	-1,68E-04
1110,82	-2,08E-04	-1,72E-04	-1,36E-04	-2,39E-04	-2,70E-04	-1,73E-04	-1,38E-04	-1,90E-04	-1,73E-04
1119,65	-2,30E-04	-1,91E-04	-1,52E-04	-2,66E-04	-3,03E-04	-2,04E-04	-1,79E-04	-2,08E-04	-1,86E-04
1128,48	-2,29E-04	-1,94E-04	-1,59E-04	-2,72E-04	-3,16E-04	-1,93E-04	-1,56E-04	-2,24E-04	-2,20E-04
1137,32	-2,07E-04	-1,74E-04	-1,40E-04	-2,60E-04	-3,13E-04	-1,56E-04	-1,05E-04	-2,02E-04	-1,97E-04
1146,15	-2,60E-04	-2,27E-04	-1,94E-04	-3,24E-04	-3,88E-04	-2,11E-04	-1,62E-04	-2,65E-04	-2,71E-04
1154,98	-3,48E-04	-3,35E-04	-3,22E-04	-4,09E-04	-4,71E-04	-3,05E-04	-2,63E-04	-3,51E-04	-3,54E-04

Realizado por: Enríquez, Kerly.2022.

Tabla 24-A:TGA 15°Cmin<sup>-1</sup>

Temperature K	Mezcla 1 Mg	Mezcla 2 mg	Mezcla 3 mg	Mezcla 4 mg	Mezcla 5 mg	Mezcla 6 mg	Mezcla 7 mg	Mezcla 8 Mg	Mezcla 9 mg
298,15	12,3173	12,6044	12,89153	12,55377	12,79021	12,03546	11,75360	12,1573	11,9973
306,98	12,3358	12,6238	12,91173	12,57392	12,81195	12,05370	11,77150	12,1772	12,0186
315,82	12,3222	12,6096	12,89704	12,55922	12,79622	12,03681	11,75140	12,1617	12,0013
324,65	12,3304	12,6149	12,89938	12,56273	12,79498	12,04464	11,75880	12,1677	12,0050
333,48	12,3352	12,6176	12,90014	12,56839	12,80158	12,05027	11,76534	12,1714	12,0077
342,32	12,3293	12,6155	12,90184	12,56637	12,80340	12,04814	11,76694	12,1676	12,006
351,15	12,3246	12,6057	12,88675	12,55511	12,78555	12,03628	11,74788	12,1579	11,9912
359,98	12,3170	12,6008	12,88466	12,54964	12,78228	12,02986	11,74272	12,1531	11,9893
368,82	12,3313	12,6137	12,89614	12,56287	12,79436	12,04646	11,76154	12,1670	12,0026
377,65	12,3246	12,6061	12,88763	12,55240	12,78015	12,03830	11,75194	12,1608	11,9971
386,48	12,3240	12,6054	12,88685	12,55177	12,77951	12,03459	11,74516	12,1563	11,9887
395,32	12,3224	12,6042	12,88610	12,54916	12,77590	12,03528	11,74813	12,1578	11,9932
404,15	12,3215	12,6040	12,88648	12,54962	12,77766	12,03277	11,74397	12,1564	11,9912
412,98	12,3351	12,6142	12,89333	12,56190	12,78865	12,04623	11,75730	12,1660	11,9968
421,82	12,3276	12,6081	12,88876	12,55434	12,78106	12,03928	11,75094	12,1605	11,9935
430,65	12,3393	12,6177	12,89608	12,56362	12,78788	12,05126	11,76316	12,1713	12,0032
439,48	12,3199	12,6002	12,88050	12,54549	12,77106	12,03234	11,74477	12,1553	11,9907
448,32	12,3244	12,6044	12,88438	12,55192	12,77938	12,03702	11,74958	12,1570	11,9895
457,15	12,3341	12,6122	12,89041	12,55992	12,78567	12,05187	11,76957	12,1669	11,9997
465,98	12,3311	12,6070	12,88300	12,55608	12,78106	12,04208	11,75306	12,1604	11,9898
474,82	12,3163	12,5952	12,87418	12,54149	12,76668	12,03202	11,74774	12,1498	11,9834
483,65	12,3128	12,5932	12,87365	12,54203	12,77121	12,03001	11,74716	12,1502	11,9877
492,48	12,3224	12,5985	12,87467	12,54902	12,77557	12,03522	11,74798	12,1566	11,9908
501,32	12,3200	12,5953	12,87059	12,54750	12,77499	12,03811	11,75622	12,1538	11,9876
510,15	12,3014	12,5813	12,86131	12,53237	12,76327	12,02094	11,74040	12,1390	11,9765
518,98	12,2928	12,5730	12,85316	12,52653	12,76020	12,01666	11,74046	12,1306	11,9683
527,82	12,2691	12,5565	12,84386	12,50975	12,75032	12,00090	11,73261	12,1172	11,9653
536,65	12,2286	12,5307	12,83285	12,48569	12,74277	11,97109	11,71358	12,0933	11,9581
545,48	12,1841	12,5072	12,83030	12,46829	12,75244	11,95908	11,73402	12,0740	11,9639
554,32	12,0900	12,4502	12,81048	12,41019	12,73034	11,89789	11,70575	12,0172	11,9444

563,15	11,9616	12,3828	12,80394	12,34440	12,72714	11,83681	11,71196	11,9531	11,9446
571,98	11,7871	12,2901	12,79319	12,25310	12,71909	11,74498	11,70284	11,8605	11,9339
580,82	11,5927	12,1870	12,78146	12,15334	12,71396	11,64274	11,69276	11,7629	11,9331
589,65	11,4264	12,0981	12,76985	12,06458	12,70275	11,55825	11,69009	11,6726	11,9189
598,48	11,2876	12,0276	12,76775	12,00149	12,71535	11,48997	11,69230	11,6088	11,9300
607,32	11,1708	11,9539	12,73712	11,92637	12,68192	11,41599	11,66116	11,5314	11,8920
616,15	11,1132	11,9270	12,74093	11,90391	12,69463	11,39645	11,67970	11,5104	11,9077
624,98	11,06844	11,8919	12,71548	11,86706	12,66568	11,36060	11,65276	11,4768	11,8851
633,82	11,041	11,8670	12,69215	11,84282	12,64371	11,34008	11,63824	11,4542	11,8666
642,65	11,0199	11,8422	12,66459	11,81361	12,60733	11,31885	11,61780	11,4280	11,8362
651,48	10,9523	11,7758	12,59933	11,73783	12,52327	11,25291	11,55344	11,3582	11,7641
660,32	10,8480	11,6707	12,49351	11,60547	12,36287	11,15163	11,45519	11,2369	11,6257
669,15	10,6464	11,4685	12,29069	11,34230	12,03813	10,95366	11,26084	11,0134	11,3803
677,98	10,2121	11,0352	11,85843	10,76452	11,31691	10,51935	10,82656	10,5268	10,8415
686,82	9,5739	10,4018	11,22980	9,92861	10,28331	9,89111	10,20831	9,8047	10,0355
695,65	8,7474	9,5833	10,41924	8,88408	9,02075	9,06978	9,39215	8,837	8,9268
704,48	7,8877	8,7375	9,58740	7,83896	7,79020	8,22493	8,56213	7,8170	7,7462
713,32	7,0984	7,9685	8,83858	6,90096	6,70350	7,44700	7,79557	6,8973	6,6962
722,15	6,5640	7,4565	8,34902	6,30024	6,03641	6,91613	7,26820	6,3123	6,0605
730,98	6,1884	7,0947	8,00095	5,92106	5,65368	6,49735	6,80625	5,9298	5,67128
739,82	5,7303	6,6411	7,55197	5,47277	5,21518	5,91532	6,10028	5,4789	5,2275
748,65	5,0681	5,9774	6,88684	4,82551	4,58291	5,01538	4,96264	4,8342	4,6003
757,48	4,4364	5,3290	6,22177	4,20682	3,97724	4,14389	3,85138	4,2147	3,9930
766,32	4,1404	4,9993	5,85828	3,91857	3,69674	3,77687	3,41334	3,9261	3,7119
775,15	3,9863	4,7911	5,59597	3,77086	3,55536	3,62333	3,26031	3,7826	3,5789
783,98	3,8022	4,5226	5,24317	3,58879	3,37537	3,44300	3,08378	3,5972	3,3923
792,82	3,5504	4,1523	4,75415	3,33633	3,12220	3,19457	2,83868	3,3471	3,1437
801,65	3,1963	3,6375	4,07868	2,98630	2,77623	2,84504	2,49371	2,9928	2,7893
810,48	2,7747	3,0010	3,22732	2,56087	2,34699	2,41952	2,06428	2,5714	2,3682
819,32	2,2996	2,2988	2,29799	2,08638	1,87315	1,94807	1,59652	2,095	1,8919
828,15	1,9282	1,7508	1,57337	1,70945	1,49067	1,57808	1,22792	1,7228	1,5175
836,98	1,7753	1,5273	1,27927	1,55855	1,34174	1,42175	1,06814	1,5699	1,3645
845,82	1,7541	1,4955	1,23693	1,53620	1,31827	1,40699	1,05985	1,5478	1,3416
854,65	1,7378	1,4797	1,22157	1,51926	1,30064	1,38689	1,03591	1,5288	1,3197
863,48	1,7307	1,4747	1,21883	1,51144	1,29214	1,38703	1,04331	1,5251	1,3195
872,32	1,7052	1,4485	1,19197	1,48127	1,25734	1,35595	1,00670	1,4919	1,2786
881,15	1,7085	1,4536	1,19876	1,48720	1,26583	1,36324	1,01791	1,4994	1,2903
889,98	1,6928	1,4380	1,18331	1,46815	1,24346	1,34784	1,00283	1,4808	1,2689
898,82	1,6974	1,4409	1,18447	1,47136	1,24525	1,35393	1,01038	1,4808	1,2642
907,65	1,6724	1,4189	1,16540	1,44543	1,21838	1,32834	0,98420	1,4581	1,2438
916,48	1,6791	1,4238	1,16846	1,45073	1,22227	1,33353	0,98786	1,4635	1,2479
925,32	1,6655	1,4126	1,15971	1,43700	1,20848	1,32346	0,98140	1,4517	1,2379
934,15	1,6767	1,4226	1,16850	1,44780	1,21888	1,33563	0,99454	1,4606	1,2445
942,98	1,6484	1,3992	1,15004	1,42162	1,19479	1,30917	0,96989	1,4374	1,2264
951,82	1,6356	1,3920	1,14845	1,41477	1,19394	1,30141	0,96721	1,4291	1,2226
960,65	1,6233	1,3847	1,14616	1,40530	1,18723	1,29752	0,97167	1,4227	1,2220
969,48	1,6028	1,3693	1,13582	1,38727	1,17167	1,28157	0,96027	1,4045	1,2062
978,32	1,5974	1,3677	1,13798	1,38636	1,17526	1,27989	0,96232	1,4039	1,2104
987,15	1,5769	1,3516	1,12640	1,36950	1,16202	1,26289	0,94880	1,3883	1,1997
995,98	1,5820	1,3565	1,13106	1,37395	1,16587	1,27248	0,96293	1,3908	1,1997
1004,82	1,5696	1,3470	1,12435	1,36622	1,16277	1,26014	0,95060	1,3848	1,2000
1013,65	1,5655	1,3446	1,12372	1,36178	1,15804	1,26129	0,95707	1,3794	1,1933
1022,48	1,5509	1,3308	1,11085	1,34816	1,14539	1,24958	0,94824	1,3673	1,1837
1031,32	1,5384	1,3216	1,10482	1,34064	1,14285	1,23914	0,93985	1,3564	1,1743
1040,15	1,5314	1,3131	1,09489	1,33216	1,13290	1,23662	0,94182	1,3491	1,1669
1048,98	1,5259	1,3087	1,09143	1,32715	1,12831	1,23184	0,93770	1,3445	1,1631
1057,82	1,5187	1,3023	1,08591	1,32404	1,12938	1,22802	0,93734	1,3387	1,1588
1066,65	1,4962	1,2805	1,06479	1,30472	1,11316	1,20811	0,91995	1,3225	1,1487
1075,48	1,4962	1,2801	1,06401	1,30144	1,10665	1,21161	0,92700	1,3208	1,1453
1084,32	1,4978	1,2810	1,06431	1,30364	1,10941	1,21312	0,92837	1,3228	1,1478
1093,15	1,4839	1,2657	1,04749	1,29014	1,09629	1,20343	0,92287	1,3100	1,1362
1101,98	1,4846	1,2681	1,05175	1,29319	1,10175	1,21048	0,93633	1,3132	1,1419
1110,82	1,4777	1,2599	1,04207	1,28209	1,08644	1,19788	0,91802	1,3028	1,1279
1119,65	1,4694	1,2545	1,03955	1,27704	1,08458	1,19294	0,91638	1,2983	1,1271



1128,48	1,4589	1,2462	1,03362	1,26386	1,06880	1,18713	0,91534	1,2856	1,1124
1137,32	1,4644	1,2528	1,04131	1,27424	1,08408	1,19193	0,91945	1,2928	1,1213

Realizado por: Enríquez, Kerly.2022.

**Tabla 25-A:** DTG 15°Cmin<sup>-1</sup>

Temperature	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Mezcla 4	Mezcla 5	Mezcla 6	Mezcla 7	Mezcla 8	Mezcla 9
K	mgs <sup>-1</sup>	mgs <sup>-1</sup>	mgs <sup>-1</sup>	mgs <sup>-1</sup>	mgs <sup>-1</sup>	mgs <sup>-1</sup>	mgs <sup>-1</sup>	mgs <sup>-1</sup>	mgs <sup>-1</sup>
298,15	-1,630E-05	-4,073E-05	-6,515E-05	-4,073E-05	-6,515E-05	-1,462E-05	-1,295E-05	-4,777E-05	-7,924E-05
306,98	-1,630E-05	-4,073E-05	-6,515E-05	-4,073E-05	-6,515E-05	-1,462E-05	-1,295E-05	-4,777E-05	-7,924E-05
315,82	-1,630E-05	-4,073E-05	-6,515E-05	-4,073E-05	-6,515E-05	-1,462E-05	-1,295E-05	-4,777E-05	-7,924E-05
324,65	-1,833E-05	-4,232E-05	-6,630E-05	-4,232E-05	-6,630E-05	-1,604E-05	-1,375E-05	-5,011E-05	-8,189E-05
333,48	-3,596E-05	-6,243E-05	-8,890E-05	-6,243E-05	-8,890E-05	-3,963E-05	-4,329E-05	-6,537E-05	-9,478E-05
342,32	-3,126E-05	-5,303E-05	-7,481E-05	-5,303E-05	-7,481E-05	-4,510E-05	-5,894E-05	-5,117E-05	-7,107E-05
351,15	-2,721E-06	-2,517E-05	-4,761E-05	-2,517E-05	-4,761E-05	-2,503E-05	-4,733E-05	-1,692E-05	-3,112E-05
359,98	3,761E-05	1,805E-05	-1,505E-06	1,805E-05	-1,505E-06	8,993E-06	-1,963E-05	2,085E-05	4,079E-06
368,82	1,710E-05	8,271E-06	-5,577E-07	8,271E-06	-5,577E-07	-2,536E-06	-2,217E-05	7,632E-06	-1,836E-06
377,65	3,638E-05	3,327E-05	3,016E-05	3,327E-05	3,016E-05	2,651E-05	1,664E-05	2,908E-05	2,179E-05
386,48	6,769E-06	5,199E-06	3,630E-06	5,199E-06	3,630E-06	-5,888E-06	-1,855E-05	-3,593E-06	-1,396E-05
395,32	3,270E-05	2,404E-05	1,537E-05	2,404E-05	1,537E-05	3,112E-05	2,954E-05	1,219E-05	-8,316E-06
404,15	4,778E-05	3,670E-05	2,562E-05	3,670E-05	2,562E-05	5,271E-05	5,764E-05	2,704E-05	6,293E-06
412,98	5,309E-05	3,531E-05	1,752E-05	3,531E-05	1,752E-05	6,173E-05	7,037E-05	4,467E-05	3,624E-05
421,82	1,453E-05	6,611E-06	-1,312E-06	6,611E-06	-1,312E-06	2,968E-05	4,483E-05	1,893E-05	2,333E-05
430,65	-3,255E-05	-4,219E-05	-5,182E-05	-4,219E-05	-5,182E-05	-2,053E-05	-8,500E-06	-2,310E-05	-1,365E-05
439,48	-2,683E-05	-3,847E-05	-5,011E-05	-3,847E-05	-5,011E-05	-8,789E-06	9,256E-06	-1,601E-05	-5,193E-06
448,32	-6,270E-05	-7,727E-05	-9,185E-05	-7,727E-05	-9,185E-05	-5,007E-05	-3,744E-05	-6,335E-05	-6,399E-05
457,15	-8,403E-05	-9,860E-05	-1,132E-04	-9,860E-05	-1,132E-04	-7,100E-05	-5,797E-05	-8,451E-05	-8,498E-05
465,98	-8,996E-05	-1,035E-04	-1,169E-04	-1,035E-04	-1,169E-04	-8,802E-05	-8,607E-05	-8,272E-05	-7,548E-05
474,82	-1,354E-04	-1,507E-04	-1,660E-04	-1,507E-04	-1,660E-04	-1,315E-04	-1,275E-04	-1,226E-04	-1,098E-04
483,65	-1,492E-04	-1,644E-04	-1,795E-04	-1,644E-04	-1,795E-04	-1,410E-04	-1,327E-04	-1,402E-04	-1,313E-04
492,48	-2,030E-04	-2,108E-04	-2,187E-04	-2,108E-04	-2,187E-04	-1,841E-04	-1,652E-04	-1,785E-04	-1,540E-04
501,32	-2,798E-04	-2,653E-04	-2,508E-04	-2,653E-04	-2,508E-04	-2,193E-04	-1,589E-04	-2,429E-04	-2,060E-04
510,15	-4,329E-04	-3,552E-04	-2,774E-04	-3,552E-04	-2,774E-04	-3,086E-04	-1,843E-04	-3,305E-04	-2,281E-04
518,98	-6,770E-04	-5,117E-04	-3,464E-04	-5,117E-04	-3,464E-04	-4,668E-04	-2,566E-04	-4,657E-04	-2,544E-04
527,82	-9,892E-04	-6,775E-04	-3,659E-04	-6,775E-04	-3,659E-04	-6,114E-04	-2,335E-04	-6,194E-04	-2,497E-04

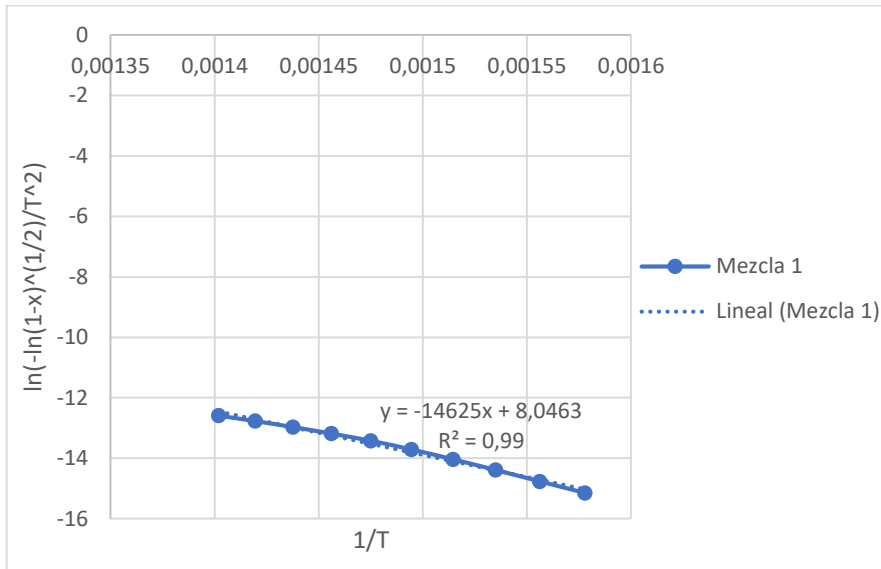
536,65	-1,581E-03	-1,022E-03	-4,621E-04	-1,022E-03	-4,621E-04	-9,596E-04	-3,384E-04	-9,512E-04	-3,215E-04
545,48	-2,316E-03	-1,388E-03	-4,603E-04	-1,388E-03	-4,603E-04	-1,315E-03	-3,150E-04	-1,313E-03	-3,104E-04
554,32	-3,252E-03	-1,862E-03	-4,723E-04	-1,862E-03	-4,723E-04	-1,770E-03	-2,887E-04	-1,788E-03	-3,251E-04
563,15	-4,192E-03	-2,359E-03	-5,262E-04	-2,359E-03	-5,262E-04	-2,291E-03	-3,887E-04	-2,291E-03	-3,892E-04
571,98	-4,740E-03	-2,620E-03	-4,991E-04	-2,620E-03	-4,991E-04	-2,547E-03	-3,536E-04	-2,553E-03	-3,649E-04
580,82	-4,839E-03	-2,690E-03	-5,422E-04	-2,690E-03	-5,422E-04	-2,622E-03	-4,056E-04	-2,616E-03	-3,934E-04
589,65	-4,414E-03	-2,493E-03	-5,723E-04	-2,493E-03	-5,723E-04	-2,430E-03	-4,459E-04	-2,419E-03	-4,249E-04
598,48	-3,571E-03	-2,066E-03	-5,603E-04	-2,066E-03	-5,603E-04	-1,984E-03	-3,976E-04	-1,986E-03	-4,020E-04
607,32	-2,651E-03	-1,613E-03	-5,755E-04	-1,613E-03	-5,755E-04	-1,524E-03	-3,967E-04	-1,535E-03	-4,195E-04
616,15	-1,834E-03	-1,231E-03	-6,279E-04	-1,231E-03	-6,279E-04	-1,143E-03	-4,515E-04	-1,162E-03	-4,899E-04
624,98	-1,196E-03	-9,235E-04	-6,508E-04	-9,235E-04	-6,508E-04	-8,199E-04	-4,435E-04	-8,650E-04	-5,338E-04
633,82	-9,552E-04	-8,845E-04	-8,137E-04	-8,845E-04	-8,137E-04	-7,870E-04	-6,188E-04	-8,765E-04	-7,979E-04
642,65	-1,038E-03	-1,059E-03	-1,079E-03	-1,059E-03	-1,079E-03	-9,558E-04	-8,733E-04	-1,159E-03	-1,281E-03
651,48	-1,443E-03	-1,485E-03	-1,527E-03	-1,485E-03	-1,527E-03	-1,380E-03	-1,318E-03	-1,777E-03	-2,112E-03
660,32	-2,282E-03	-2,309E-03	-2,336E-03	-2,309E-03	-2,336E-03	-2,206E-03	-2,129E-03	-2,956E-03	-3,629E-03
669,15	-3,728E-03	-3,721E-03	-3,714E-03	-3,721E-03	-3,714E-03	-3,622E-03	-3,516E-03	-4,973E-03	-6,217E-03
677,98	-5,921E-03	-5,846E-03	-5,772E-03	-5,846E-03	-5,772E-03	-5,764E-03	-5,607E-03	-7,991E-03	-1,006E-02
686,82	-8,470E-03	-8,303E-03	-8,135E-03	-8,303E-03	-8,135E-03	-8,239E-03	-8,009E-03	-1,144E-02	-1,440E-02
695,65	-1,060E-02	-1,032E-02	-1,004E-02	-1,032E-02	-1,004E-02	-1,034E-02	-1,007E-02	-1,410E-02	-1,760E-02
704,48	-1,156E-02	-1,119E-02	-1,081E-02	-1,119E-02	-1,081E-02	-1,136E-02	-1,116E-02	-1,487E-02	-1,817E-02
713,32	-1,156E-02	-1,115E-02	-1,073E-02	-1,115E-02	-1,073E-02	-1,171E-02	-1,187E-02	-1,397E-02	-1,639E-02
722,15	-1,176E-02	-1,143E-02	-1,111E-02	-1,143E-02	-1,111E-02	-1,287E-02	-1,398E-02	-1,303E-02	-1,430E-02
730,98	-1,342E-02	-1,328E-02	-1,314E-02	-1,328E-02	-1,314E-02	-1,617E-02	-1,891E-02	-1,374E-02	-1,406E-02
739,82	-1,554E-02	-1,570E-02	-1,586E-02	-1,570E-02	-1,586E-02	-1,980E-02	-2,406E-02	-1,537E-02	-1,520E-02
748,65	-1,627E-02	-1,681E-02	-1,735E-02	-1,681E-02	-1,735E-02	-2,089E-02	-2,551E-02	-1,595E-02	-1,562E-02
757,48	-1,523E-02	-1,627E-02	-1,732E-02	-1,627E-02	-1,732E-02	-1,898E-02	-2,274E-02	-1,492E-02	-1,462E-02
766,32	-1,348E-02	-1,519E-02	-1,689E-02	-1,519E-02	-1,689E-02	-1,560E-02	-1,773E-02	-1,326E-02	-1,305E-02
775,15	-1,299E-02	-1,555E-02	-1,810E-02	-1,555E-02	-1,810E-02	-1,360E-02	-1,422E-02	-1,286E-02	-1,273E-02
783,98	-1,543E-02	-1,905E-02	-2,267E-02	-1,905E-02	-2,267E-02	-1,541E-02	-1,540E-02	-1,538E-02	-1,532E-02
792,82	-1,963E-02	-2,442E-02	-2,921E-02	-2,442E-02	-2,921E-02	-1,957E-02	-1,952E-02	-1,962E-02	-1,961E-02
801,65	-2,321E-02	-2,892E-02	-3,463E-02	-2,892E-02	-3,463E-02	-2,316E-02	-2,311E-02	-2,320E-02	-2,320E-02
810,48	-2,405E-02	-2,998E-02	-3,592E-02	-2,998E-02	-3,592E-02	-2,402E-02	-2,400E-02	-2,405E-02	-2,406E-02
819,32	-2,141E-02	-2,670E-02	-3,199E-02	-2,670E-02	-3,199E-02	-2,139E-02	-2,137E-02	-2,143E-02	-2,144E-02

828,15	-1,620E-02	-2,018E-02	-2,416E-02	-2,018E-02	-2,416E-02	-1,617E-02	-1,614E-02	-1,622E-02	-1,624E-02
836,98	-9,989E-03	-1,242E-02	-1,484E-02	-1,242E-02	-1,484E-02	-9,968E-03	-9,947E-03	-1,001E-02	-1,003E-02
845,82	-4,599E-03	-5,680E-03	-6,762E-03	-5,680E-03	-6,762E-03	-4,574E-03	-4,549E-03	-4,621E-03	-4,644E-03
854,65	-1,428E-03	-1,711E-03	-1,995E-03	-1,711E-03	-1,995E-03	-1,402E-03	-1,376E-03	-1,456E-03	-1,484E-03
863,48	-3,859E-04	-3,975E-04	-4,092E-04	-3,975E-04	-4,092E-04	-3,573E-04	-3,286E-04	-4,173E-04	-4,486E-04
872,32	-2,011E-04	-1,801E-04	-1,591E-04	-1,801E-04	-1,591E-04	-1,685E-04	-1,359E-04	-2,317E-04	-2,623E-04
881,15	-1,628E-04	-1,541E-04	-1,454E-04	-1,541E-04	-1,454E-04	-1,368E-04	-1,109E-04	-2,109E-04	-2,591E-04
889,98	-1,216E-04	-1,116E-04	-1,015E-04	-1,116E-04	-1,015E-04	-9,458E-05	-6,752E-05	-1,496E-04	-1,775E-04
898,82	-8,180E-05	-8,352E-05	-8,524E-05	-8,352E-05	-8,524E-05	-6,606E-05	-5,033E-05	-1,131E-04	-1,445E-04
907,65	-1,010E-04	-9,197E-05	-8,299E-05	-9,197E-05	-8,299E-05	-9,261E-05	-8,425E-05	-1,107E-04	-1,204E-04
916,48	-1,232E-04	-9,901E-05	-7,478E-05	-9,901E-05	-7,478E-05	-1,002E-04	-7,706E-05	-1,177E-04	-1,122E-04
925,32	-1,446E-04	-1,049E-04	-6,532E-05	-1,049E-04	-6,532E-05	-1,039E-04	-6,332E-05	-1,193E-04	-9,405E-05
934,15	-2,453E-04	-1,684E-04	-9,152E-05	-1,684E-04	-9,152E-05	-1,694E-04	-9,344E-05	-1,875E-04	-1,297E-04
942,98	-2,827E-04	-1,766E-04	-7,054E-05	-1,766E-04	-7,054E-05	-1,677E-04	-5,274E-05	-1,929E-04	-1,031E-04
951,82	-3,258E-04	-1,967E-04	-6,760E-05	-1,967E-04	-6,760E-05	-1,830E-04	-4,029E-05	-2,123E-04	-9,877E-05
960,65	-3,327E-04	-2,092E-04	-8,563E-05	-2,092E-04	-8,563E-05	-1,924E-04	-5,207E-05	-2,245E-04	-1,163E-04
969,48	-3,406E-04	-2,238E-04	-1,070E-04	-2,238E-04	-1,070E-04	-2,170E-04	-9,350E-05	-2,408E-04	-1,410E-04
978,32	-2,933E-04	-2,055E-04	-1,178E-04	-2,055E-04	-1,178E-04	-1,886E-04	-8,386E-05	-2,221E-04	-1,509E-04
987,15	-2,526E-04	-1,735E-04	-9,444E-05	-1,735E-04	-9,444E-05	-1,515E-04	-5,038E-05	-1,807E-04	-1,087E-04
995,98	-2,149E-04	-1,589E-04	-1,030E-04	-1,589E-04	-1,030E-04	-1,216E-04	-2,835E-05	-1,568E-04	-9,872E-05
1004,82	-1,926E-04	-1,499E-04	-1,073E-04	-1,499E-04	-1,073E-04	-1,043E-04	-1,595E-05	-1,355E-04	-7,844E-05
1013,65	-2,563E-04	-2,162E-04	-1,761E-04	-2,162E-04	-1,761E-04	-1,750E-04	-9,358E-05	-1,948E-04	-1,332E-04
1022,48	-2,872E-04	-2,550E-04	-2,228E-04	-2,550E-04	-2,228E-04	-2,048E-04	-1,224E-04	-2,423E-04	-1,973E-04
1031,32	-2,886E-04	-2,694E-04	-2,502E-04	-2,694E-04	-2,502E-04	-2,075E-04	-1,264E-04	-2,587E-04	-2,288E-04
1040,15	-3,185E-04	-3,249E-04	-3,314E-04	-3,249E-04	-3,314E-04	-2,475E-04	-1,765E-04	-3,008E-04	-2,831E-04
1048,98	-3,338E-04	-3,389E-04	-3,440E-04	-3,389E-04	-3,440E-04	-2,620E-04	-1,902E-04	-3,038E-04	-2,738E-04
1057,82	-3,527E-04	-3,538E-04	-3,549E-04	-3,538E-04	-3,549E-04	-2,893E-04	-2,260E-04	-3,174E-04	-2,821E-04
1066,65	-3,681E-04	-3,726E-04	-3,771E-04	-3,726E-04	-3,771E-04	-3,098E-04	-2,514E-04	-3,207E-04	-2,733E-04
1075,48	-3,542E-04	-3,598E-04	-3,655E-04	-3,598E-04	-3,655E-04	-2,922E-04	-2,303E-04	-3,104E-04	-2,665E-04
1084,32	-2,652E-04	-2,601E-04	-2,551E-04	-2,601E-04	-2,551E-04	-1,905E-04	-1,159E-04	-2,273E-04	-1,894E-04
1093,15	-1,676E-04	-1,686E-04	-1,696E-04	-1,686E-04	-1,696E-04	-1,155E-04	-6,334E-05	-1,507E-04	-1,338E-04
1101,98	-1,193E-04	-1,110E-04	-1,026E-04	-1,110E-04	-1,026E-04	-6,125E-05	-3,172E-06	-1,047E-04	-9,015E-05
1110,82	-7,152E-05	-4,802E-05	-2,453E-05	-4,802E-05	-2,453E-05	-1,424E-05	4,304E-05	-6,292E-05	-5,433E-05

1119,65	-6,920E-05	-1,923E-05	3,074E-05	-1,923E-05	3,074E-05	5,899E-07	7,038E-05	-4,711E-05	-2,502E-05
1128,48	-9,641E-05	-3,521E-05	2,599E-05	-3,521E-05	2,599E-05	-1,630E-05	6,381E-05	-6,495E-05	-3,350E-05
1137,32	-1,192E-04	-5,371E-05	1,174E-05	-5,371E-05	1,174E-05	-3,934E-05	4,048E-05	-8,605E-05	-5,294E-05
1146,15	-1,192E-04	-5,371E-05	1,174E-05	-5,371E-05	1,174E-05	-3,934E-05	4,048E-05	-8,605E-05	-5,294E-05
1154,983	-2,198E-04	-1,591E-04	-9,842E-05	-1,999E-04	-1,800E-04	-1,400E-04	-6,014E-05	-1,867E-04	-1,536E-04

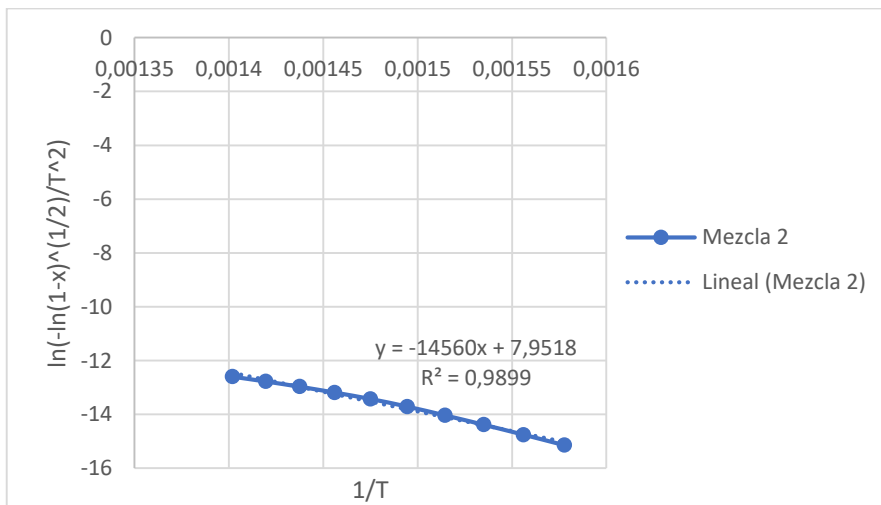
**Realizado por:** Enríquez, Kerly.2022.

## ANEXO B: REGRESIÓN LINEAL PARA LA TASA DE 5,10 Y 15 °MIN<sup>-1</sup>



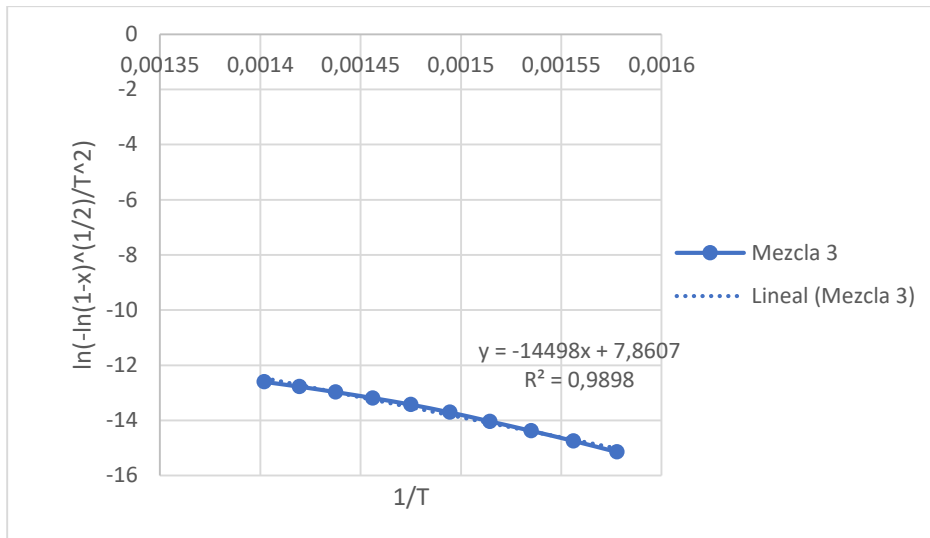
**Ilustración 13-B:** Regresión lineal para la mezcla 1 a 5°Cmin<sup>-1</sup>

Realizado por: Enríquez, Kerly.2022.



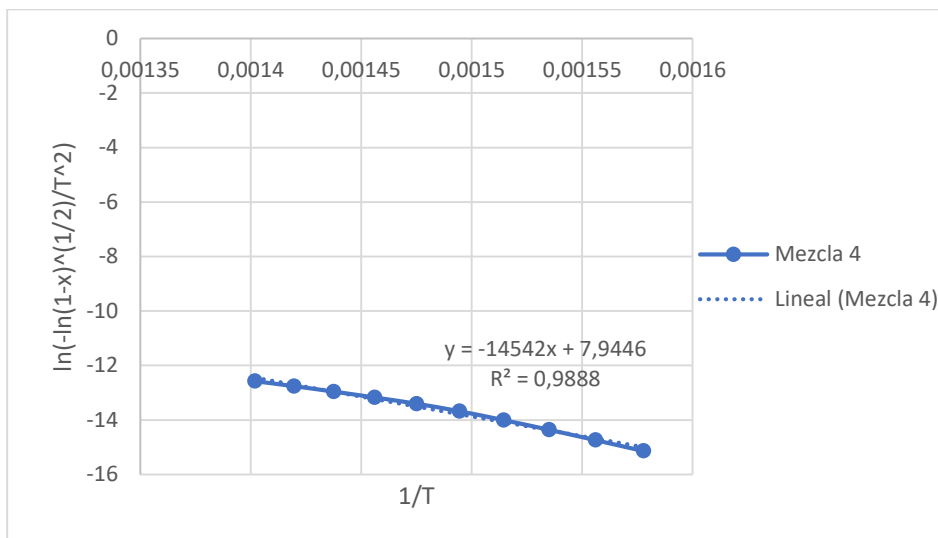
**Ilustración 14-B:** Regresión lineal para la mezcla 2 a 5°Cmin<sup>-1</sup>

Realizado por: Enríquez, Kerly.2022.



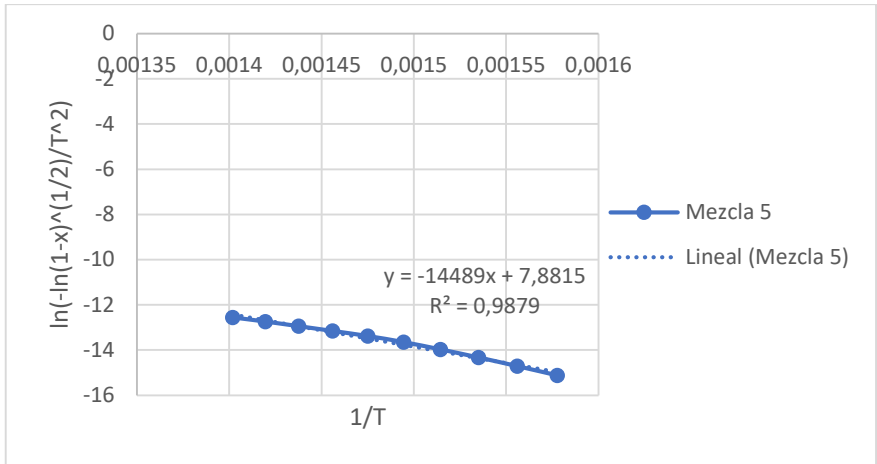
**Ilustración 15-B:** Regresión lineal para la mezcla 3 a  $5^\circ\text{Cmin}^{-1}$

Realizado por: Enríquez, Kerly.2022.



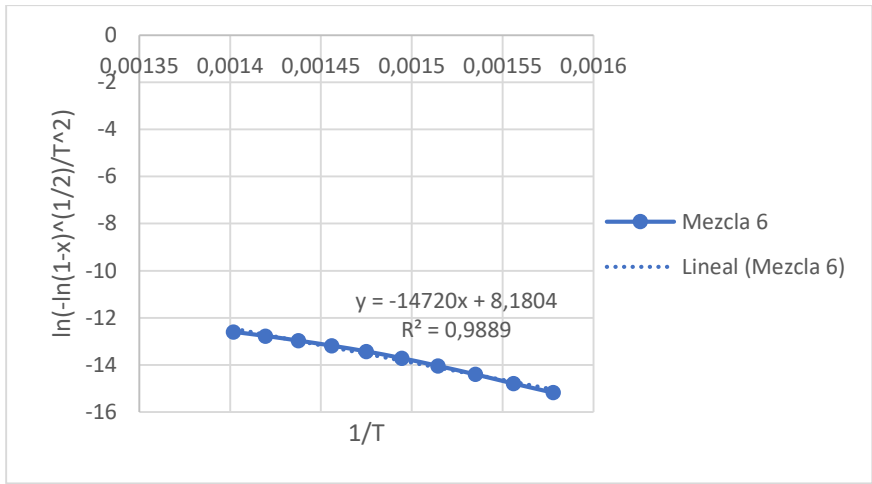
**Ilustración 16-B:** Regresión lineal para la mezcla 4 a  $5^\circ\text{Cmin}^{-1}$

Realizado por: Enríquez, Kerly.2022.



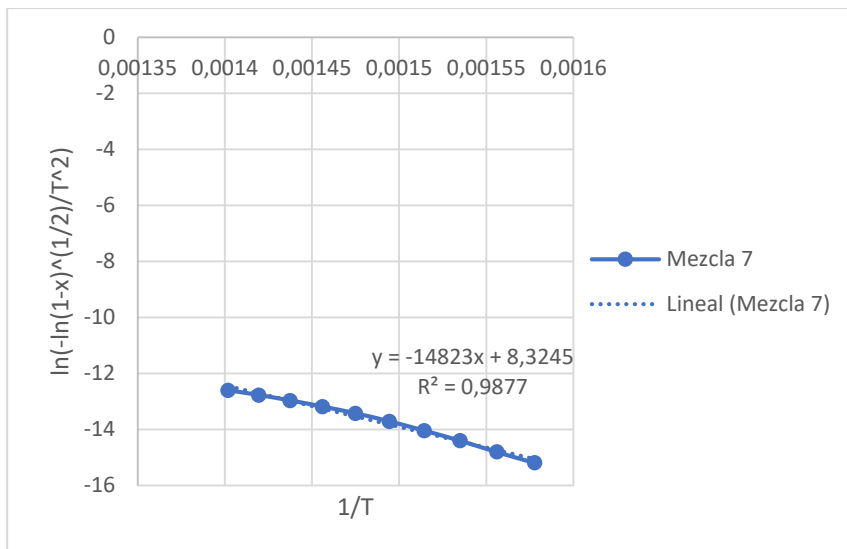
**Ilustración 17-B:** Regresión lineal para la mezcla 5 a 5°Cmin<sup>-1</sup>

Realizado por: Enríquez, Kerly.2022.



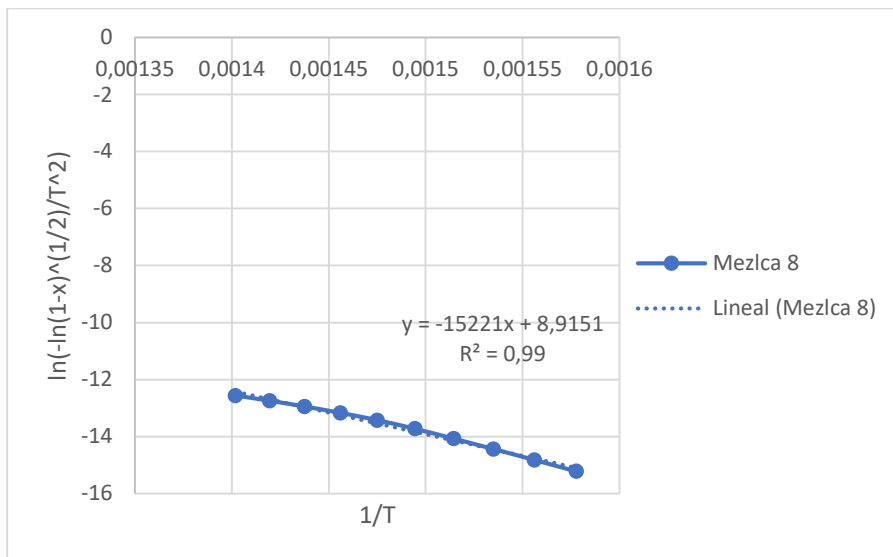
**Ilustración 18-B:** Regresión lineal para la mezcla 6 a 5°Cmin<sup>-1</sup>

Realizado por: Enríquez, Kerly.2022.



**Ilustración 19-B:** Regresión lineal para la mezcla 7 a 5°Cmin<sup>-1</sup>

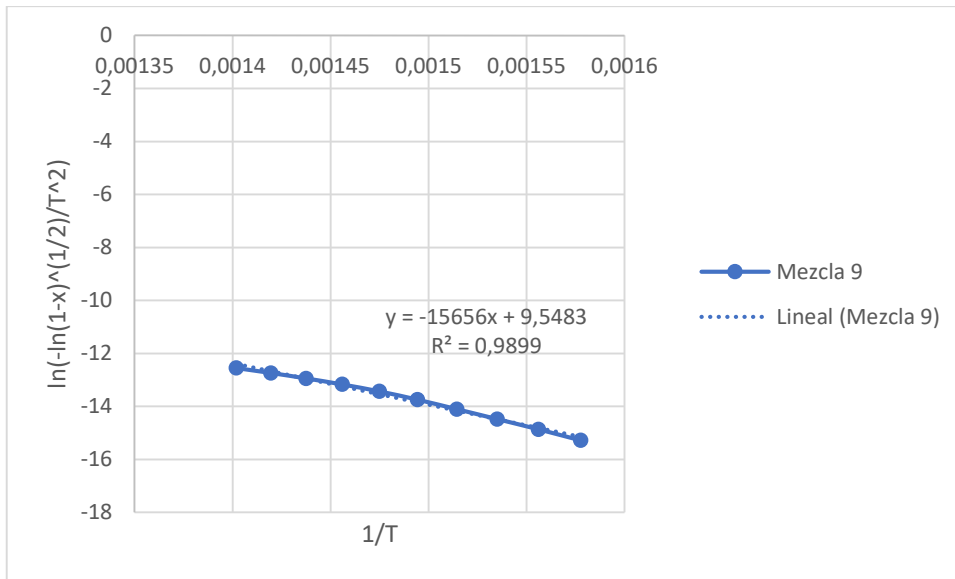
Realizado por: Enríquez, Kerly.2022.



**Ilustración 20-B:** Regresión lineal para la mezcla 8 a 5°Cmin<sup>-1</sup>

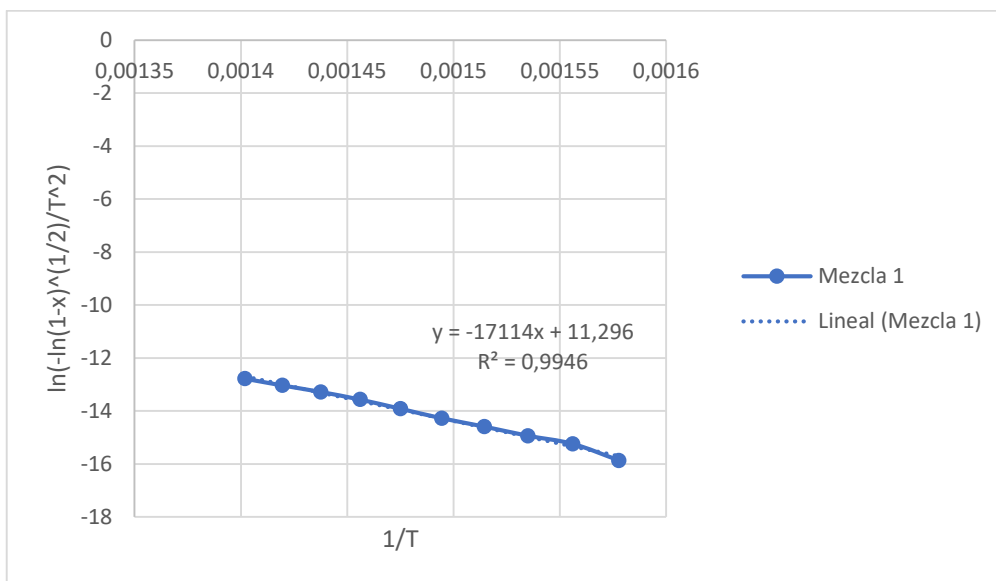
Realizado por: Enríquez, Kerly.2022.





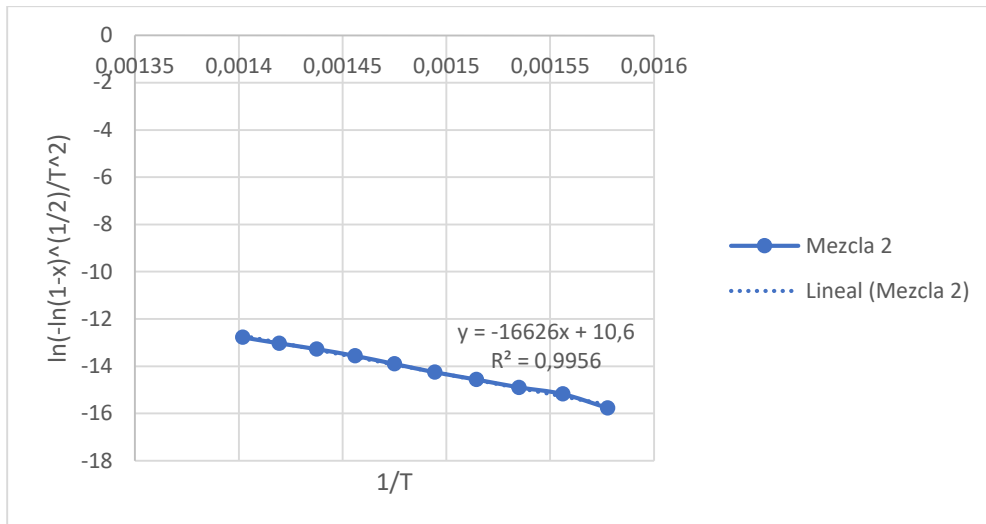
**Ilustración 21-B:** Regresión lineal para la mezcla 9 a 5°Cmin<sup>-1</sup>

**Realizado por:** Enríquez, Kerly.2022.



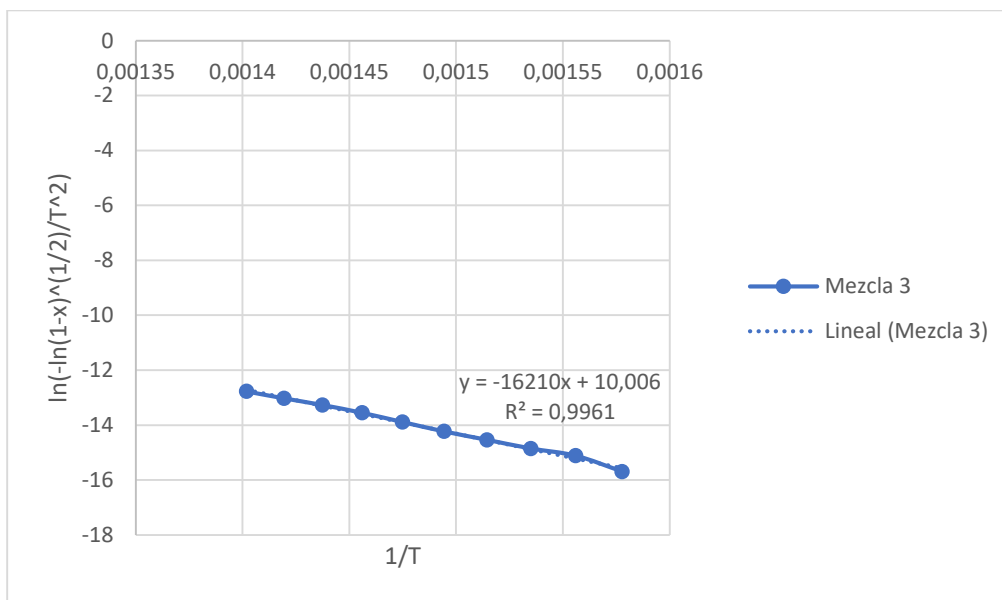
**Ilustración 22-B:** Regresión lineal para la mezcla 1 a 10°Cmin<sup>-1</sup>

**Realizado por:** Enríquez, Kerly.2022.



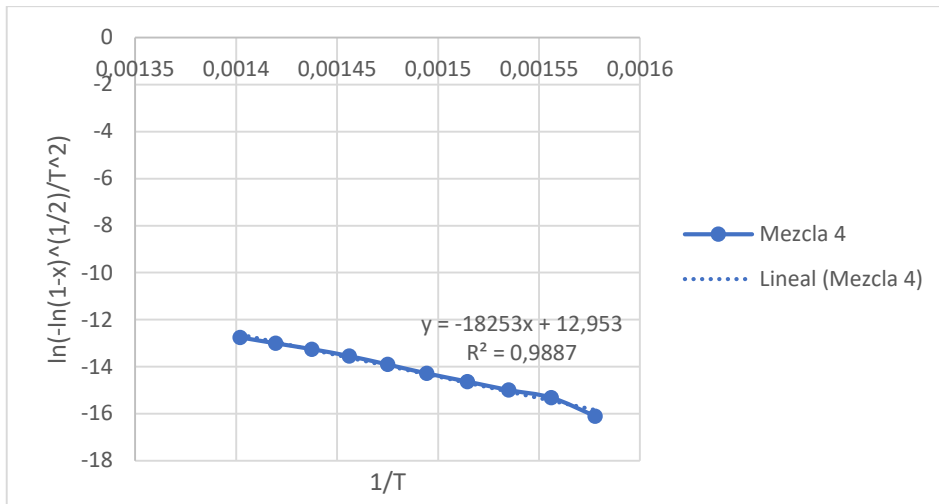
**Ilustración 23-B:** Regresión lineal para la mezcla 2 a  $10^\circ\text{Cmin}^{-1}$

Realizado por: Enríquez, Kerly.2022.



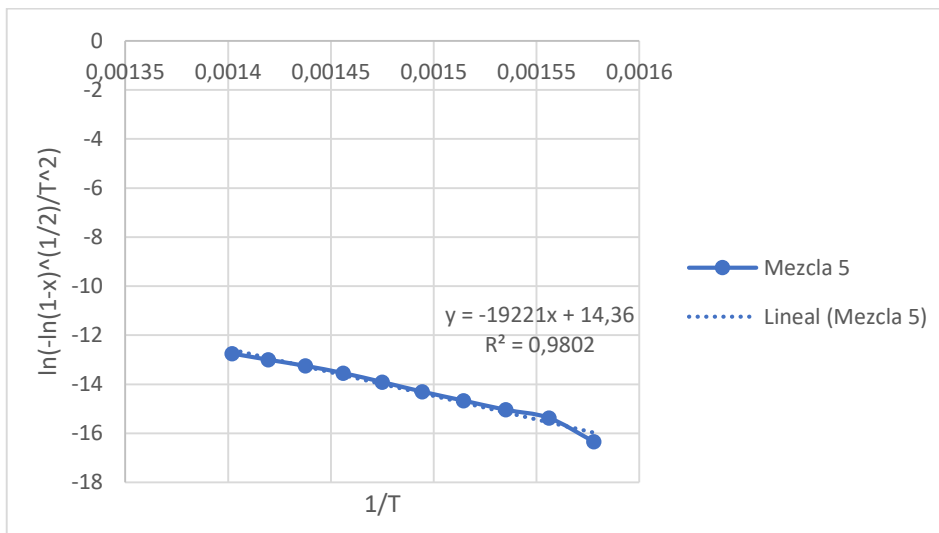
**Ilustración 24-B:** Regresión lineal para la mezcla 3 a  $10^\circ\text{Cmin}^{-1}$

Realizado por: Enríquez, Kerly.2022.



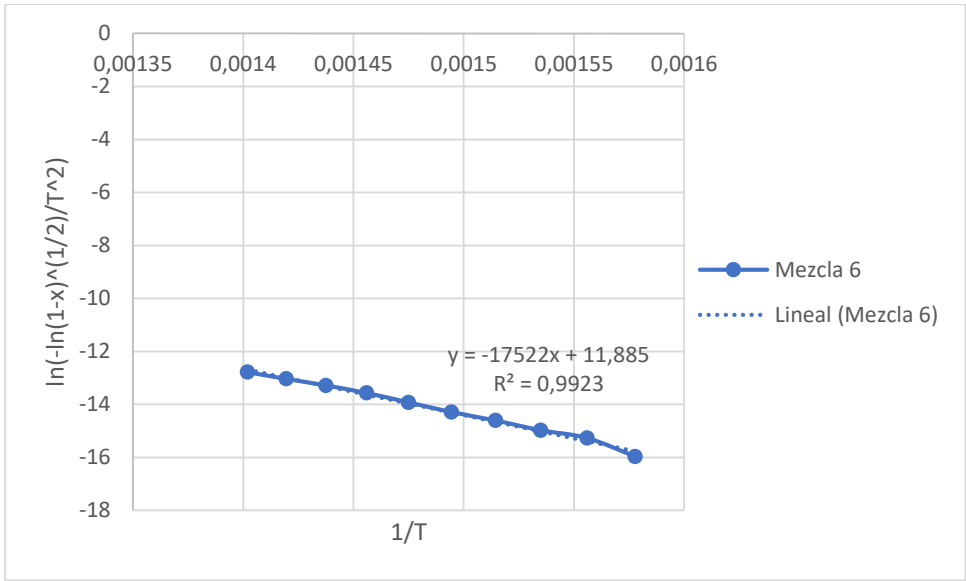
**Ilustración 25-B:** Regresión lineal para la mezcla 4 a 10°Cmin<sup>-1</sup>

**Realizado por:** Enríquez, Kerly.2022.



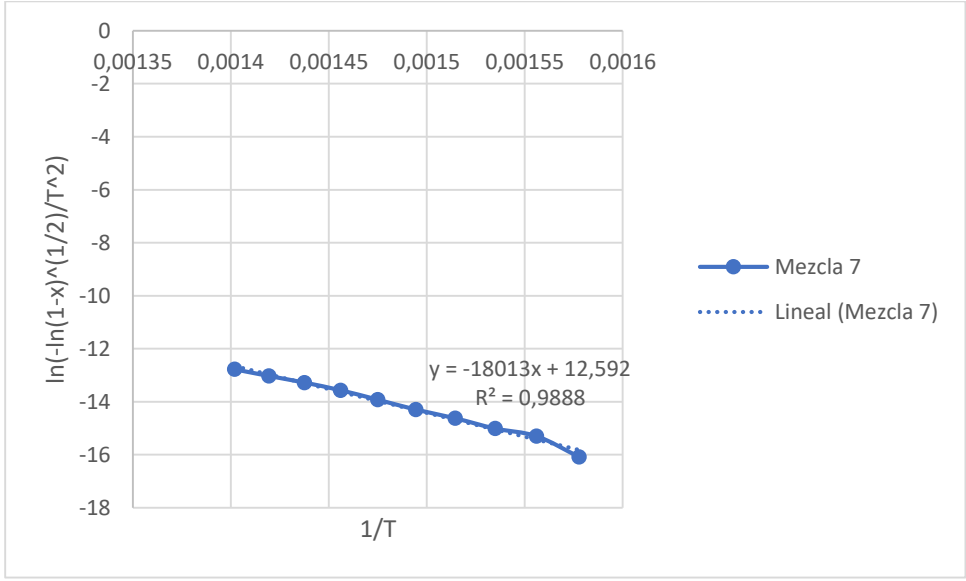
**Ilustración 26-B:** Regresión lineal para la mezcla 5 a 10°Cmin<sup>-1</sup>

**Realizado por:** Enríquez, Kerly.2022.



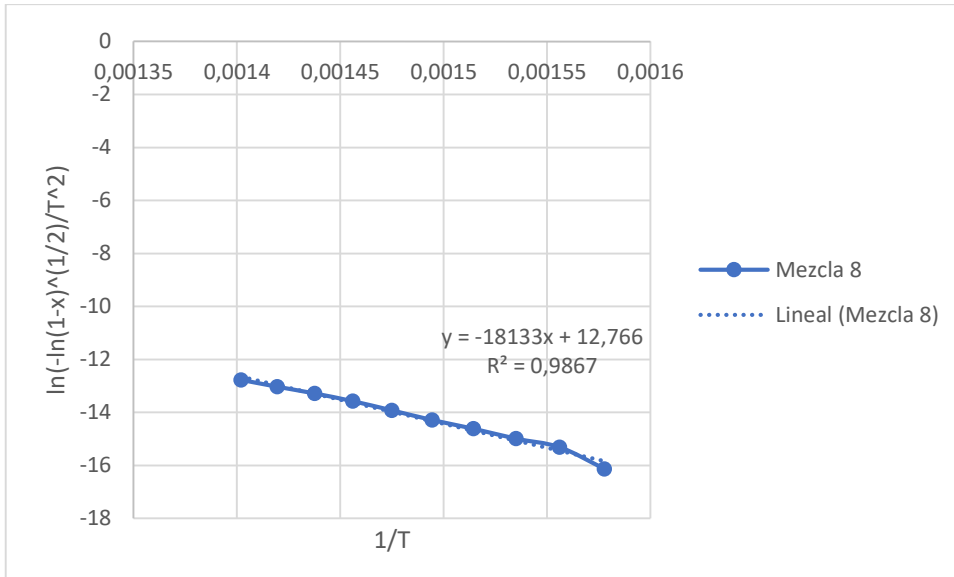
**Ilustración 27-B:** Regresión lineal para la mezcla 6 a  $10^{\circ}\text{Cmin}^{-1}$

Realizado por: Enríquez, Kerly.2022.



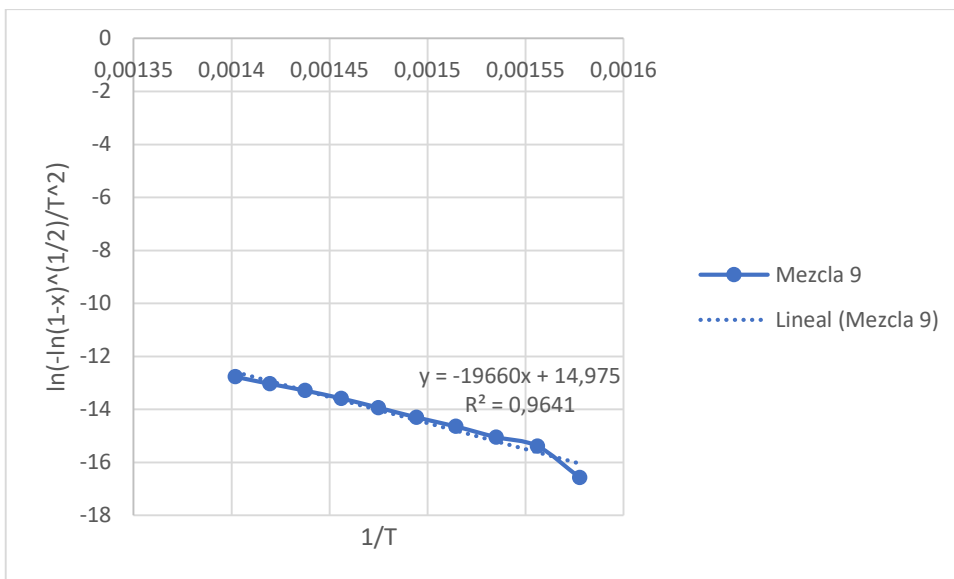
**Ilustración 28-B:** Regresión lineal para la mezcla 7 a  $10^{\circ}\text{Cmin}^{-1}$

Realizado por: Enríquez, Kerly.2022.



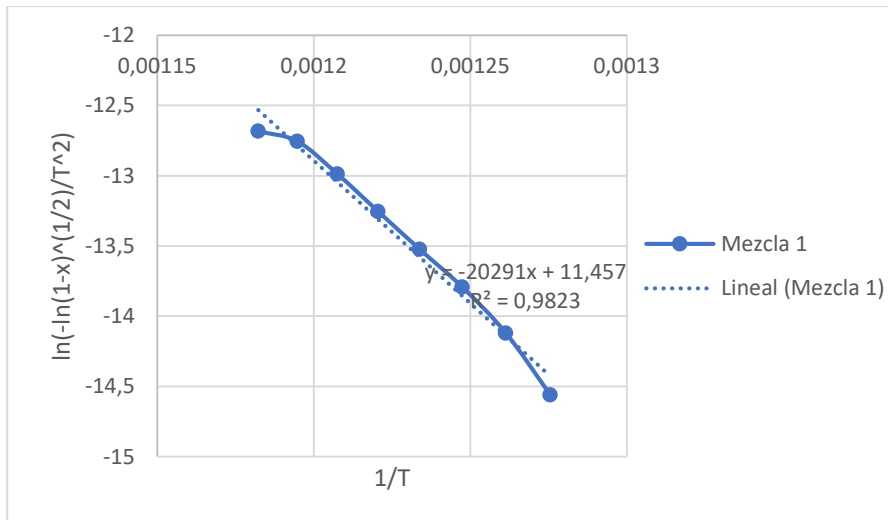
**Ilustración 29-B:** Regresión lineal para la mezcla 8 a  $10^\circ\text{Cmin}^{-1}$

**Realizado por:** Enríquez, Kerly.2022.



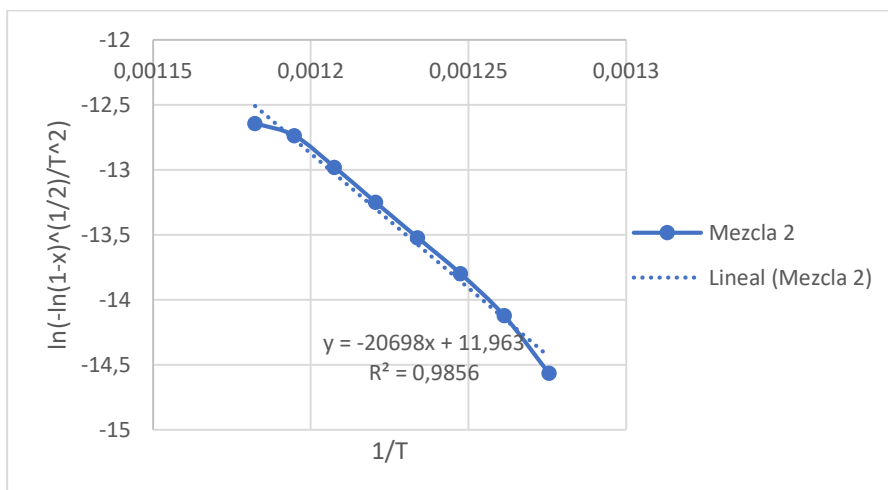
**Ilustración 30-B:** Regresión lineal para la mezcla 9 a  $10^\circ\text{Cmin}^{-1}$

**Realizado por:** Enríquez, Kerly.2022.



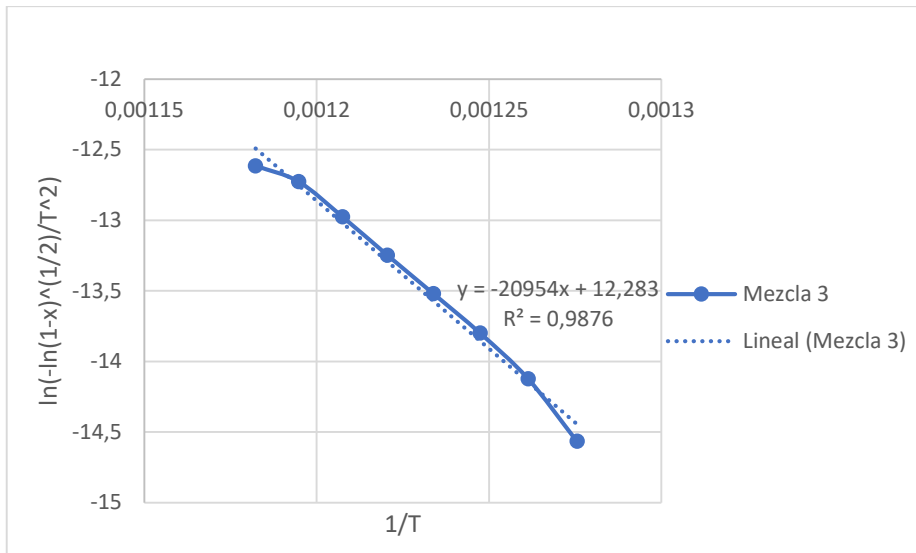
**Ilustración 31-B:** Regresión lineal para la mezcla 1 a  $15^\circ\text{Cmin}^{-1}$

Realizado por: Enríquez, Kerly.2022.



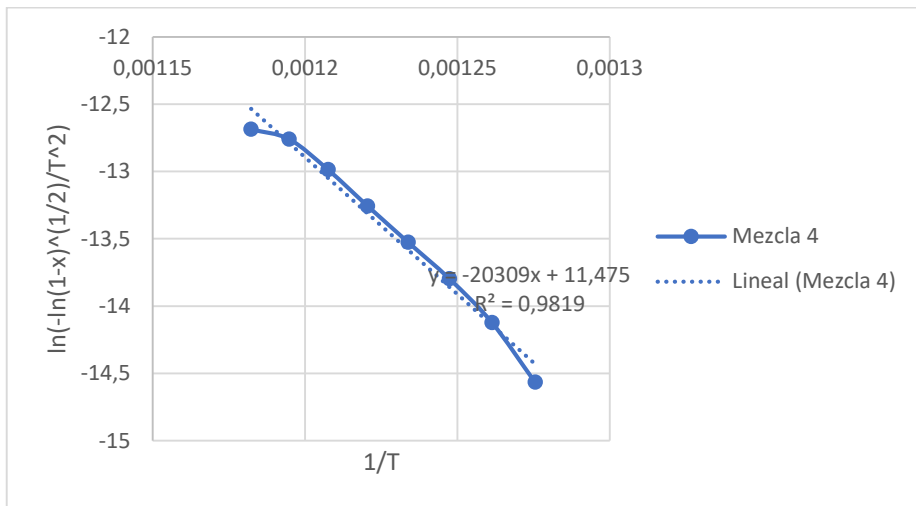
**Ilustración 32-B:** Regresión lineal para la mezcla 2 a  $15^\circ\text{Cmin}^{-1}$

Realizado por: Enríquez, Kerly.2022.



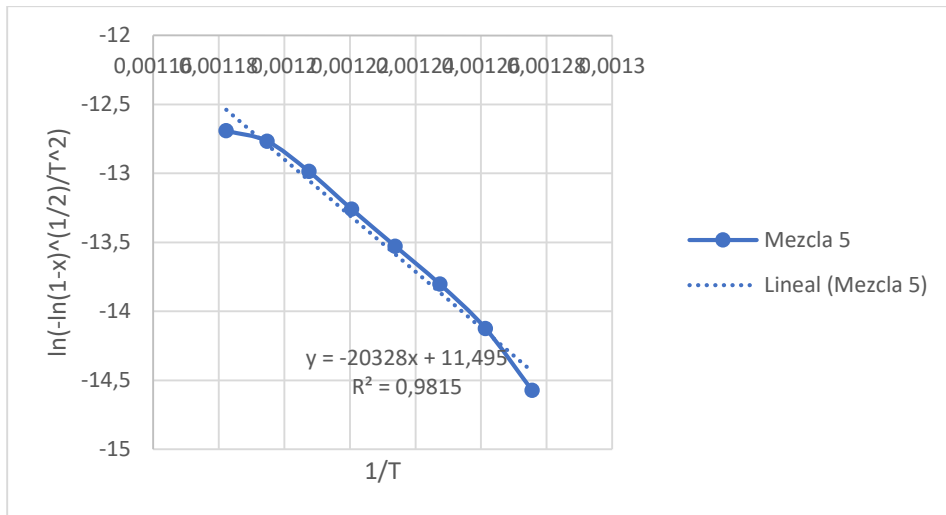
**Ilustración 33-B:** Regresión lineal para la mezcla 3 a 15°Cmin<sup>-1</sup>

**Realizado por:** Enríquez, Kerly.2022.



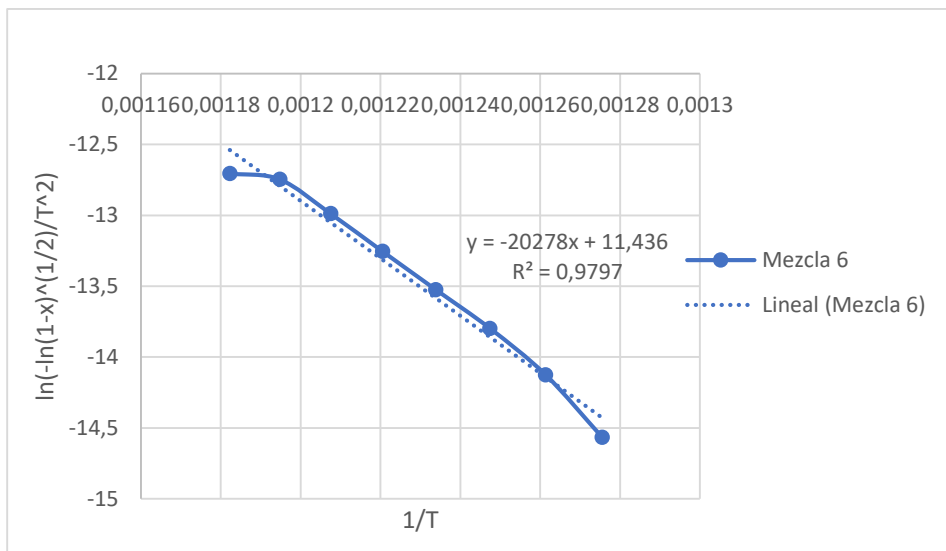
**Ilustración 34-B:** Regresión lineal para la mezcla 4 a 15°Cmin<sup>-1</sup>

**Realizado por:** Enríquez, Kerly.2022.



**Ilustración 35-B:** Regresión lineal para la mezcla 5 a  $15^\circ\text{Cmin}^{-1}$

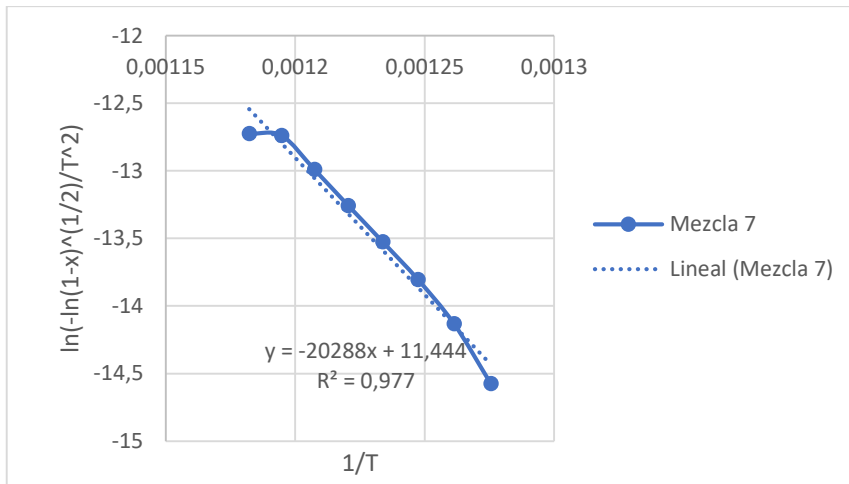
Realizado por: Enríquez, Kerly.2022.



**Ilustración 36-B:** Regresión lineal para la mezcla 6 a  $15^\circ\text{Cmin}^{-1}$

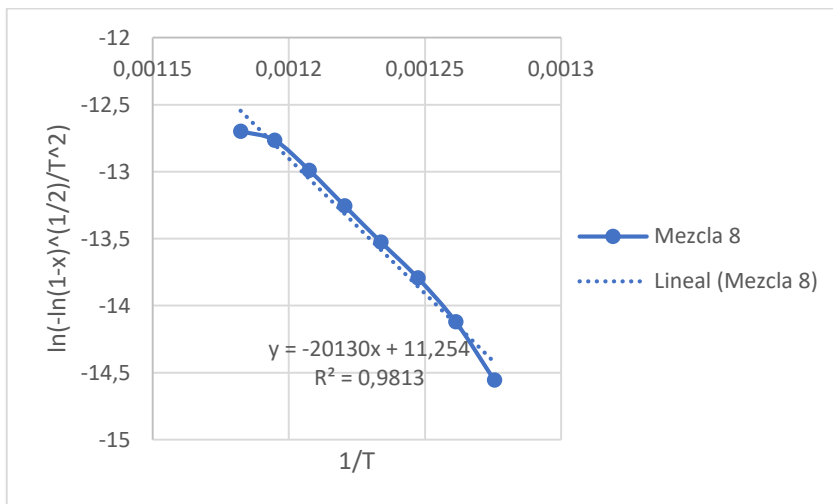
Realizado por: Enríquez, Kerly.2022.





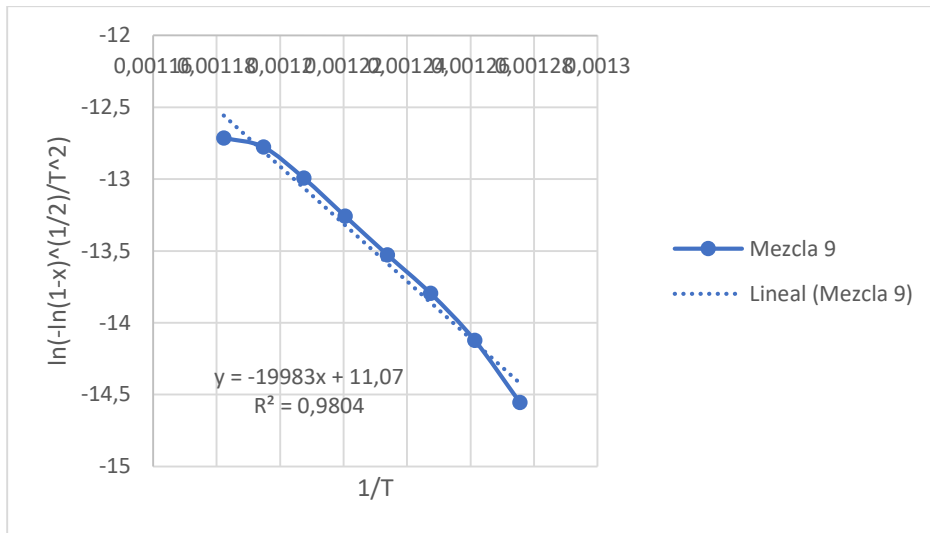
**Ilustración 37-B:** Regresión lineal para la mezcla 7 a  $15^\circ\text{Cmin}^{-1}$

**Realizado por:** Enríquez, Kerly.2022.



**Ilustración 38-B:** Regresión lineal para la mezcla 8 a  $15^\circ\text{Cmin}^{-1}$

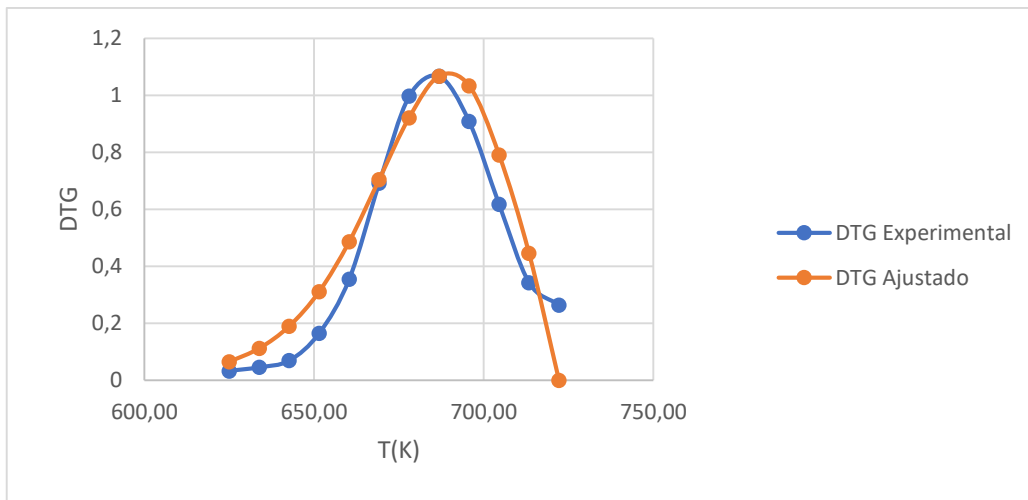
**Realizado por:** Enríquez, Kerly.2022.



**Ilustración 39-B:** Regresión lineal para la mezcla 9 a  $15^\circ\text{Cmin}^{-1}$

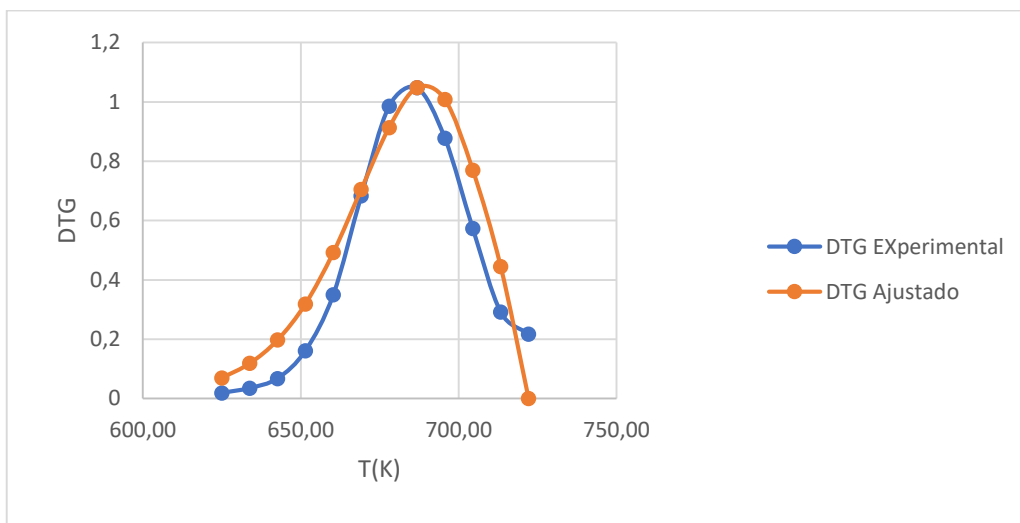
Realizado por: Enríquez, Kerly.2022.

## ANEXO C: AJUSTE DEL MODELO CINÉTICO PARA DTG EXPERIMENTAL VS DTG AJUSTADO



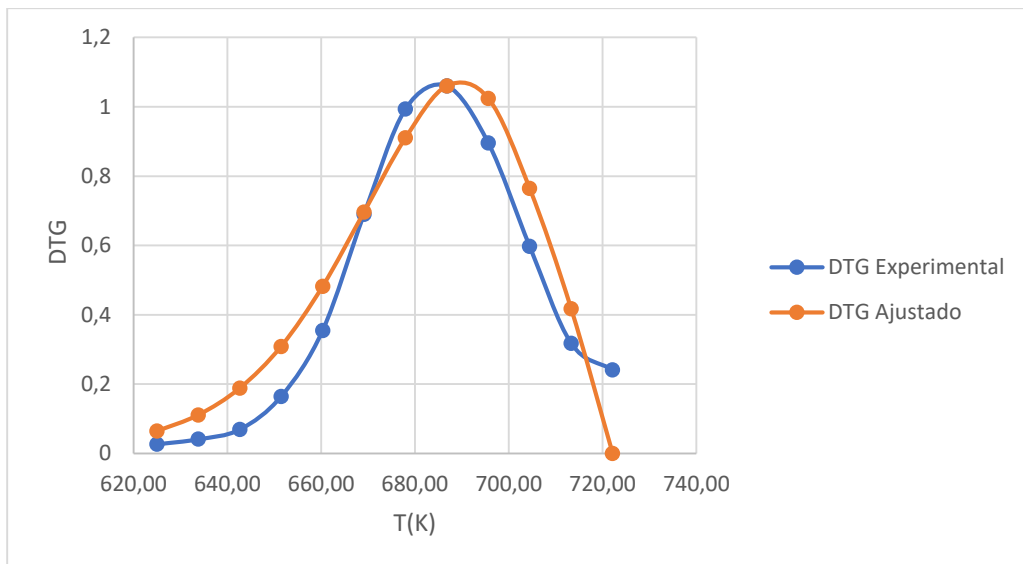
**Ilustración 40-C:** Modelo Ajustado, Mezcla 1 para la tasa de calentamiento de  $5^{\circ}\text{Cmin}^{-1}$

**Realizado por:** Enríquez, Kerly.2022.



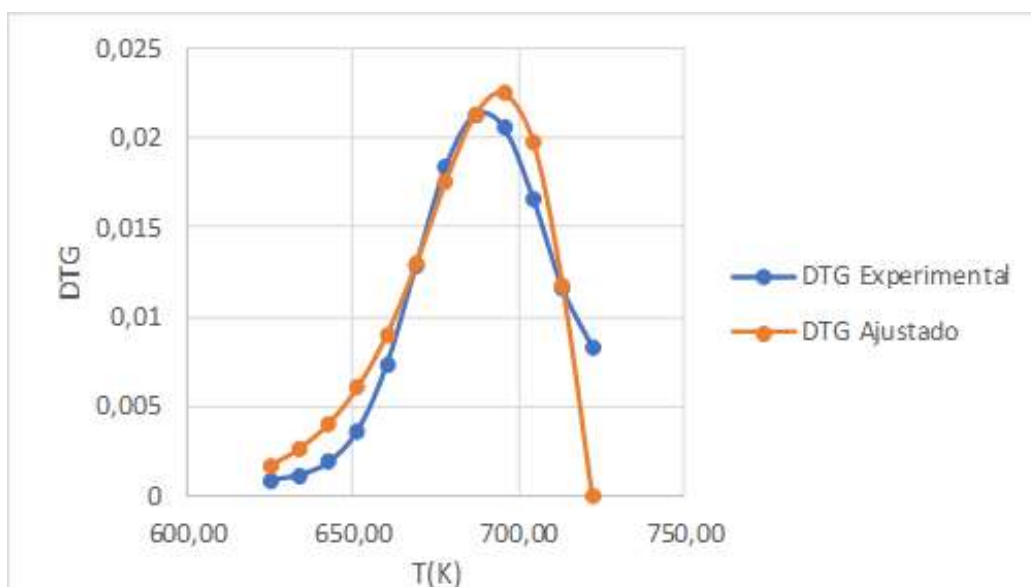
**Ilustración 41-C:** Modelo Ajustado, Mezcla 2 para la tasa de calentamiento de  $5^{\circ}\text{Cmin}^{-1}$

**Realizado por:** Enríquez, Kerly.2022.



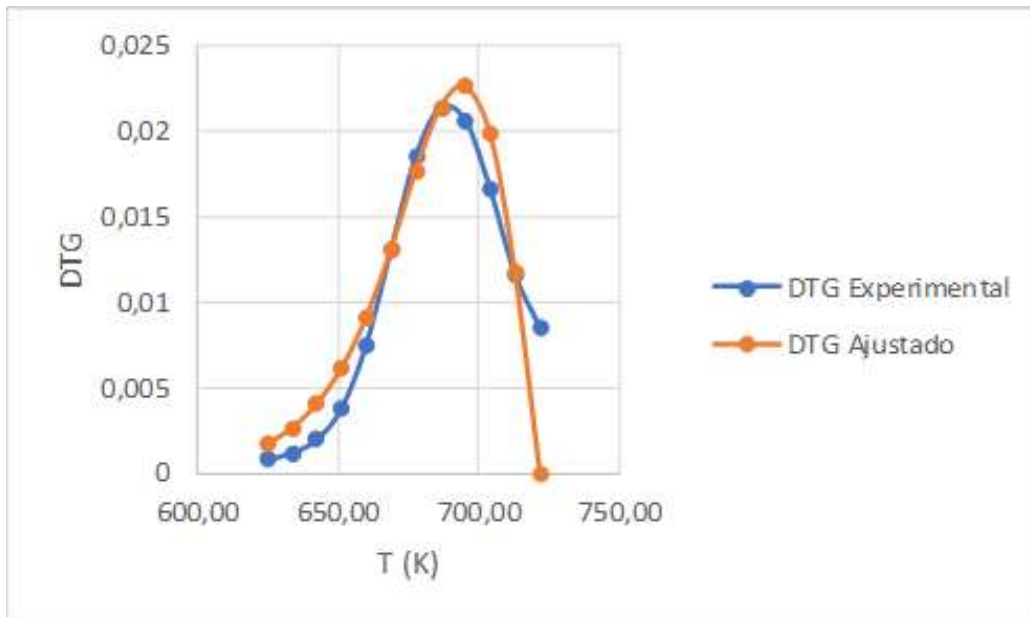
**Ilustración 42-C:** Modelo Ajustado, Mezcla 3 para la tasa de calentamiento de  $5^{\circ}\text{Cmin}^{-1}$

Realizado por: Enríquez, Kerly.2022.



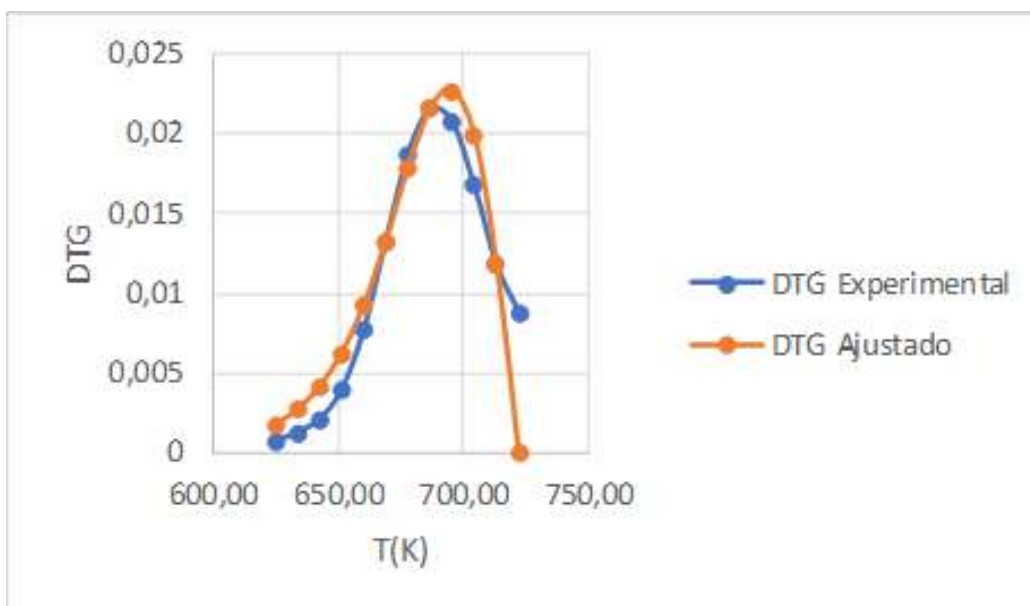
**Ilustración 43-C:** Modelo Ajustado, Mezcla 1 para la tasa de calentamiento de  $10^{\circ}\text{Cmin}^{-1}$

Realizado por: Enríquez, Kerly.2022.



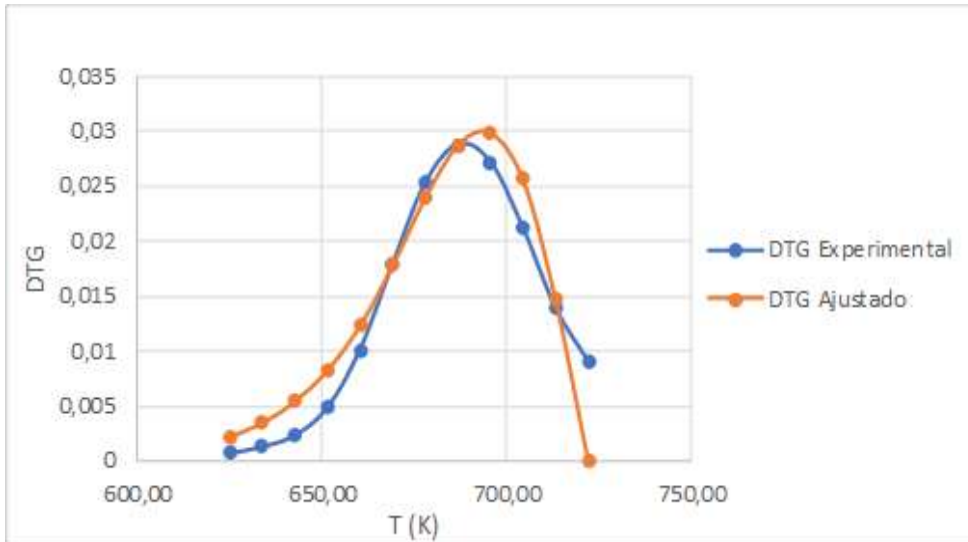
**Ilustración 44-C:** Modelo Ajustado, Mezcla 2 para la tasa de calentamiento de  $10^{\circ}\text{Cmin}^{-1}$

Realizado por: Enríquez, Kerly.2022.



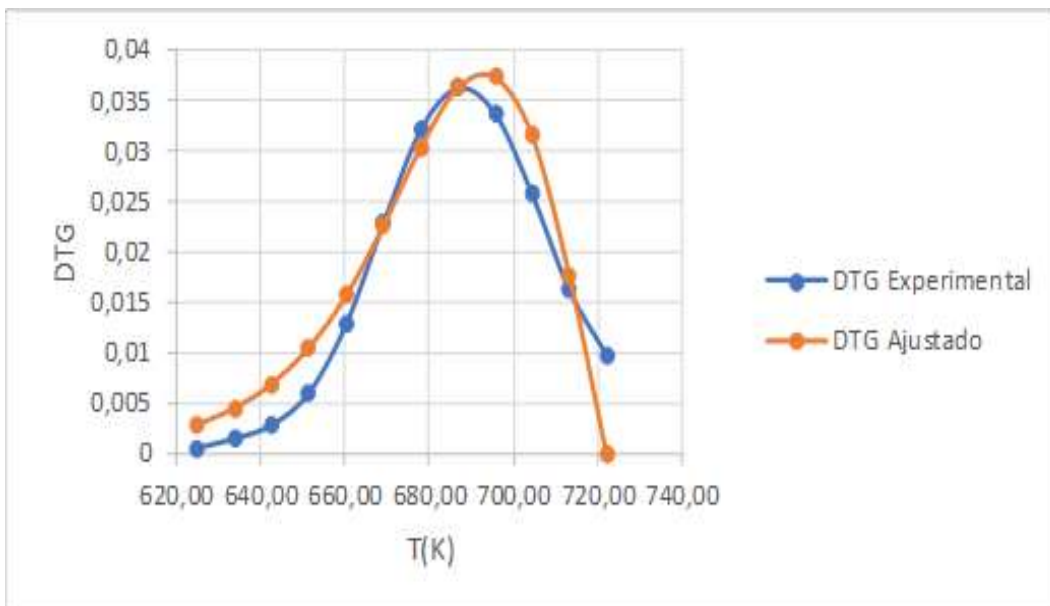
**Ilustración 45-C:** Modelo Ajustado, Mezcla 3 para la tasa de calentamiento de  $10^{\circ}\text{Cmin}^{-1}$

Realizado por: Enríquez, Kerly.2022.



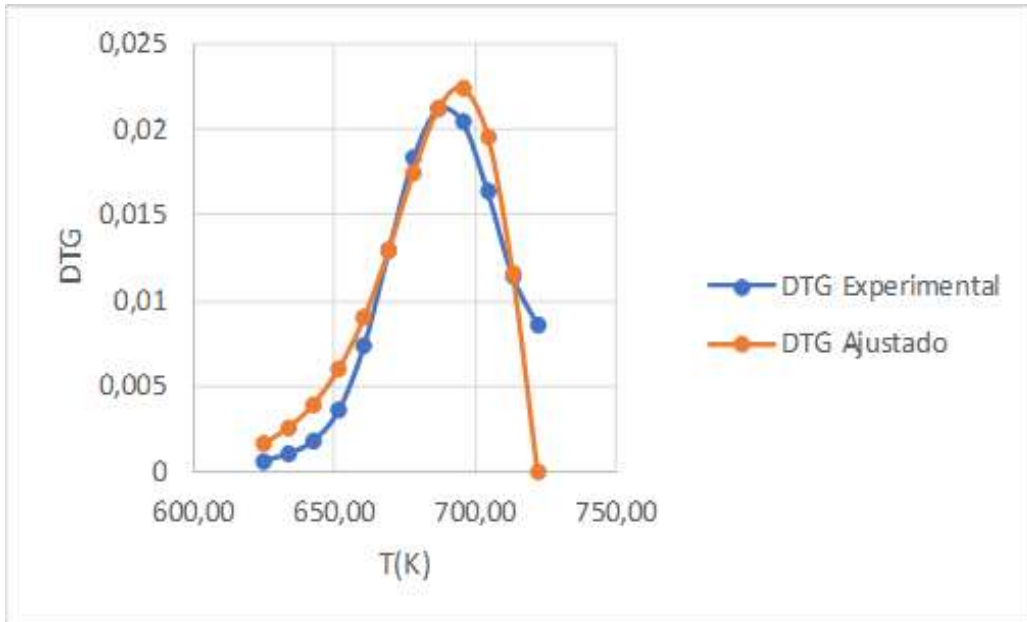
**Ilustración 46-C:** Modelo Ajustado, Mezcla 4 para la tasa de calentamiento de  $10^{\circ}\text{Cmin}^{-1}$

**Realizado por:** Enríquez, Kerly.2022.

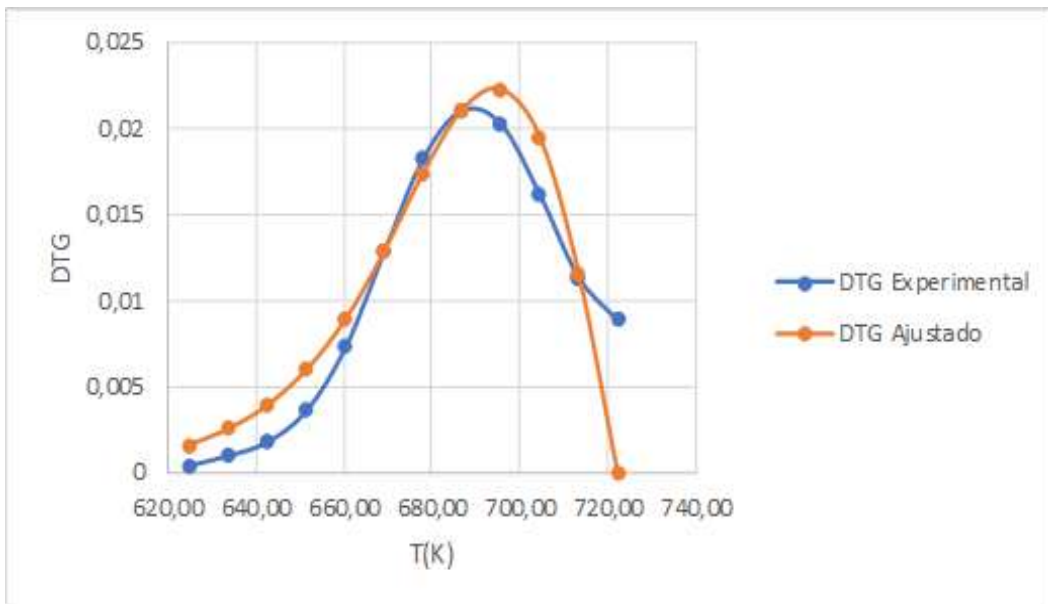


**Ilustración 47-C:** Modelo Ajustado, Mezcla 5 para la tasa de calentamiento de  $10^{\circ}\text{Cmin}^{-1}$

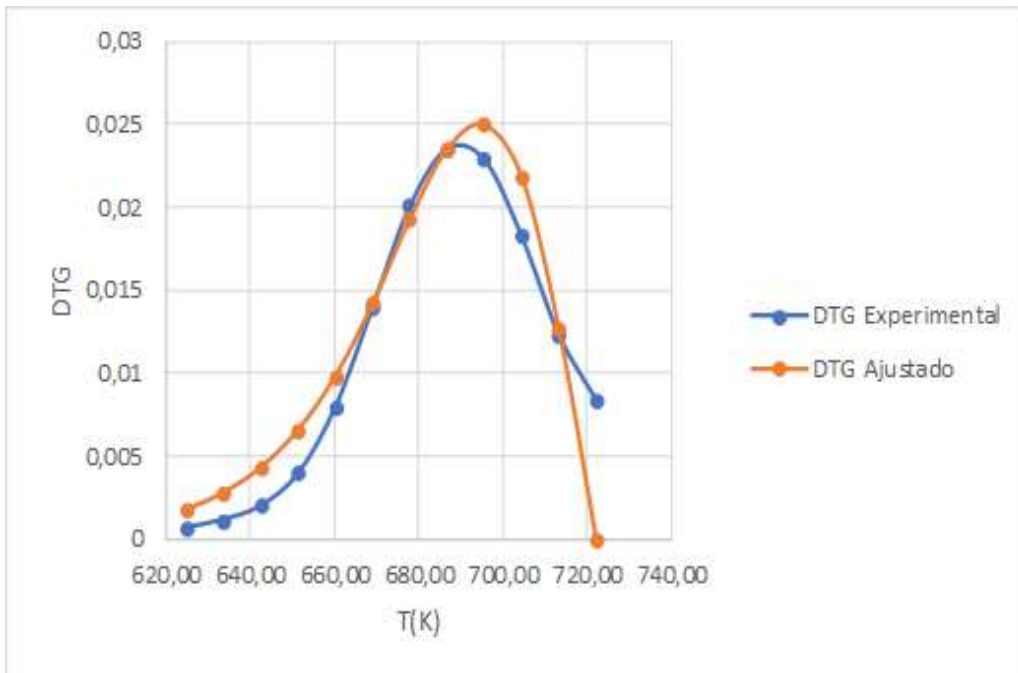
**Realizado por:** Enríquez, Kerly.2022.



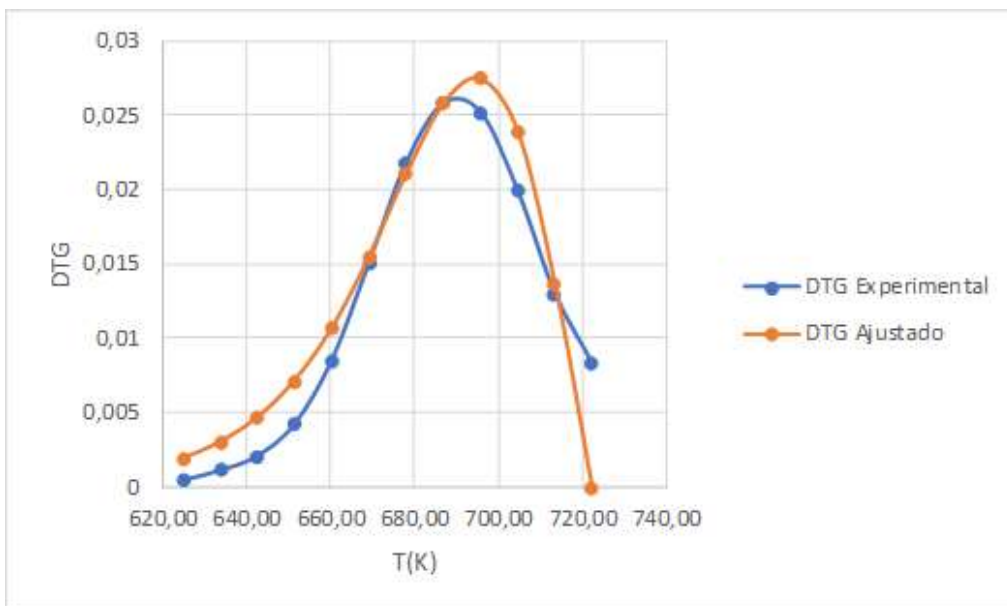
**Ilustración 48-C:** Modelo Ajustado, Mezcla 6 para la tasa de calentamiento de  $10^{\circ}\text{Cmin}^{-1}$   
**Realizado por:** Enríquez, Kerly.2022.



**Ilustración 49-C:** Modelo Ajustado, Mezcla 7 para la tasa de calentamiento de  $10^{\circ}\text{Cmin}^{-1}$   
**Realizado por:** Enríquez, Kerly.2022.



**Ilustración 50-C:** Modelo Ajustado, Mezcla 8 para la tasa de calentamiento de  $10^{\circ}\text{Cmin}^{-1}$   
**Realizado por:** Enríquez, Kerly.2022.



**Ilustración 51-C:** Modelo Ajustado, Mezcla 9 para la tasa de calentamiento de  $10^{\circ}\text{Cmin}^{-1}$   
**Realizado por:** Enríquez, Kerly.2022.





esPOCH

Dirección de Bibliotecas y  
Recursos del Aprendizaje

**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y  
DOCUMENTAL**

**REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA**

**Fecha de entrega:** 19 / 12 / 2022

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Kerly Mishell Enríquez Ocampos
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Ciencias
<b>Carrera:</b> Ingeniería Química
<b>Título a optar:</b> Ingeniera Química
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.

  
  
2329-DBRA-UTP-2022

2329-DBRA-UTP-2022