



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

EVALUACIÓN DE LA CINÉTICA DE REACCIÓN DEL SISTEMA AZUL DE METILENO – ÁCIDO ASCÓRBICO
MEDIANTE UNA TÉCNICA ESPECTROFOTOMÉTRICA IMPLEMENTADA EN LA PRÁCTICA DEL CURSO DE
LABORATORIO DE FISICOQUÍMICA DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA, FACULTAD DE INGENIERÍA DE
LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Pablo Andrés Aldana Véliz

Asesorado por el Ing. César Ariel Villela Rodas

Coasesorado por el Ing. William Eduardo Fagiani Cruz

Guatemala, junio de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

EVALUACIÓN DE LA CINÉTICA DE REACCIÓN DEL SISTEMA AZUL DE METILENO – ÁCIDO ASCÓRBICO
MEDIANTE UNA TÉCNICA ESPECTROFOTOMÉTRICA IMPLEMENTADA EN LA PRÁCTICA DEL CURSO DE
LABORATORIO DE FISCOQUÍMICA DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA, FACULTAD DE INGENIERÍA DE
LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

PABLO ANDRÉS ALDANA VÉLIZ

ASESORADO POR EL ING. CÉSAR ARIEL VILLELA RODAS
COASESORADO POR EL ING. WILLIAM FAGIANI CRUZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, JUNIO DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Dr. Adolfo Narciso Gramajo Antonio
EXAMINADOR	Ing. César Alfonso García Guerra
EXAMINADOR	Ing. Orlando Posadas Valdez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**EVALUACIÓN DE LA CINÉTICA DE REACCIÓN DEL SISTEMA AZUL DE METILENO – ÁCIDO ASCÓRBICO
MEDIANTE UNA TÉCNICA ESPECTROFOTOMÉTRICA IMPLEMENTADA EN LA PRÁCTICA DEL CURSO DE
LABORATORIO DE FISCOQUÍMICA DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA, FACULTAD DE INGENIERÍA DE
LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 22 de enero de 2014.



Pablo Andrés Aldana Véliz

Guatemala, 15 de mayo de 2014

Ingeniero
V́ctor Manuel Monz3n Valdez
Director Escuela de Ingenieŕa Qúmica
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero:

Por este medio le informo he revisado el trabajo de graduaci3n titulado:
"EVALUACI3N DE LA CINÉTICA DE REACCI3N DEL SISTEMA AZUL DE METILENO
- ÁCIDO ASCÓRBICO MEDIANTE UNA TÉCNICA ESPECTROFOTOMÉTRICA
IMPLEMENTADA EN LA PRÁCTICA DEL CURSO DE LABORATORIO DE
FISICOQUÍMICA DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA, FACULTAD DE
INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.", elaborado
por el estudiante **Pablo Andrés Aldana Véliz**.

El mencionado trabajo llena los requisitos para dar mi aprobaci3n e indicarle
que el autor y mi persona somos responsables por el contenido y conclusi3n del
mismo.

Atentamente


Ing. César Ariel Villela Rodas
Asesor

Ing. César Ariel Villela Rodas
INGENIERO QUIMICO
Colegiado No. 1.175



Guatemala, 26 de mayo de 2014
Ref. EIQ.TG-IF.017.2014

Ingeniero
Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **150-2013** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por el estudiante universitario: **Pablo Andrés Aldana Véliz**.
Identificado con número de carné: **2009-15238**.

Previo a optar al título de **INGENIERO QUÍMICO**.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

EVALUACIÓN DE LA CINÉTICA DE REACCIÓN DEL SISTEMA AZUL DE METILENO –ÁCIDO ASCÓRBICO MEDIANTE UNA TÉCNICA ESPECTROFOTOMÉTRICA IMPLEMENTADA EN LA PRÁCTICA DEL CURSO DE LABORATORIO DE FISCOQUÍMICA DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA, FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **César Ariel Villela Rodas**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

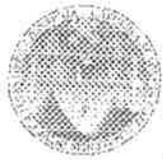
"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Adolfo Narciso Gramajo Antonio
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo





Ref.EIQ.TG.095.2014

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación del estudiante, **PABLO ANDRÉS ALDANA VÉLIZ** titulado: "**EVALUACIÓN DE LA CINÉTICA DE REACCIÓN DEL SISTEMA AZUL DE METILENO - ÁCIDO ASCÓRBICO MEDIANTE UNA TÉCNICA ESPECTROFOTOMÉTRICA IMPLEMENTADA EN LA PRÁCTICA DEL CURSO DE LABORATORIO DE FISICOQUÍMICA DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA, FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**". Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

Ing. Víctor Manuel Monzón Valde
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, junio 2014

Cc: Archivo
VMMV/ale

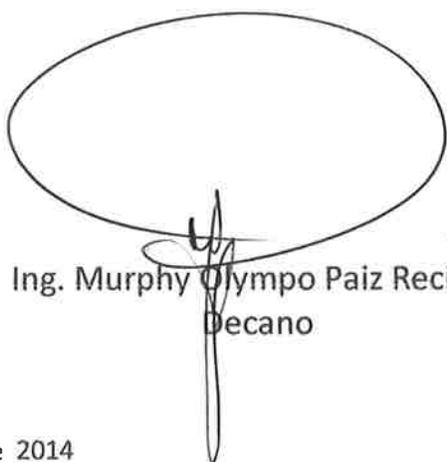




DTG. 267.2014

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **EVALUACIÓN DE LA CINÉTICA DE REACCIÓN DEL SISTEMA AZUL DE METILENO- ÁCIDO ASCÓRBICO MEDIANTE UNA TÉCNICA ESPECTROFOTOMÉTRICA IMPLEMENTADA EN LA PRÁCTICA DEL CURSO DE LABORATORIO DE FISICOQUÍMICA DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA, FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Pablo Andrés Aldana Véliz**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, 5 de junio de 2014

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ayudarme en el transcurso de mi carrera universitaria y poder alcanzar esta meta dentro de mi plan de vida.
Mi abuelo	Fidel Humberto Aldana Vargas (q.e.p.d.), por compartir mis éxitos y ser su orgullo.
Mi abuela	Candida Orellana (q.e.p.d.), por todas sus enseñanzas y cariño.
Mis padres	Norma Lilibian Véliz de Aldana y Wotsvely Aldana Arroyo, por su amor y educación, ya que por ellos, soy el hombre que se presenta ante ustedes.
El pueblo de Guatemala	Por darme el privilegio de contar con una formación superior en la Universidad de San Carlos de Guatemala.

AGRADECIMIENTOS A:

La Universidad de San Carlos de Guatemala	Por brindarme una educación integral y oportunidades de crecimiento personal y social.
Facultad de Ingeniería	Por el apoyo confiado en mí y las oportunidades de desarrollo brindadas hacia mi persona.
Mis padres	Wotsvely Aldana y Norma Véliz, por todo el apoyo brindado en el desarrollo de mi vida profesional.
Mis hermanos	Andrea Lucía y Wotsvely Aldana Véliz, por su ayuda y confianza a lo largo de sus vidas. Los quiero.
Mis amigos del “groupon”	Esteban Salatino, Hugo Pivaral, Cristián Rodríguez, Carlos Reyes, René Baeza, Ligia Mejía, Alejandra Herrera, Liza Morales. Gracias por su amistad que superará fronteras y tiempo.
Amigos de la “U”	Promociones 2008, 2009, 2010 y 2011. Gracias por su confianza y apoyo en los momentos difíciles. Especialmente a Diego Rendón, Edwin Saravia, Wagner Monterroso, Rudy Figueroa, José Rodríguez, Bryan Carrera, Edgar Morales, Alejandra Peláez e Ivonne Soto.

**Emilia Virginia Pontacq
Alfonso**

Por su ayuda y asistencia dentro del desarrollo de la fase experimental de mi trabajo de graduación; y por ser una excelente amiga.

**A la Licda. Rosa Amelia
González**

Por ser la primera jefa dentro de mi vida profesional, confiar en mí e incitarme a alcanzar el éxito.

**Ing. César Ariel Villela
Rodas**

Por brindarme la oportunidad de ser auxiliar del Laboratorio de Físicoquímica y Matemáticas. Asimismo, por su apoyo como asesor del trabajo de graduación.

Fundación Roberto Roca

Por haber confiado en mí apoyándome con una beca universitaria.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	IX
GLOSARIO.....	XIII
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
Hipótesis.....	XVIII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. ANTECEDENTES.....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Cinética química.....	3
2.1.1. Velocidad de reacción.....	3
2.1.2. Ley de Velocidad.....	4
2.1.2.1. Orden de reacción.....	5
2.1.2.2. Constante cinética.....	6
2.1.3. Análisis cinético experimental.....	7
2.1.3.1. Método Integral.....	8
2.1.3.2. Método Diferencial.....	10
2.1.3.3. Método de Velocidades Iniciales...	11
2.2. Espectrofotometría.....	13
2.2.1. Espectrofotómetro.....	13
2.2.2. Longitud de onda óptima.....	13
2.2.3. Transmitancia y absorbancia.....	14
2.2.4. Ley de Lambert-Beer.....	15

2.3.	Azul de metileno.....	16
2.4.	Ácido ascórbico.....	16
2.5.	Reacción ácido ascórbico-azul de metileno.....	16
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	19
3.1.	Variables.....	19
3.1.1.	Descripción de variables a manipular.....	19
3.2.	Delimitación del campo de estudio.....	20
3.3.	Recursos humanos disponibles.....	21
3.4.	Recursos materiales disponibles.....	21
3.4.1.	Cristalería y equipo.....	21
3.4.2.	Reactivos.....	22
3.5.	Técnica cuantitativa.....	22
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información.....	23
3.6.1.	Preparación de reactivos.....	23
3.6.2.	Determinación de la solución intermedia y fijar longitud de onda óptima.....	24
3.6.3.	Curvas de calibración.....	25
3.6.4.	Cinética con respecto al azul de metileno.....	25
3.6.5.	Cinética con respecto al ácido ascórbico.....	26
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	26
3.7.1.	Plan de análisis de los resultados.....	29
3.7.1.1.	Métodos y modelos de los datos según tipo de variables.....	29
3.7.1.2.	Programas a utilizar para análisis de datos.....	30
3.8.	Análisis estadístico.....	30
3.8.1.	Error de incertidumbre.....	31

3.8.2.	Error de precisión.....	31
3.8.3.	Error de exactitud.....	32
3.8.4.	Análisis de varianza	32
4.	RESULTADOS.....	35
4.1.	Determinación de longitud de onda óptima	35
4.1.1.	Curvas espectrales a diferentes concentraciones.....	35
4.1.2.	Corridas para longitud de onda óptima de una solución de azul de metileno 8,00E-05 M.....	38
4.2.	Absortividad.....	42
4.2.1.	Curva de calibración para un rango de concentraciones de [2,00E-05, 5,00E-04] M	42
4.2.2.	Curvas de calibración para un rango de concentraciones de [4,00E-06, 2,00E-05] M	43
4.3.	Método de Velocidades Iniciales.....	48
4.4.	Método Diferencial.....	49
4.4.1.	Gráficas para una temperatura de 23 °C.....	49
4.4.2.	Gráficas para una temperatura de 35 °C.....	52
4.4.3.	Gráficas para una temperatura de 50 °C.....	54
4.4.4.	Gráficas para soluciones con metanol como solvente.	56
4.5.	Órdenes de reacción parciales y globales	58
4.6.	Constante cinética de reacción	59
4.7.	Resultados de errores	61
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	63
5.1.	Determinación de longitud de onda óptima	64
5.2.	Absortividades	65

5.3.	Método de Velocidades Iniciales	67
5.4.	Método Diferencial	68
5.5.	Constante cinética.....	69
5.6.	Errores	71
CONCLUSIONES		75
RECOMENDACIONES		77
BIBLIOGRAFÍA.....		79
APÉNDICES		81

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Reacción de reducción del azul de metileno con ácido ascórbico	17
2.	Preparación de soluciones	23
3.	Curva espectral a una concentración de azul de metileno de 5,00E-02 M	35
4.	Curva espectral a una concentración de azul de metileno de 1,00E-02 M	36
5.	Curva espectral a una concentración de azul de metileno de 2,00E-03 M	36
6.	Curva espectral a una concentración de azul de metileno de 4,00E-04 M	37
7.	Curva espectral a una concentración de azul de metileno de 8,00E-05 M	37
8.	Curva espectral 1	39
9.	Curva espectral 2	39
10.	Curva espectral 3	40
11.	Curva espectral 4	40
12.	Curva espectral 5	41
13.	Curva de calibración para concentraciones de azul de metileno de 2,00E-05 M a 5,00E-04 M.	43
14.	Curva de calibración para una temperatura de 23 °C	45
15.	Curva de calibración para una temperatura de 35 °C	45
16.	Curva de calibración para una temperatura de 50 °C	46
17.	Curva de calibración para una temperatura de 50 °C	46

18.	Gráfica linealizada del Método de Velocidades Iniciales a temperatura ambiente.....	48
19.	Gráfica linealizada del Método de Velocidades Iniciales con metanol como solvente.	49
20.	Corrida 1: 23 °C.....	50
21.	Corrida 2: 23 °C.....	51
22.	Corrida 3: 23 °C.....	51
23.	Corrida 1: 35 °C.....	52
24.	Corrida 2: 35 °C.....	53
25.	Corrida 3: 35 °C.....	53
26.	Corrida 1: 50 °C.....	54
27.	Corrida 2: 50 °C.....	55
28.	Corrida 3: 50 °C.....	55
29.	Corrida 1: con metanol.	56
30.	Corrida 2: con metanol.	57
31.	Corrida 3: con metanol.	57
32.	Ecuación de Arrhenius linealizada.....	60

TABLAS

I.	Variables a manipular.....	19
II.	Descripción.....	20
III.	Tabla de longitud de onda óptima.....	27
IV.	Tabla de curvas de calibración.....	27
V.	Cinética con respecto al azul de metileno.....	28
VI.	Cinética con respecto al ácido ascórbico.....	28
VII.	Longitud de onda óptima para cada curva espectral.....	38
VIII.	Longitud de onda óptima para cada corrida.....	41

IX.	Absorbancias para las concentraciones de azul de metileno de 2,00E-05 M a 5,00E-04 M.	42
X.	Absorbancias para una temperatura de 23 °C	44
XI.	Descripción de las gráficas de curvas de calibración: absorbancia en función de la concentración.....	44
XII.	Análisis de varianza para la comparación de absortividades a diferentes temperaturas.	47
XIII.	Absortividades finales	47
XIV.	Tabla de descripción de las gráficas del Método de Velocidades Iniciales.....	48
XV.	Tabla de descripción de las gráficas a 23 °C.	50
XVI.	Tabla de descripción de las gráficas a 35 °C	52
XVII.	Tabla de descripción de las gráficas a 50 °C	54
XXVIII.	Tabla de descripción de las gráficas a 50 °C	56
XIX.	Orden parcial con respecto al ácido ascórbico	58
XX.	Órdenes parciales con respecto al azul de metileno.	58
XXI.	Totales y órdenes globales	59
XXII.	Constantes cinéticas a diferentes temperaturas.....	59
XXIII.	Tabla de descripción de la gráfica de Arrhenius.....	60
XXIV.	Datos constante cinética	60
XXV.	Errores para el orden de reacción con respecto al azul de metileno.	61
XXVI.	Errores para el orden de reacción con respecto al ácido ascórbico.	61
XXVII.	Errores para la constante cinética	62
XXVIII.	Errores para la energía de activación y factor de colisiones.....	62

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
<i>A</i>	Absorbancia
<i>a</i>	Absortividad [L/(cm*mol)]
Asc	Ácido ascórbico
HCl	Ácido clorhídrico
<i>cm</i>	Centímetros
<i>CV</i>	Coefficiente de variación
a, b, c, d	Coefficientes estequiométricos hipotéticos.
A, B, C, D	Compuestos hipotéticos
C_i	Concentración del compuesto i [mol/L]
[X]	Concentración del compuesto "X" [mol/L]
k_i	Constante cinética de la reacción
R	Constante universal de los gases ideales [8,314 J/mol K]
D_E	Dato experimental
D_T	Dato teórico
ρ	Densidad
σ	Desviación estándar
dx	Diferencial con respecto a la variable "x"
∝	Directamente proporcional
E_A	Energía de activación molar [J/mol], [kJ/mol]
E_i	Errores de la categoría i
E	Exponencial, notación científica
A	Factor de frecuencia de colisiones de Arrhenius

$^{\circ}\text{C}$	Grados centígrados
<i>g</i>	Gramo
H_{1i}	Hipótesis alternativas
H_{0i}	Hipótesis nulas
$\Delta x, \delta x$	Incerteza absoluta de la variable “x”
\int	Integral
<i>I</i>	Intensidad lumínica [cd]
<i>b</i>	Intercepto
MB⁺	Ion positivo de la molécula de azul de metileno
<i>J</i>	Joule
<i>K</i>	Kelvin
<i>kg</i>	Kilogramo
<i>kJ</i>	Kilojoule
<i>lb</i>	Libras
<i>L</i>	Litros
$\log_{10}; \text{Log}$	Logaritmo de base 10
$\ln(x)$	Logaritmo natural del parámetro “x”
<i>l</i>	Longitud
$\lambda_{\text{óptima}}$	Longitud de onda óptima
<i>m</i>	Masa
m	Metros, pendiente
<i>ml</i>	Mililitros
<i>M</i>	Molar [mol/L]
<i>mol</i>	Moles; cantidad de sustancia
<i>nm</i>	Nanómetros
<i>N</i>	Número de datos
α	Orden parcial de reacción con respecto al componente A (azul de metileno)

β	Orden parcial de reacción con respecto al componente B (ácido ascórbico)
γ	Orden parcial de reacción con respecto al componente C
\forall	Para todo
F	Parámetro de Fischer
PM	Peso molecular
\bar{x}	Promedio de la variable "x"
<i>s</i>	Segundos
Σ	Sumatoria
\mathbb{C}	Término constante
T	Temperatura [K]
t	Tiempo
T	Transmitancia
$\%T$	Transmitancia como magnitud porcentual
x_0	Valor inicial del parámetro "x"
S	Varianza
r_A	Velocidad de reacción [mol/L s]
V	Volumen

GLOSARIO

Ascorbato	Ion procedente del ácido ascórbico.
Blanco	Parámetro de calibración que define el cero para la magnitud de estudio.
Calibración	Acción de ajustar, con la mayor exactitud posible, las indicaciones de un instrumento de medida con los valores de la magnitud que ha de medir.
Correlación	Correspondencia o relación recíproca entre dos o más series de parámetros.
Cualitativo	Referente a las cualidades del fenómeno sin realizar mediciones formales.
Cuantitativo	Referente a parámetros medibles del fenómeno que lo caracterizan como tal.
Empírico	Perteneiente o relativo a la experiencia.
Exactitud	Puntualidad y fidelidad en la ejecución de algo.
Incerteza absoluta	Valor que denota el radio en el que se puede encontrar una medición a partir del valor medido.

Linealización	Correlación lineal entre dos parámetros.
Óptimo	Sumamente bueno, que no puede ser mejor.
Oxidación	Proceso en el que un compuesto pierde electrones, aumentando su número de oxidación.
Óxido-reducción	Reacción química que involucra un intercambio de electrones provocando un cambio de estados de oxidación.
Precisión	Medida de la repetitividad de una medición, método o experimentación.
Radiación electromagnética	Combinación de campos eléctricos y magnéticos oscilantes que se propagan a través del espacio transportando energía.
Reacción química	Proceso químico en el que una o más sustancias cambian su estructura molecular y enlaces.
Reducción	Proceso en el que un compuesto gana electrones, reduciendo su número de oxidación.

RESUMEN

En esta investigación se presentan los resultados del proceso experimental de la determinación de la cinética de la reacción de reducción de azul de metileno con ácido ascórbico, utilizando métodos espectrofotométricos para poder determinar las variables cinéticas relacionadas con dicha reacción.

El objetivo principal fue determinar una metodología experimental funcional para el análisis de la cinética, mediante el uso de un espectrofotómetro UV mini 1240 marca Shimadzu que cumpliera con parámetros de precisión y exactitud aceptables.

Dicha metodología experimental se diseñó para poder ser evaluada mediante los métodos cinéticos conocidos como Método Diferencial y Método de Velocidades Iniciales. El Método de Velocidades Iniciales se utilizó para determinar el orden parcial con respecto al ácido ascórbico, obteniendo un valor aproximado de $0,367 \pm 0,349$.

Por otra parte el Método Diferencial fue utilizado para determinar el orden parcial con respecto al azul de metileno, la constante cinética a cada temperatura y la energía de activación de la reacción, obteniendo valores de $0,781 \pm 0,501$ para el orden parcial y una constante cinética que se adecúa a la ecuación de Arrhenius siguiente: $k = 1,21E + 58 * e^{\frac{356300}{RT}}$.

Con base en los resultados de error, se puede concluir que la metodología propuesta cuenta con valores aceptables de precisión y exactitud para condiciones de trabajo controladas.

OBJETIVOS

General

Verificar si la cinética de la reacción del sistema “azul de metileno – ácido ascórbico” puede ser determinada, mediante una técnica espectrofotométrica y aplicada didácticamente como práctica del Laboratorio de Físicoquímica 2.

Específicos

1. Verificar si la práctica propuesta es didácticamente viable para su uso dentro del Laboratorio.
2. Evaluar, si es posible para el estudiante, determinar la concentración de azul de metileno presente en una muestra por medio de espectroscopía.
3. Proponer una metodología experimental que involucre el uso de un espectrofotómetro, para obtener la concentración de azul de metileno experimentalmente utilizando la ley de Lambert Beer.
4. Verificar que la reacción de azul de metileno con ácido ascórbico sea didácticamente demostrable, mediante el Método Diferencial y el Método de Velocidades Iniciales.
5. Determinar estadísticamente los errores empíricos asociados a la experimentación y su efecto en los resultados obtenidos.

Hipótesis

Los resultados obtenidos mediante espectrofotometría para la práctica “Cinética de reacción: azul de metileno – ácido ascórbico” son confiables con base en un límite de aceptabilidad de 10 % de error máximo.

Hipótesis nulas

- H_{01} : el error de incertidumbre utilizando espectrofotometría es significativamente menor al error máximo del 10 %.
- H_{02} : el error de precisión utilizando espectrofotometría es significativamente menor al error máximo del 10 %.
- H_{03} : el error de exactitud utilizando espectrofotometría es significativamente menor al error máximo del 10 %.

Hipótesis alternativas

- H_{11} : el error de incertidumbre utilizando espectrofotometría no es significativamente menor al error máximo del 10 %.
- H_{12} : el error de precisión utilizando espectrofotometría no es significativamente menor al error máximo del 10 %.
- H_{13} : el error de exactitud utilizando espectrofotometría no es significativamente menor al error máximo del 10 %.

INTRODUCCIÓN

El estudio de la cinética química se ha extendido abarcando reacciones que van desde reacciones complejas de importancia industrial, hasta reacciones simples enfocadas al uso didáctico. En cualquiera de los casos es importante conocer las bases de la cinética química y saber la forma correcta de recopilar los datos cinéticos correspondientes.

Como todo fenómeno, la cinética debe basarse de una ecuación empírica para que su estudio sea objetivo. Dicha ecuación se conoce como la Ley de Velocidad y relaciona la velocidad de reacción con la concentración de los reactivos, órdenes de reacción con respecto a cada reactivo y una constante de proporcionalidad conocida como constante cinética.

En otro ámbito, es de suma importancia que los experimentadores cuenten con métodos efectivos para poder encontrar todos los parámetros que conforman la Ley de Velocidad para una reacción específica. Es por ello que se han desarrollado diversos métodos cinéticos, como el Método Diferencial, de velocidades iniciales o el Método Integral, que permiten obtener mediante modelos matemáticos los datos requeridos para describir la cinética de una reacción específica.

Es por ello que dentro del Laboratorio de Fisicoquímica 2, FIUSAC, es importante que el alumno sea capaz de aprender el fundamento teórico-práctico de la cinética química y poder interpretar los resultados obtenidos de una experimentación con fundamentos objetivos e ingenieriles.

1. ANTECEDENTES

En el 2010, Luis Rodolfo Castro García realizó en la Universidad de San Carlos de Guatemala la investigación a nivel de tesis *Diagnóstico de la aplicación de un sistema de gestión de calidad a través de la norma iso/iec 17025:2005, en el Laboratorio de Fisicoquímica, y validación del ensayo “Determinación de la constante de disociación ácida del rojo de metilo”*. Donde se determinó que el método de ensayo utilizado para la determinación de la constante de disociación ácida del rojo de metilo, es válido en su procedimiento, así también como su robustez ante factores externos como temperatura, humedad y tipo de reactivo. También pudo determinarse que el método utilizado produce resultados precisos y exactos.

En 1997, T. Snehalatha, K. C. Rajanna y P. K. Saiprakash realizaron en la Universidad de Osmania, Hyderabad, India, la investigación llamada *Methylene Blue–Ascorbic Acid; An Undergraduate Experiment in Kinetics*. En dicho trabajo se determinó la cinética de la reacción de azul de metileno con ácido ascórbico, evaluando su comportamiento al variar las concentraciones iniciales de azul de metileno, ácido ascórbico y de catalizador, siendo estos ácido clorhídrico o ácido sulfúrico. De acuerdo a los resultados obtenidos determinaron dos mecanismos de reacción con base en las etapas en equilibrio estimadas para la reacción estudiada.

En 1999, Sarah Mowry y Paul J. Ogren realizaron en la Universidad Earlham College, Richmond, la investigación llamada *Kinetics of Methylene Blue Reduction by Ascorbic Acid*, donde se estudió la cinética de la reacción entre el azul de metileno y ácido ascórbico. Para dicho estudio se realizó un análisis

espectrofotométrico en conjunto con el método cinético diferencial para trazar la reacción de primer orden con respecto al azul de metileno. También se evaluó el efecto de la constante cinética dependiendo de la concentración inicial de ácido ascórbico y ácido clorhídrico, donde este último actúa como catalizador de la reacción. Con base en los resultados obtenidos se definió la Ley de Velocidad de la siguiente manera:

$$\frac{d[\text{MB}^+]}{dt} = -\{k_0 + k_1[\text{HCl}]\}[\text{Asc}][\text{MB}^+] = -k_{\text{exp}}[\text{MB}^+]$$

Donde combinando los resultados se encontró que $k_0 = 1,0 (\pm 0,2) \text{ M}^{-1} \text{ s}^{-1}$ y $k_1 = 5,3 (\pm 0,7) \text{ M}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Finalmente en enero de 2012, El-Aila, H. J., profesor asistente del Departamento de Química de la Universidad de Al-Aqsa en Palestina, menciona ciertas propiedades de la cinética de reacción de azul de metileno con ácido ascórbico como parte del volumen 49 del libro: *Tenside Surfactants Detergents*. En dicha publicación indican que el ion ascorbato es un agente reductor muy efectivo del azul de metileno en condiciones ambientales. También ha sido experimentado el efecto de agentes salinizantes, donde se evidenció que la urea producía un incremento en la velocidad de reacción de reducción. Se reveló que la reacción funciona con pseudo órdenes de primer grado.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Cinética química

La cinética química es una rama de la fisicoquímica que se encarga del estudio de la velocidad con que se da una reacción y los factores que afectan a dicha velocidad.

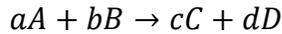
Su estudio es netamente empírico y experimental, dado que no puede observarse directamente el desarrollo de una reacción. Sin embargo, con la manipulación de parámetros establecidos como concentraciones y temperaturas, es posible predecir el comportamiento microscópico de la reacción con mucha certeza, estableciendo así un mecanismo de reacción específico.

2.1.1. Velocidad de reacción

El término “velocidad de reacción” se refiere a la rapidez con que ocurre un proceso de transformación química. Se define como la cantidad de moles de sustancia que reaccionan por unidad de tiempo por unidad de volumen.

En términos más coloquiales se refiere al cambio de la concentración de un componente en función del tiempo.

Dada una reacción genérica donde A y B son reactivos y C y D son los productos de la misma, siendo a , b , c y d sus respectivos coeficientes estequiométricos se tiene:



Para la reacción descrita, la velocidad de reacción puede determinarse matemáticamente como:

$$r = -\frac{1}{a} * \frac{dC_A}{dt} = -\frac{1}{b} * \frac{dC_B}{dt} = \frac{1}{c} * \frac{dC_C}{dt} = \frac{1}{d} * \frac{dC_D}{dt}$$

Esto quiere decir que la velocidad de reacción es la rapidez con que se producen los productos de la reacción, o bien la rapidez con que se consumen los reactivos de la misma. Generalmente se toma como base de cálculo el componente que pueda cuantificarse con mayor simplicidad, utilizando la fórmula correcta dependiendo si es un reactivo o producto.

2.1.2. Ley de Velocidad

La velocidad de reacción depende estrechamente de la temperatura y la composición de los reactivos. Debido a esto se generó una relación matemática conocida como la Ley de Velocidad o expresión cinética:

$$-r = k(T) * C_A^\alpha C_B^\beta$$

Esta establece la proporcionalidad entre las concentraciones de los reactivos elevados a un orden de reacción (α , β) respectivo de cada reactivo y una constante de proporcionalidad k .

2.1.2.1. Orden de reacción

El orden de reacción define el grado de proporcionalidad de la velocidad de una reacción en relación con cada uno de sus reactivos reaccionantes. Existen dos tipos de orden de reacción:

- Orden parcial: se trata del exponente que acompaña a cada concentración y físicamente indica la molecularidad de dicho reactivo en la reacción.
- Orden global: es la suma de los órdenes parciales de cada reactivo y físicamente indica la molecularidad de la reacción global.

El orden de reacción puede brindar información importante de las características de una reacción. Evaluando este parámetro se puede determinar directamente si una reacción es elemental o no.

Las reacciones elementales son las que se dan en un solo paso. Sus órdenes parciales son iguales a los coeficientes estequiométricos de la reacción relacionada con la cinética evaluada. Por otra parte, las reacciones no elementales presentan varios pasos en equilibrio para desarrollarse. Debido a eso los órdenes parciales generalmente son racionales y no corresponden al número estequiométrico de la reacción global.

Por su parte, la molecularidad de una reacción se refiere a la cantidad de componentes que chocan simultáneamente para dar origen a la reacción. Pueden ser unimolecular, bimolecular o termoleculares si al reaccionar chocan uno, dos o tres componentes, respectivamente.

A pesar que las reacciones termoleculares existen en la naturaleza, son muy escasas debido que son probabilísticamente imposibles ya que es necesario que 3 moléculas específicas se encuentren dentro de un espacio determinado, con la suficiente energía y orientación adecuada para que se desarrolle la reacción. La combinación de estos elementos hace que sea muy difícil cumplir con todas las condiciones sujetas únicamente al azar.

2.1.2.2. Constante cinética

La Ley de Velocidad se vale de una constante de proporcionalidad que está en función de la temperatura para describir su comportamiento a modificaciones de la misma. Esta constante se conoce como velocidad específica de reacción o constante cinética y es una función de la temperatura del sistema.

El químico sueco Arrhenius fue quien sugirió modelar la dependencia de la constante cinética respecto a la temperatura con una ecuación que lleva su nombre: la ecuación de Arrhenius:

$$k(T) = Ae^{-E_A/RT}$$

Esta correlación empírica se ajusta a la tendencia de la mayoría de las constantes cinéticas dentro de intervalos de temperatura relativamente amplios. Sin embargo, no es la única correlación existente para modelar su comportamiento. Aún así se acostumbra utilizar la ecuación de Arrhenius debido a su simplicidad y amplia aceptación.

Otro dato importante que considera la ecuación de Arrhenius es la energía de activación de la reacción. La energía de activación es la energía mínima necesaria que deben tener dos componentes colisionando para que ocurra la reacción. Este parámetro puede obtenerse mediante una linealización logarítmica de la ecuación de Arrhenius obteniendo:

$$\ln k = \ln A - \frac{E_A}{R} * \left(\frac{1}{T}\right)$$

Para la cual se grafica el inverso de la temperatura absoluta en el eje de las abscisas y el logaritmo natural de la constante cinética en el eje de las ordenadas, obteniendo la energía de activación como parte de la pendiente de esa línea.

2.1.3. Análisis cinético experimental

En el trabajo de laboratorio es de suma importancia contar con técnicas para determinar la cinética de una reacción. Con esto se refiere a deducir la Ley de Velocidad que modela dicha reacción para cualquier proporción de reactivos y temperatura. Dicho de otro modo, obtener experimentalmente el valor de los órdenes parciales y orden global de la reacción, así como el valor de la constante cinética y la energía de activación de la reacción.

Para procesos a volumen constante se han desarrollado diversos sistemas y métodos para encontrar los órdenes y constante cinética. Entre ellos se pueden mencionar los siguientes métodos:

- Integral
- Diferencial
- Velocidades Iniciales

2.1.3.1. Método Integral

El fundamento de este se basa en la resolución de la Ley de Velocidad como una ecuación diferencial con base en uno o ambos reactivos.

Para una reacción de descomposición de la forma:



La Ley de Velocidad correspondiente a la misma se expresa así:

$$\frac{-dC_A}{dt} = k * C_A^\alpha$$

Resolviendo la ecuación diferencial por separación de variables se obtiene la siguiente expresión:

$$\int \frac{-dC_A}{C_A^\alpha} = \int k * dt$$
$$\frac{-C_A^{1-\alpha}}{1-\alpha} = k * t + \mathbb{C}; \forall \alpha > 0 \text{ donde } \alpha \neq 1$$
$$-\ln C_A = k * t + \mathbb{C}; \text{ donde } \alpha = 1$$

Como puede observarse, las resoluciones a la ecuación diferencial planteada para un orden α de reacción corresponden a un modelo lineal, donde el eje de las abscisas corresponde al tiempo de reacción y las ordenadas corresponde a una función de la concentración del reactivo a ese tiempo. Dicho esto, se puede definir que para utilizar el Método Integral debe de contarse con los datos de concentración de un reactivo a medida que transcurre la reacción en el tiempo.

En caso que la reacción sea de orden cero la dependencia de la concentración de reactivo con respecto de la temperatura sería:

$$C_A = -kt + C_{A_0}$$

Para una reacción de primer orden la ecuación de concentración de reactivo en función del tiempo vendría siendo:

$$\ln(C_A) = kt + \ln(C_{A_0})$$

Para una reacción de segundo orden la misma resolución tiene la siguiente forma:

$$\frac{1}{C_A} = kt - \frac{1}{C_{A_0}}$$

Se puede observar que independientemente del orden de reacción existe un modelo lineal que se adecúa a dicho orden. Con base en este postulado se desarrolla el Método Integral. Este método consiste en asumir un orden hipotético y comprobar estadísticamente que tan lineal se comporta el modelo correspondiente al orden asumido.

Para poder evaluar cuantitativamente la linealidad de un método se utiliza una regresión lineal con los tres órdenes anteriormente planteados. La gráfica que se adecúe más a la linealidad poseerá un coeficiente de correlación R más cercano a 1, donde se considera un rango aceptable valores mayores que 0,999.

Paralelamente el valor de la constante cinética puede determinarse mediante la pendiente de la gráfica de linealización.

2.1.3.2. Método Diferencial

Al igual que el Método Integral el Método Diferencial requiere que por medio de la experimentación, se obtengan datos de concentración del reactivo con respecto al tiempo.

El Método Diferencial se basa en la definición de la velocidad de reacción:

$$r_A = \frac{-dC_A}{dt}$$

Donde matemáticamente la velocidad de reacción es la pendiente de la gráfica $C_A(t)$ para un tiempo "t" determinado. Dicha pendiente puede encontrarse ajustando un modelo polinomial de grado 4 o mayor a los datos de concentración en función del tiempo. La derivada de dicho modelo corresponde a la velocidad de reacción en el tiempo t. También puede conseguirse una buena aproximación por diferencias finitas en intervalos cortos de tiempo.

De esta forma puede correlacionarse la velocidad de reacción con la concentración de un reactivo específico. Con esta información se aplica la Ley de Velocidad:

$$r_A = kC_A^\alpha C_B^\beta C_C^\gamma \dots$$

Aplicándole logaritmo natural a ambos lados de la ecuación se obtiene:

$$\ln r_A = \ln k + \alpha * \ln C_A + \beta * \ln C_B + \gamma * \ln C_C \dots$$

Con lo que se obtiene otro modelo linealizable de la forma:

$$y = mx + b$$

$$y = \ln r_A$$

$$x = \ln C_A$$

$$m = \alpha$$

$$b = \ln k + \beta * \ln C_B + \gamma * \ln C_C \dots$$

Con esta ecuación, el método indica que si se grafican los datos empíricos del logaritmo natural de la velocidad de reacción en función del logaritmo natural de la concentración, correspondiente a diferentes tiempos, se obtendrá una tendencia lineal, donde la pendiente de la recta es el orden parcial con respecto al reactivo analizado y el intercepto de la misma con el eje de las ordenadas es función de la constante cinética, el orden parcial de los otros reactivos y la concentración de los mismos.

Este método es muy simple y eficaz al momento de obtener valor de órdenes parciales de reacción. Pero presenta complicación al calcular la constante cinética debido que el intercepto es función de varias variables. Es por ello conveniente comparar los datos de orden de reacción obtenidos por el Método Diferencial, con la correlación obtenida en el Método Integral.

2.1.3.3. Método de Velocidades Iniciales

El Método de Velocidades Iniciales se parece mucho al Método Diferencial, tanto en planteamiento como en estructura.

Su fundamento teórico se basa en que la velocidad inicial de una reacción estará determinada por la concentración inicial de los reactivos a reaccionar.

Por lo tanto, para utilizar el Método de Velocidades Iniciales se requiere una serie de datos en las que se calcule la velocidad instantánea de reacción al inicio de la misma, con diferentes ensayos cambiando la concentración inicial de uno de los reactivos.

Este método presenta la ventaja que no es necesario trazar la concentración de un reactivo en función del tiempo, como en el Método Diferencial o Integral, ya que en muchas ocasiones no es posible trazar el comportamiento empírico de un reactivo en el transcurso de la reacción (o resultaría demasiado caro realizarlo). Por lo que puede determinarse la cinética de reacciones que en su defecto, no podría determinarse por los demás métodos.

Por otra parte, el Método de Velocidades Iniciales presenta un problema al ser físicamente imposible calcular la velocidad inicial de una reacción. Puede llegar a calcularse el límite de la velocidad de reacción cuando el tiempo tiende a 0 con muy poco error. Pero es prácticamente imposible calcular la magnitud exacta de dicho valor.

Para desarrollar el Método de Velocidades Iniciales se parte de la Ley de Velocidad:

$$r_{A_0} = kC_{A_0}^{\alpha}C_{B_0}^{\beta} \dots$$

La cual se lienaliza de la misma forma que el Método Diferencial obteniendo la siguiente ecuación:

$$\ln r_{A_0} = \ln k + \alpha * \ln C_{A_0} + \beta * \ln C_{B_0} \dots$$

Donde la pendiente de la gráfica corresponde al orden parcial del reactivo cuya concentración es manipulada para cambiar la velocidad de reacción

2.2. Espectrofotometría

Es un método de análisis óptico que consiste en comparar la radiación de absorbida o transmitida por una solución que contiene cierta concentración de un soluto. Dicho método hace uso de un equipo especial capaz de medir la absorción de radiación a diferentes longitudes de onda denominado espectrofotómetro.

2.2.1. Espectrofotómetro

Es un instrumento capaz de proyectar y medir la cantidad de un haz de luz monocromática, que es absorbido por la sustancia analizada.

Consta de una lámpara emisora de luz, que abarca el espectro electromagnético desde la zona infrarroja hasta la ultravioleta, un detector, capaz de cuantificar la cantidad de luz que atraviesa la muestra analizada, y el compartimiento de la muestra en sí, para la cual se utiliza una celda o cubeta especial, generalmente fabricada con cuarzo o plástico.

2.2.2. Longitud de onda óptima

El principio de la espectrofotometría se fundamenta en que todas las sustancias pueden absorber radiación, aunque no siempre en la misma gama de longitudes de onda. Hay compuestos que absorben más en la región visible, otros en infrarrojo, otras sustancias absorben la ultravioleta, entre otros casos.

La longitud de onda donde se genera la mayor absorción de luz para un componente en específico se denomina la longitud de onda óptima para dicho

componente. Esta se utiliza para reducir la incerteza de las mediciones obtenidas, ya que al trabajar con longitudes de onda diferentes a la óptima es más probable que compuestos ajenos al análisis sean determinados por error.

2.2.3. Transmitancia y absorbancia

La transmitancia óptica es una magnitud que expresa el porcentaje de energía que atraviesa un cuerpo, en forma de radiación electromagnética.

En otras palabras es una relación entre la cantidad de luz incidente a la muestra y la cantidad de luz emitida a través de ella. Matemáticamente se escribe de la siguiente forma:

$$T = \frac{I}{I_0}$$

En espectrofotometría se utiliza más comúnmente el porcentaje de transmitancia, que no es más que la magnitud de transmitancia descrita como una fracción porcentual (%T).

La absorbancia surge de la transmitancia y se define como la magnitud de radiación absorbida por un compuesto. Es una medida logarítmica de la transmitancia, matemáticamente expresado como:

$$A = -\log_{10}\left(\frac{I}{I_0}\right) = -\log_{10}(T) = 2 - \log_{10}(\%T)$$

La importancia de la absorbancia es que se relaciona con la concentración de soluto analizado y la longitud de paso óptico por medio de la Ley de Lambert-Beer.

2.2.4. Ley de Lambert-Beer

La Ley de Lambert-Beer surge de los trabajos en conjunto de los científicos Johann Heinrich Lambert, un matemático, físico, astrónomo y filósofo alemán de origen francés; y August Beer, un físico y matemático alemán. La Ley de Beer postula que la absorbancia de una solución es directamente proporcional a la concentración de dicha solución. Lambert por su parte, determinó que la absorbancia es directamente proporcional a la distancia que tiene que recorrer el haz de luz incidente.

Combinando ambas leyes se determina que la absorbancia tiene que ser directamente proporcional a la concentración y a la distancia recorrida por la luz (conocida como longitud de paso óptico).

$$A \propto C * l$$

$$A = a * C * l$$

Donde a es la constante de proporcionalidad, conocida como coeficiente de absorptividad, índice de absorptividad, índice de absorción o simplemente absorptividad. Dicha constante es propia de cada componente y función de la longitud de onda analizada.

2.3. Azul de metileno

Es un compuesto químico heterocíclico aromático con fórmula molecular $C_{16}H_{18}N_3ClS$, conocido científicamente como cloruro de metiltionina.

Físicamente, a condiciones estándar, se presenta como cristales de color verde oscuro con brillo bronceado. Sin embargo, en soluciones acuosas presenta una coloración azul profundo, de donde viene su nombre coloquial. Es soluble en agua y cloroformo, y medianamente soluble en etanol.

Sus aplicaciones varían desde la medicina a la microbiología. En medicina sirve como antiséptico y cicatrizante interno. También es utilizado como tratamiento para pacientes con Alzheimer y Síndrome de Parkinson. En acuicultura es usado para tratar las infecciones fúngicas. En microbiología es empleado como tinte para muestras y para cuantificar la calidad de la leche.

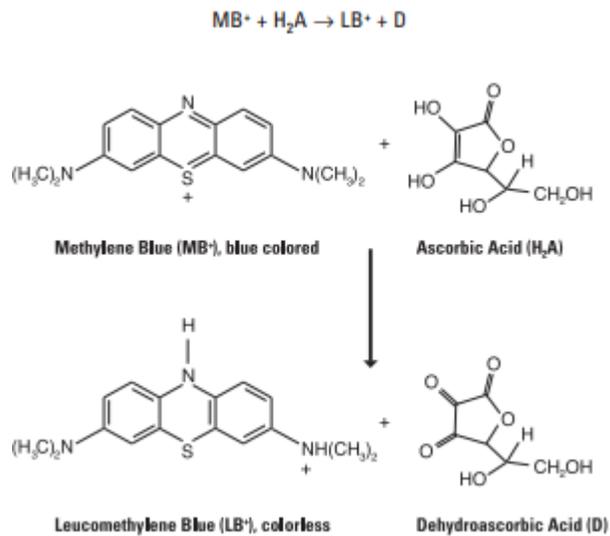
2.4. Ácido ascórbico

Es un ácido orgánico sólido e incoloro con propiedades antioxidantes provenientes del azúcar. Su enantiómero L se conoce coloquialmente como vitamina C.

2.5. Reacción ácido ascórbico-azul de metileno

Consiste en una reacción óxido-reducción en la que el azul de metileno se reduce y el ácido ascórbico se oxida. El ácido ascórbico pasa a ser ácido dehidroascórbico; mientras tanto el azul de metileno se convierte en azul de leucometileno.

Figura 1. **Reacción de reducción del azul de metileno con ácido ascórbico**



Fuente: MOWRY, Sarah; OGREN, Paul J, *Kinetics of Methylene Blue Reduction by Ascorbic Acid*.

p. 4

La característica principal de esta reacción es que el azul de metileno tiene una coloración azul intensa, mientras que el azul de leucometileno es incoloro; lo cual permite que la reacción pueda cuantificarse mediante métodos ópticos o espectrofotométricos.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

A continuación se denotan las variables dependientes e independientes que fueron trabajadas en la experimentación.

Tabla I. **Variables a manipular**

Variable	Dimensional	Dependiente	Independiente
Concentración inicial	M		X
Concentración	M	X	
Longitud de onda óptima	nm	X	
Tiempo	s		X
Absorbancia	--	X	
Absortividad	$L/(cm * mol)$	X	
Longitud de paso óptico	cm		X
Órdenes parciales	--	X	
Orden global	--	X	
Constante cinética	--	X	
Energía de activación	kJ/mol	X	

Fuente: elaboración propia.

3.1.1. Descripción de variables a manipular

Estos son los parámetros fijos de control de la experimentación y los rangos en los que fueron variados para evidenciar su efecto en los resultados obtenidos.

Tabla II. Descripción

Variable	Dimensional	Rango de variación
Temperatura	K	[298,325]
Concentración inicial (azul de metileno)	M	$[2 \times 10^{-5}, 4 \times 10^{-6}]$
Concentración inicial (ácido ascórbico)	M	[0,01,0,05]

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación del campo de estudio

El estudio se limitará a determinar si es posible obtener mejores resultados para la práctica “Cinética de reacción: azul de metileno – ácido ascórbico” del Laboratorio de Físicoquímica 2, mediante la implementación de técnicas de espectrofotometría para calcular las concentraciones de azul de metileno.

Primero se determinará la concentración ideal de azul de metileno para calcular la longitud de onda óptima del mismo, mediante el trazado de una curva espectral de 400 a 700 nm. También se desarrollará una metodología alternativa a la encontrada en el *Manual del estudiante del Laboratorio de fisicoquímica 2, en su versión 2012.2*, que involucre el uso de un espectrofotómetro UV mini 1240 marca Shimadzu y se adecúe a los datos requeridos para aplicar los Métodos Diferencial y de Velocidades Iniciales.

Luego se encontrará la concentración inicial de azul de metileno y ácido ascórbico ideales para poder aplicar los Métodos Diferencial y de Velocidades Iniciales, buscando que la reacción no sea tan rápida para que pueda medirse sin prisa, ni tan lenta como para que sea imposible trazarla.

3.3. Recursos humanos disponibles

- Pablo Andrés Aldana Véliz: investigador
- Ing. César Ariel Villela Rodas: asesor
- Ing. William Eduardo Fagiani Cruz: coasesor

3.4. Recursos materiales disponibles

Descripción de los recursos físicos que fueron utilizados durante la fase experimental de la investigación.

3.4.1. Cristalería y equipo

- Espectrofotómetro UV mini 1240 marca Shimadzu
- Cubeta de cuarzo del espectrofotómetro de 1cm de longitud
- Balanza analítica marca Startorius
- Balones aforados de pyrex de volúmenes variables:
 - 25 ml
 - 50 ml
 - 100 ml
 - 500 ml
- Beakers de pyrex/kimax de volúmenes variables:
 - 50 ml
 - 250 ml
 - 400 ml
 - 1000 ml
- Tubos de ensayo de vidrio
- Plancha de calentamiento marca Corning con agitador

- Pipetas volumétricas de vidrio de volúmenes variables:
 - 1 ml
 - 5 ml
 - 10 ml
- Pipeta serológica de vidrio de 2 ml
- Soportes universales
- Pinzas
- Cronómetro
- Perillas de succión

3.4.2. Reactivos

- Azul de metileno grado reactivo marca Merck (25 g)
- Ácido ascórbico grado reactivo marca RGH (1 kg)
- Ácido sulfúrico grado reactivo marca Lafimarq (1L)
- Agua destilada marca Salvavidas
- Metanol grado industrial (1 galon)
- Bicarbonato de sodio grado comercial (4 lb)
- Acetona grado industrial (1 galon)

3.5. Técnica cuantitativa

El trabajo de investigación será de carácter cualitativo, cuantitativo y experimental mediante el uso de espectroscopía visible para determinar las concentraciones deseadas.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

En esta sección se muestran los cálculos y tablas realizadas para la recolección de los datos empíricos de la experimentación.

3.6.1. Preparación de reactivos

- Preparar 500 ml de H₂SO₄ 0,6 M.
- Preparar una solución madre de azul de metileno 0,05 M.
- Preparar las siguientes soluciones por dilución

Figura 2. Preparación de soluciones

Compuesto	Concentración	Aforada con:	Volumen
Azul de Metileno	2.0×10^{-5}	H ₂ SO ₄ 0.6 M	500 ml
Ácido Ascórbico	0.01 M	Agua	50 ml
Ácido Ascórbico	0.02 M	Agua	50 ml
Ácido Ascórbico	0.03 M	Agua	50 ml
Ácido Ascórbico	0.04 M	Agua	50 ml
Ácido Ascórbico	0.05 M	Agua	50 ml

Compuesto	Concentración	Aforada con:	Volumen
Ácido Ascórbico	0.01 M	Metanol al 25%	25 ml
Ácido Ascórbico	0.02 M	Metanol al 25%	25 ml
Ácido Ascórbico	0.03 M	Metanol al 25%	25 ml
Ácido Ascórbico	0.04 M	Metanol al 25%	25 ml
Ácido Ascórbico	0.05 M	Metanol al 25%	25 ml

Compuesto	Concentración	Aforada con:	Volumen
Azul de Metileno	4.00×10^{-5}	Agua	25 ml
Azul de Metileno	8.00×10^{-5}	Agua	25 ml
Azul de Metileno	1.20×10^{-5}	Agua	25 ml
Azul de Metileno	1.60×10^{-5}	Agua	25 ml
Azul de Metileno	2.00×10^{-5}	Agua	25 ml

Continuación de la figura 2.

Compuesto	Concentración	Aforada con:	Volumen
Ácido Ascórbico	0.03 M	H ₂ SO ₄ 0.6 M	50 ml
Azul de Metileno	4.00 x 10 ⁻⁵	Agua	50 ml

Compuesto	Concentración	Aforada con:	Volumen
Azul de Metileno	4.00 x 10 ⁻⁵	Metanol al 25 %	25 ml
Azul de Metileno	8.00 x 10 ⁻⁵	Metanol al 25 %	25 ml
Azul de Metileno	1.20 x 10 ⁻⁵	Metanol al 25 %	25 ml
Azul de Metileno	1.60 x 10 ⁻⁵	Metanol al 25 %	25 ml
Azul de Metileno	2.00 x 10 ⁻⁵	Metanol al 25 %	25 ml

Compuesto	Concentración	Aforada con:	Volumen
Ácido Ascórbico	0.03 M	H ₂ SO ₄ 0.6 M	25 ml
Azul de Metileno	4.00 x 10 ⁻⁵	Metanol al 25%	25 ml

Fuente: *Manual del estudiante del Laboratorio de fisicoquímica 2, versión 2012,2.* p. 17-18

3.6.2. Determinación de la solución intermedia y fijar longitud de onda óptima

- Fijar el blanco en el espectrofotómetro con agua desmineralizada.
- Tomar la solución madre de azul de metileno [0,5 M] y diluirla en un factor 1:10 a 50 ml.
- Generar la curva espectral para la solución obtenida.
- Si la curva presenta una tendencia suave y estable continuar, si no, diluir nuevamente en un factor 1:10 la solución intermedia y repetir el procedimiento hasta que se obtenga una tendencia suave y estable.
- Anotar la longitud de onda óptima brindada por el espectrofotómetro.

3.6.3. Curvas de calibración

Medir la absorbancia en la longitud de onda óptima encontrada de las soluciones de azul de metileno a diferentes concentraciones [2×10^{-5} , 4×10^{-6}], tanto las aforadas con agua como las aforadas con metanol.

3.6.4. Cinética con respecto al azul de metileno

- Fijar el blanco en el espectrofotómetro con agua desmineralizada.
- Agregar 5 ml de ácido ascórbico 0,03 M aforado con ácido sulfúrico en un tubo de ensayo que contenga 5 ml de solución de azul de metileno 4×10^{-5} M aforada con agua.
- Agregar una porción de la mezcla anterior a la cubeta de espectrofotómetro Shimadzu y anotar la absorbancia leída cada 10 segundos hasta que el valor de la absorbancia sea constante.
- Replicar los pasos anteriores dos veces más.
- Repetir el procedimiento anterior para temperaturas de 298 K, 310 K y 325 K.
- Fijar el blanco en el espectrofotómetro con alcohol.
- Agregar 5 ml de ácido ascórbico 0,03 M aforado con ácido sulfúrico en un tubo de ensayo que contenga 5 ml de solución de azul de metileno 4×10^{-5} M aforada con alcohol.
- Agregar una porción de la mezcla anterior a la cubeta de espectrofotómetro Shimadzu y anotar la absorbancia leída cada 10 segundos hasta que el valor de la absorbancia sea constante.
- Replicar los pasos anteriores dos veces más.

3.6.5. Cinética con respecto al ácido ascórbico

- Fijar el blanco en el espectrofotómetro con agua desmineralizada.
- Medir la absorbancia inicial de la solución de azul de metileno 2×10^{-5} M aforada con ácido sulfúrico.
- Agregue 5 ml de la solución de azul de metileno 2×10^{-5} M aforada con ácido sulfúrico y 5 ml de la solución de ácido ascórbico 0,01 M aforado con agua.
- Esperar un minuto desde que se mezclaron las soluciones y medir la absorbancia.
- Replicar los pasos anteriores dos veces más.
- Repetir el procedimiento para las soluciones de ácido ascórbico a 0,02 M, 0,03 M, 0,04 M y 0,05 M aforados con agua.
- Repetir todo el procedimiento a temperaturas de 298 K, 310 K y 325 K.
- Fijar el blanco en el espectrofotómetro con alcohol.
- Agregue 5 ml de la solución de azul de metileno 2×10^{-5} M aforada con ácido sulfúrico y 5 ml de la solución de ácido ascórbico 0,01 M aforado con alcohol.
- Esperar un minuto desde que se mezclaron las soluciones y medir la absorbancia.
- Replicar los pasos anteriores dos veces más.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

En esta sección se detallan las tablas utilizadas para recolectar los resultados, así como los métodos empleados para obtener los resultados con base en ellos.

Tabla III. **Tabla de longitud de onda óptima**

Longitud de onda óptima (nm)	
------------------------------	--

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Tabla de curvas de calibración**

Concentración (M)	Absorbancia	
	solvente agua	solvente alcohol (metanol)
2.0×10^{-5}		
1.6×10^{-5}		
1.2×10^{-5}		
8.0×10^{-6}		
4.0×10^{-6}		

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. Cinética con respecto al azul de metileno

Tiempo (s)	Absorbancia									Efecto solvente
	298 K			310 K			325 K			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
0										
10										
20										
30										
40										
⋮										

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. Cinética con respecto al ácido ascórbico

Concentración de ácido ascórbico	Corrida	298 K		310 K		325 K		Efecto solvente	
		Abs	C	Abs	C	Abs	C	Abs	C
0,01	1								
	2								
	3								
0,02	1								
	2								
	3								
0,03	1								
	2								
	3								
0,04	1								
	2								
	3								
0,05	1								
	2								
	3								

Fuente: elaboración propia.

3.7.1. Plan de análisis de los resultados

Los métodos de cálculo utilizados para tratar los datos empíricos obtenidos se detallan a continuación.

3.7.1.1. Métodos y modelos de los datos según tipo de variables

Se utilizarán los Métodos Cinéticos Diferencial y de Velocidades Iniciales para determinar la cinética con respecto al azul de metileno y ácido ascórbico respectivamente.

Para el Método Diferencial se realizará una linealización de la siguiente ecuación:

$$\ln r_A = \ln k + \alpha * \ln C_A + \beta * \ln C_B$$

Donde se graficará el logaritmo de la velocidad de reacción en función del logaritmo de la concentración instantánea de azul de metileno. En dicha linealización la pendiente de la recta corresponderá al orden parcial del azul de metileno.

Para el Método de Velocidades Iniciales se realizará una linealización de la siguiente ecuación:

$$\ln r_{A_0} = \ln k + \alpha * \ln C_{A_0} + \beta * \ln C_{B_0}$$

Donde se graficará el logaritmo de la velocidad de reacción en función del logaritmo de la concentración inicial de ácido ascórbico. En dicha linealización la pendiente de la recta corresponderá al orden parcial del ácido ascórbico.

La constante cinética se hallará luego de encontrar ambos órdenes, sustituyendo la concentración del reactivo faltante y el orden (hasta ese momento desconocido) del mismo dentro de la ecuación de la pendiente de ambas linealizaciones.

La energía de activación se encontrará por medio de una linealización logarítmica de la ecuación de Arrhenius graficando el logaritmo de la constante cinética en función del inverso de la temperatura:

$$\ln k = \ln A - \frac{E_A}{R} * \left(\frac{1}{T}\right)$$

Donde la pendiente de la línea obtenida multiplicada por la constante de los gases ideales dará el valor de la energía de activación de la reacción.

3.7.1.2. Programas a utilizar para análisis de datos

- Microsoft Excell 2013
- Microsoft Word 2013
- QtiPlot

3.8. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se calcularán los errores de incertidumbre y precisión para los datos obtenidos.

3.8.1. Error de incertidumbre

Para calcular el error de incertidumbre se utilizará el principio de derivación parcial para determinar la incerteza de los valores calculados donde:

$$\Delta y(x_1, x_2, x_3, \dots) = \sum_{x_i} \left| \frac{\partial y}{\partial x_i} \right| * \Delta x_i$$

La incerteza de las gráficas, específicamente la pendiente e intercepto, se encontrarán por medio de un programa graficador: QtiPlot.

Luego de encontrar la incerteza se procederá a calcular el error de incertidumbre porcentual:

$$\text{Incertidumbre} = \frac{\Delta y}{y} * 100\%$$

3.8.2. Error de precisión

El error de precisión se calcula utilizando el coeficiente de variación para corridas repetitivas.

$$\bar{x} = \sum \frac{x_i}{N}$$

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{x}} * 100\%$$

3.8.3. Error de exactitud

El error de exactitud se utiliza comparando la desviación del dato teórico, consultado en fuentes bibliográficas, con el dato experimental obtenido.

$$E_E = \frac{|D_T - D_E|}{D_T}$$

3.8.4. Análisis de varianza

Se utilizó un análisis de varianza (ANOVA) para determinar la similitud entre los coeficientes de absorción. El procedimiento para realizar un ANOVA se detalla a continuación por medio de la prueba de Fischer.

- Cálculo de la varianza de cada muestra:

$$S^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

- Obtener la estimación interna entre varianzas:

$$S_w^2 = \frac{S_1^2 + S_2^2 + S_3^2 \dots S_k^2}{k}$$

- Calcular la varianza de las medias muestrales:

$$S_{\bar{x}}^2 = \frac{\sum(\bar{x} - \bar{\bar{x}})^2}{k - 1}$$

- Multiplicar la varianza de las medias muestrales por n:

$$S_x^2 = n * S_{\bar{x}}^2$$

- Razón F

$$F = \frac{S_x^2}{S_w^2}$$

Con base en el grado de confianza deseado para el experimento ($\alpha = 0,05$) y el número de grados de libertad deseados :

$$(k - 1)_{numerador} \text{ y } (k * (n - 1))_{denominador}$$

Se compara el valor obtenido de F con el valor encontrado en tablas estadísticas y dependiendo de la comparación de ambos se acepta o rechaza la hipótesis nula.

4. RESULTADOS

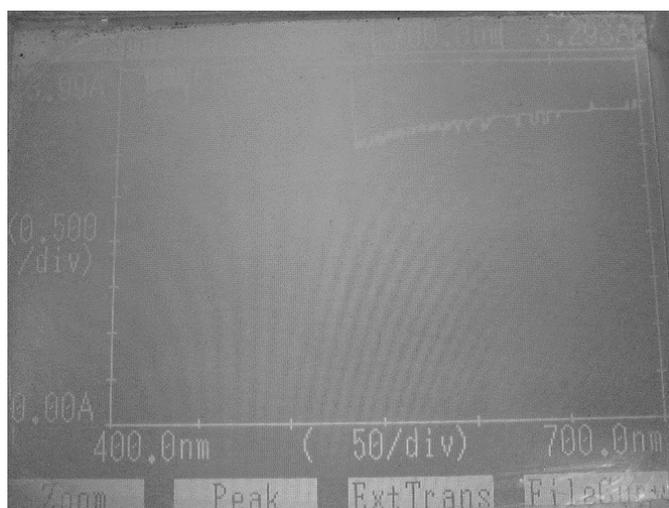
4.1. Determinación de longitud de onda óptima

A continuación se presentan los resultados de la determinación de las condiciones inmejorables para calcular la longitud de onda óptima para el azul de metileno y las gráficas obtenidas.

4.1.1. Curvas espectrales a diferentes concentraciones

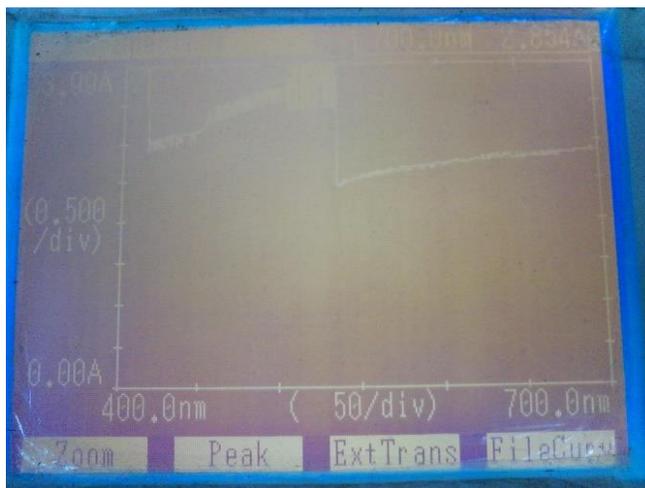
Estas son las curvas espectrales para azul de metileno con concentraciones desde $8,00E-05$ hasta $5,00E-02$.

Figura 3. **Curva espectral a una concentración de azul de metileno de $5,00E-02$ M**



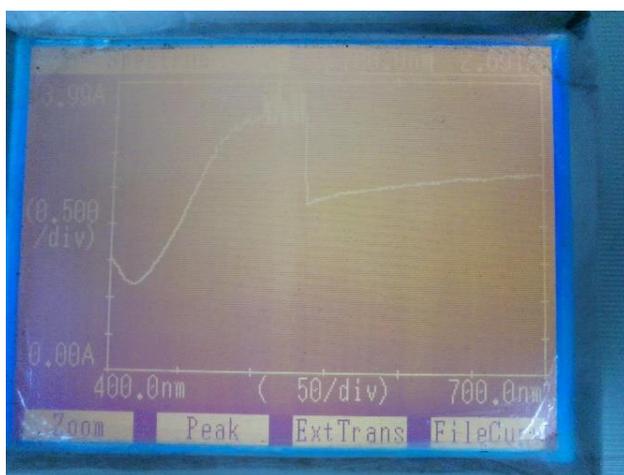
Fuente: elaboración propia, Laboratorio de Físicoquímica, FIUSAC.

Figura 4. **Curva espectral a una concentración de azul de metileno de 1,00E-02 M**



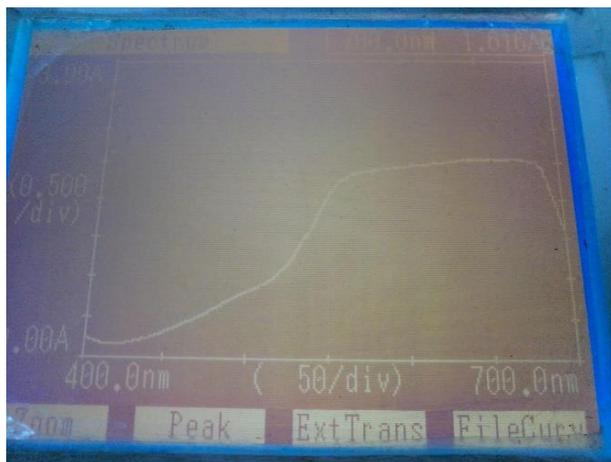
Fuente: elaboración propia, Laboratorio de Fisicoquímica, FIUSAC.

Figura 5. **Curva espectral a una concentración de azul de metileno de 2,00E-03 M**



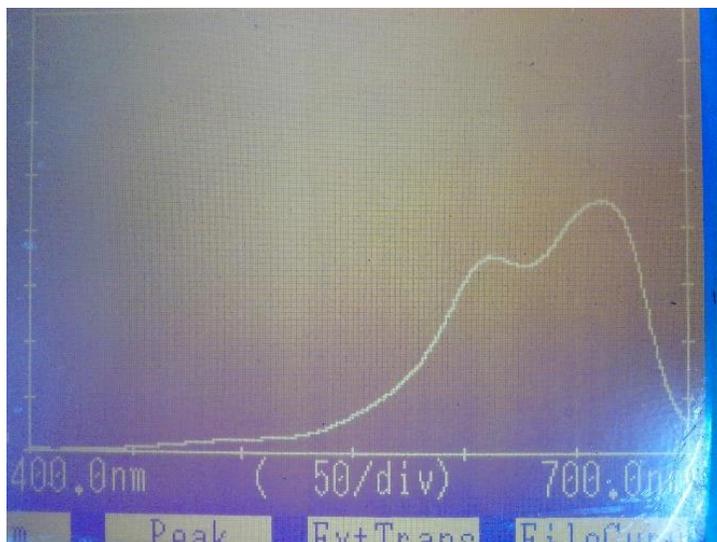
Fuente: elaboración propia, Laboratorio de Fisicoquímica, FIUSAC.

Figura 6. **Curva espectral a una concentración de azul de metileno de 4,00E-04 M**



Fuente: elaboración propia, Laboratorio de Físicoquímica, FIUSAC.

Figura 7. **Curva espectral a una concentración de azul de metileno de 8,00E-05 M**



Fuente: elaboración propia, Laboratorio de Físicoquímica, FIUSAC.

Tabla VII. **Longitud de onda óptima para cada curva espectral**

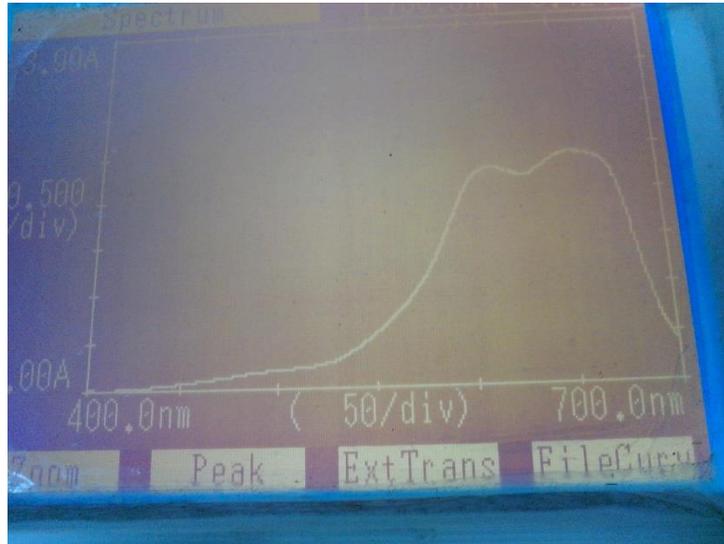
#	Concentración [M]	Longitud de onda óptima (nm)
1	5,00E-02	642,5
2	1,00E-02	643,0
3	2,00E-03	643,5
4	4,00E-04	683,5
5	8,00E-05	664,0

Fuente: elaboración propia.

4.1.2. Corridas para longitud de onda óptima de una solución de azul de metileno 8,00E-05 M

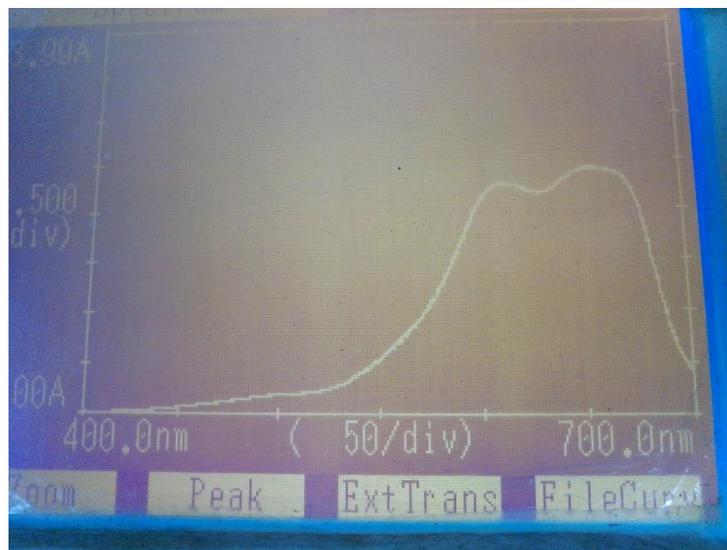
Estas son corridas repetitivas de la curva espectral del azul de metileno para una concentración de 8,00E-05.

Figura 8. **Curva espectral 1**



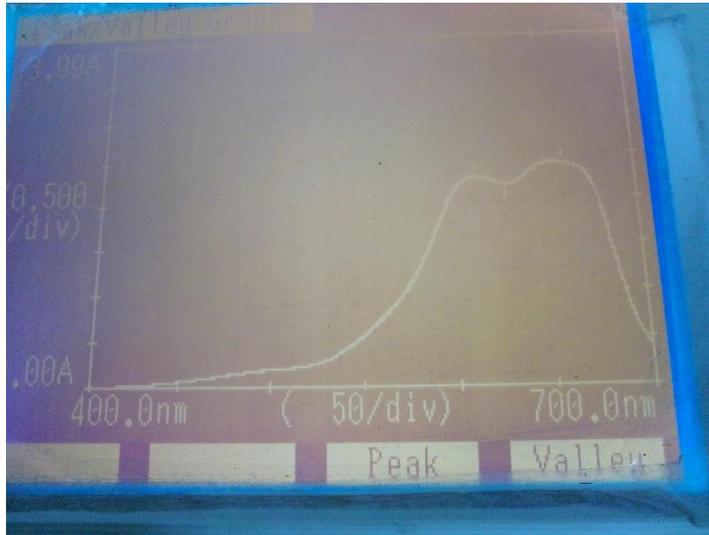
Fuente: elaboración propia, Laboratorio de Físicoquímica, FIUSAC.

Figura 9. **Curva espectral 2**



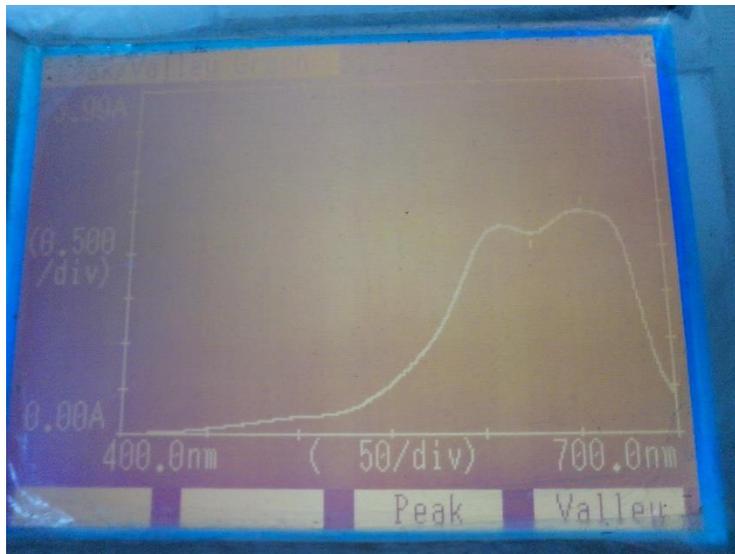
Fuente: elaboración propia, Laboratorio de Físicoquímica, FIUSAC.

Figura 10. **Curva espectral 3**



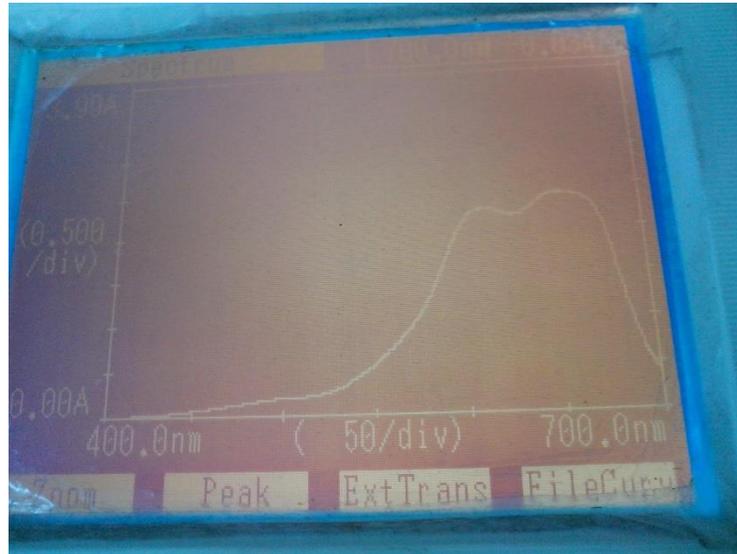
Fuente: elaboración propia, Laboratorio de Físicoquímica, FIUSAC.

Figura 11. **Curva espectral 4**



Fuente: elaboración propia, Laboratorio de Físicoquímica, FIUSAC.

Figura 12. **Curva espectral 5**



Fuente: elaboración propia, Laboratorio de Fisicoquímica, FIUSAC.

Tabla VIII. **Longitud de onda óptima para cada corrida**

Corrida	Longitud de onda óptima [nm]
1	660,00
2	659,00
3	658,00
4	660,50
5	657,50
Promedio	659,00

Fuente: elaboración propia.

4.2. Absortividad

A continuación se detallan los resultados para la absortividad de la solución de azul de metileno para diferentes condiciones.

4.2.1. Curva de calibración para un rango de concentraciones de [2,00E-05, 5,00E-04] M

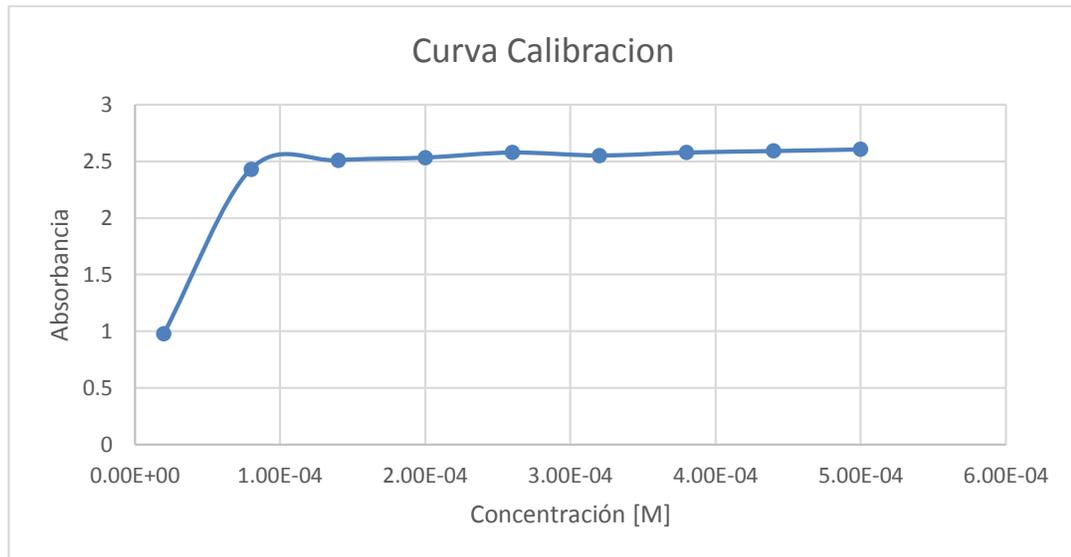
Esta curva de calibración se realizó para corroborar los parámetros donde la absorbancia del azul de metileno sigue la tendencia lineal de la Ley de Lambert-Beer.

Tabla IX. **Absorbancias para las concentraciones de azul de metileno de 2,00E-05 M a 5,00E-04 M**

Corrida	C [M]	Absorbancia			
		1	2	3	Promedio
1	2,00E-05	0,975	0,975	0,976	0,976
2	8,00E-05	2,422	2,436	2,436	2,431
3	1,40E-04	2,515	2,515	2,498	2,510
4	2,00E-04	2,533	2,533	2,533	2,533
5	2,60E-04	2,591	2,552	2,591	2,578
6	3,20E-04	2,552	2,552	2,552	2,552
7	3,80E-04	2,591	2,591	2,552	2,578
8	4,40E-04	2,591	2,591	2,591	2,591
9	5,00E-04	2,591	2,612	2,612	2,605

Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Curva de calibración para concentraciones de azul de metileno de 2,00E-05 M a 5,00E-04 M**



Fuente: elaboración propia.

4.2.2. **Curvas de calibración para un rango de concentraciones de [4,00E-06, 2,00E-05] M**

En este caso se graficaron tres curvas de calibración en función de la temperatura y una variando el solvente de estudio.

Tabla X. **Absorbancias para una temperatura de 23 °C**

	296,15 K (23 °C)			
C [M]	1	2	3	Promedio
2,00E-05	1,025	1,025	1,025	1,025
1,60E-05	0,805	0,805	0,805	0,805
1,20E-05	0,595	0,595	0,595	0,595
8,00E-06	0,338	0,338	0,338	0,338
4,00E-06	0,174	0,174	0,174	0,174
Pendiente	54225	54225	54225	54225
Intercepto	-0,0633	-0,0633	-0,0633	-0,0633
Correlación	0,9967	0,9967	0,9967	0,9967

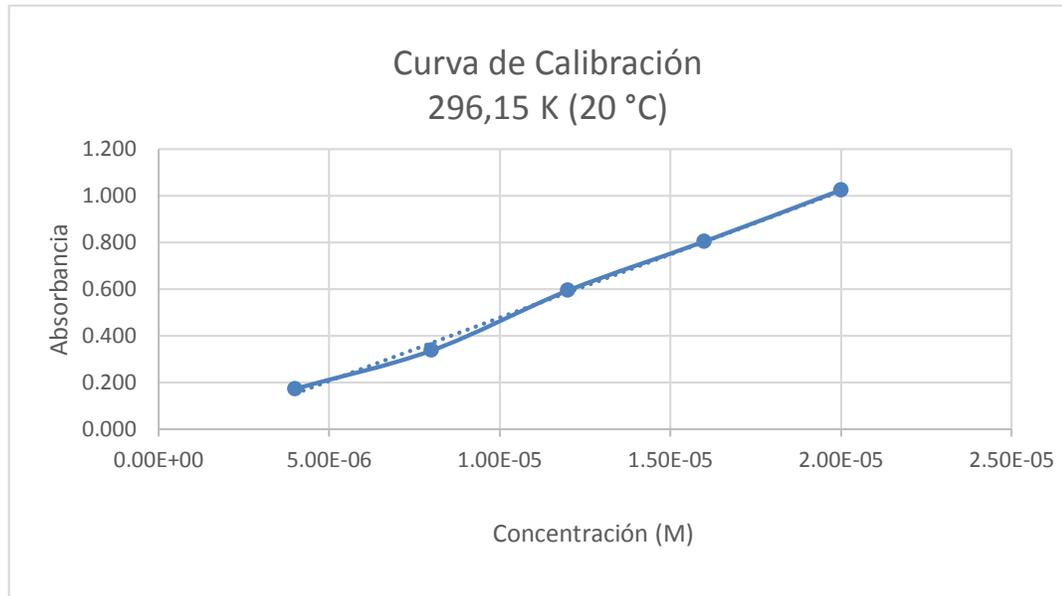
Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Descripción de las gráficas de curvas de calibración:
absorbancia en función de la concentración**

Gráfica	Modelo matemático	Correlación	$\Delta x_{M\acute{a}x}$ [M]	$\Delta y_{M\acute{a}x}$	Intervalo de Validez [M]
T=23 °C	A=54225C-0,0663	0,9967	5,78E-07	0,0005	[2,00E-05, 4,00E-06]
T=35 °C	A=53425C-0,0663	0,9972	5,78E-07	0,0005	[2,00E-05, 4,00E-06]
T=50 °C	A=54450C-0,0663	0,9960	5,78E-07	0,0005	[2,00E-05, 4,00E-06]
Metanol	A=59942C-0,0663	0,9526	5,78E-07	0,0005	[2,00E-05, 4,00E-06]

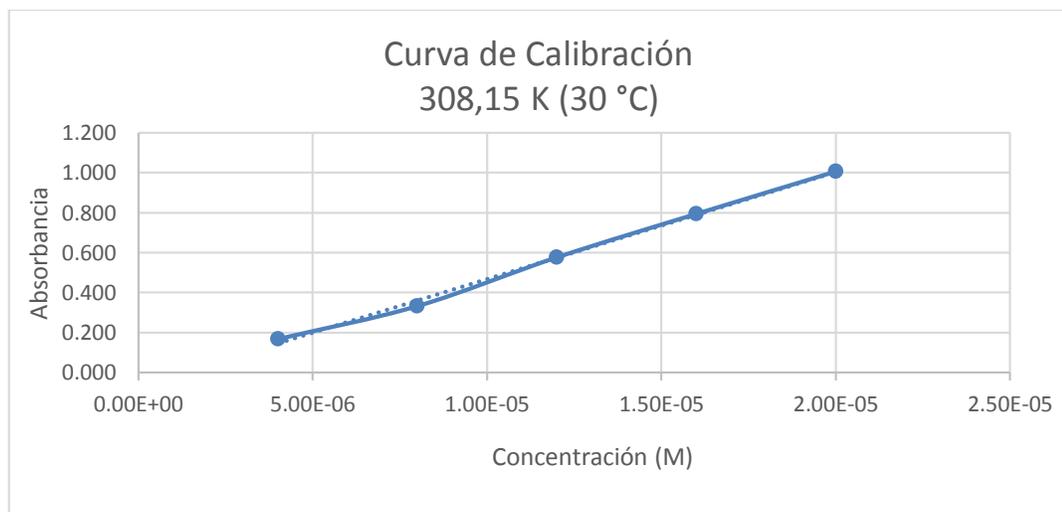
Fuente: elaboración propia.

Figura 14. **Curva de calibración para una temperatura de 23 °C**



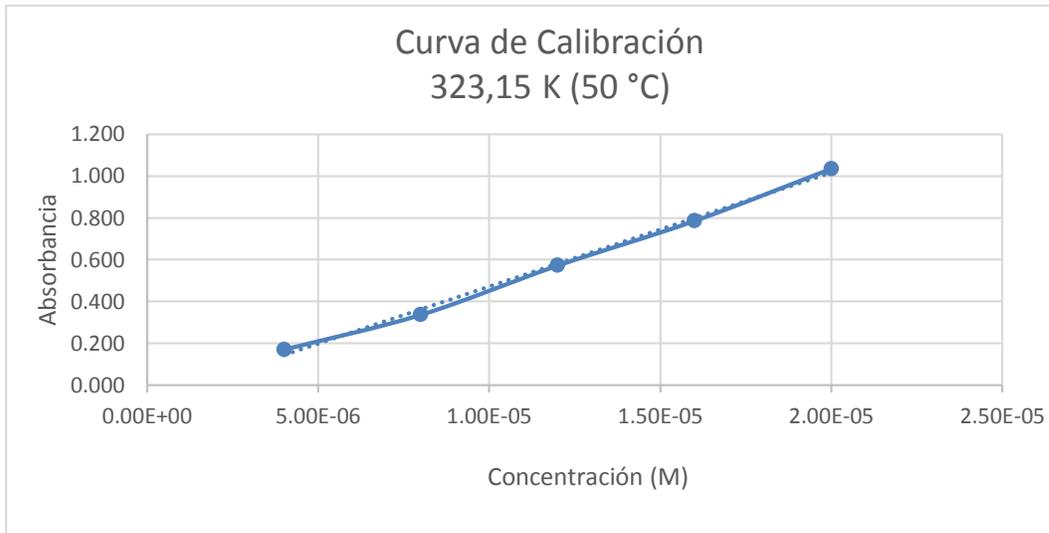
Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla XI.

Figura 15. **Curva de calibración para una temperatura de 35 °C**



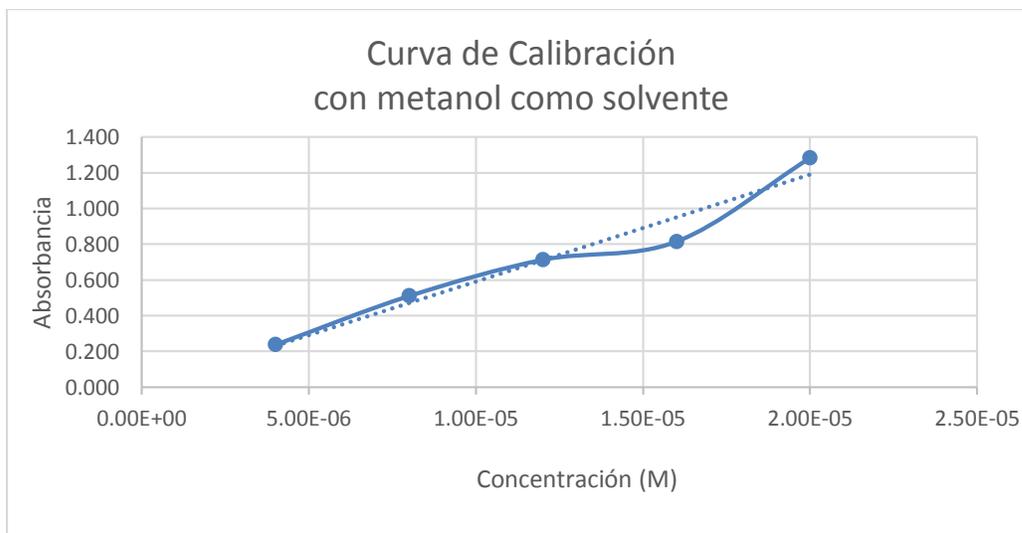
Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla XI.

Figura 16. **Curva de calibración para una temperatura de 50 °C**



Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla XI.

Figura 17. **Curva de calibración para metanol como solvente**



Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla XI.

Tabla XII. **Análisis de varianza para la comparación de absorptividades a diferentes temperaturas**

Temperatura (K)	Pendiente (absortividad)	Pendiente (absortividad)	Pendiente (absortividad)	Promedios
296,15	54 225	54 225	54 225	54 225
308,15	53 350	53 500	53 425	53 425
323,15	54 450	54 475	54 425	54 450

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Fila 1	3	162 675	54 225	0
Fila 2	3	160 275	53 425	5625
Fila 3	3	163 350	54 450	625

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	1 741 250	2	870 625	417,9	3,621E-07	5,1432
Dentro de los grupos	12 500	6	2 083,33333			
Total	1 753 750	8				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Absortividades finales**

Temperatura (K)	Absortividad [$M^{-1} cm^{-1}$]
296,15	54 225
308,15	53 425
323,15	54 450
Con metanol	59 942

Fuente: elaboración propia.

4.3. Método de Velocidades Iniciales

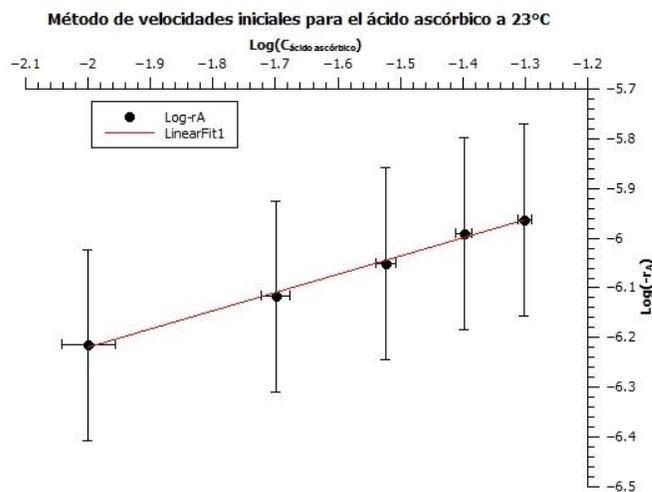
A continuación se detallan los resultados obtenidos por el Método de Velocidades Iniciales, utilizado para medir la cinética de reacción con respecto al ácido ascórbico.

Tabla XIV. **Tabla de descripción de las gráficas del Método de Velocidades Iniciales**

Gráfica	Modelo matemático	R ²	ΔX _{Máx}	Δy _{Máx}	Intervalo de Validez
T=23 °C	$\text{Log}(-r_A) = 0,367 * \text{Log}(C_A) - 5,486$	0,9958	0,04288	0,1927	[-2, -1,301]
Metanol	$\text{Log}(-r_A) = 0,281 * \text{Log}(C_A) - 5,699$	0,9737	0,04288	0,1927	[-2, -1,301]

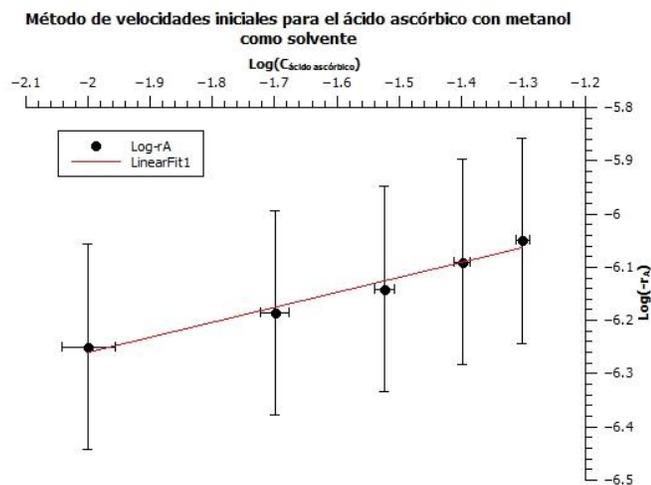
Fuente: elaboración propia.

Figura 18. **Gráfica linealizada del Método de Velocidades Iniciales a temperatura ambiente**



Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla XIV.

Figura 19. **Gráfica linealizada del Método de Velocidades Iniciales con metanol como solvente**



Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla XIV.

4.4. Método Diferencial

A continuación se detallan los resultados obtenidos del Método Diferencial, utilizado para determinar los datos de la cinética con respecto al azul de metileno.

4.4.1. Gráficas para una temperatura de 23 °C

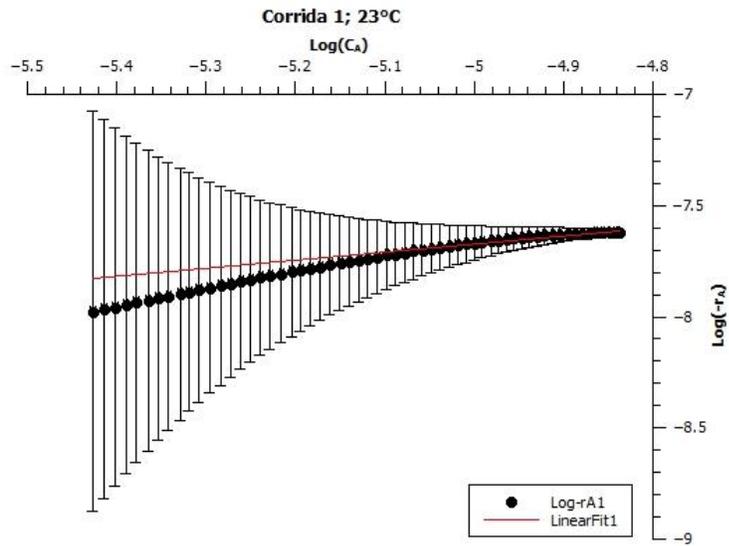
A continuación se presenta el desarrollo de las corridas para el Método Diferencial a 23 °C.

Tabla XV. **Tabla de descripción de las gráficas a 23 °C**

Gráfica	Modelo matemático	R ²	ΔxMáx	ΔyMáx	Intervalo de Validez
1	$\text{Log}(-r_A) = 0,357 * \text{Log}(C_A) - 5,888$	0,9960	3,192E-03	0,9003	[-5,43, -4,84]
2	$\text{Log}(-r_A) = 0,574 * \text{Log}(C_A) - 5,109$	0,9999	1,865E-03	1,1524	[-5,09, -4,83]
3	$\text{Log}(-r_A) = 0,380 * \text{Log}(C_A) - 6,137$	0,9992	1,633E-03	1,2643	[-4,99, -4,79]

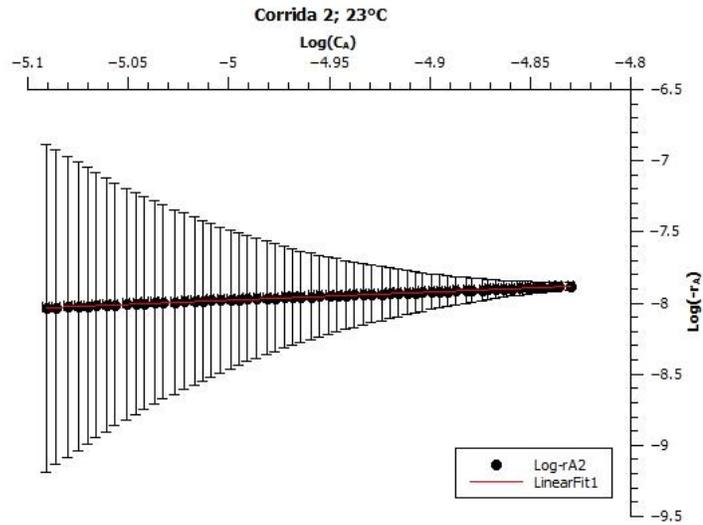
Fuente: elaboración propia.

Figura 20. **Corrida 1: 23 °C**



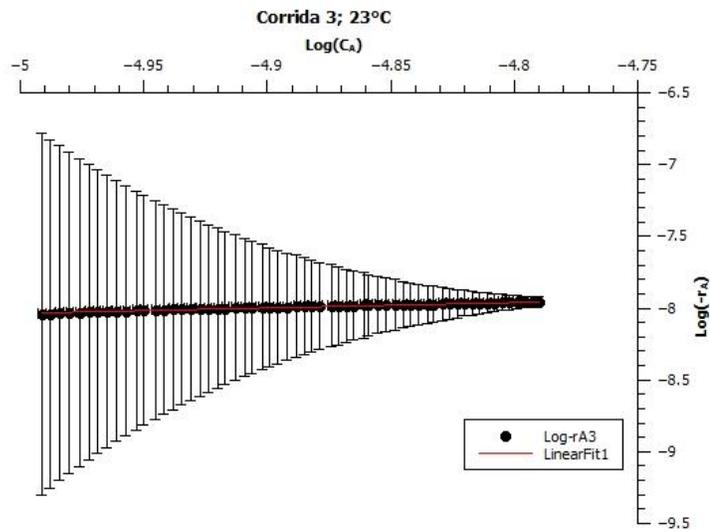
Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla XV.

Figura 21. **Corrida 2: 23 °C**



Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla XV.

Figura 22. **Corrida 3: 23 °C**



Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla XV.

4.4.2. Gráficas para una temperatura de 35 °C

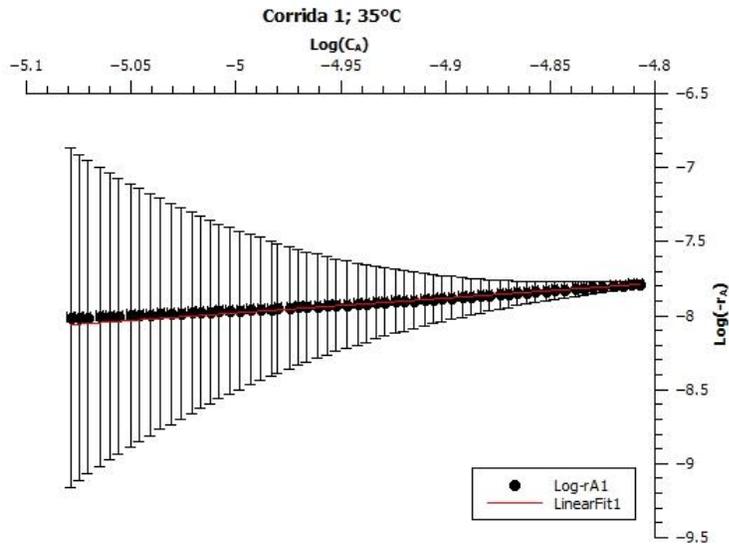
A continuación se presenta el desarrollo de las corridas para el Método Diferencial a 35 °C.

Tabla XVI. **Tabla de descripción de las gráficas a 35 °C**

Gráfica	Modelo matemático	R ²	ΔX _{Máx}	Δy _{Máx}	Intervalo de Validez
1	$\text{Log}(-r_A) = 1,007 * \text{Log}(C_A) - 2,949$	0,9996	1,863E-03	1,1464	[-5,08, -4,81]
2	$\text{Log}(-r_A) = 1,072 * \text{Log}(C_A) - 2,661$	0,9989	1,827E-03	1,2103	[-5,06, -4,81]
3	$\text{Log}(-r_A) = 1,093 * \text{Log}(C_A) - 2,551$	0,9992	1,829E-03	1,2407	[-5,07, -4,81]

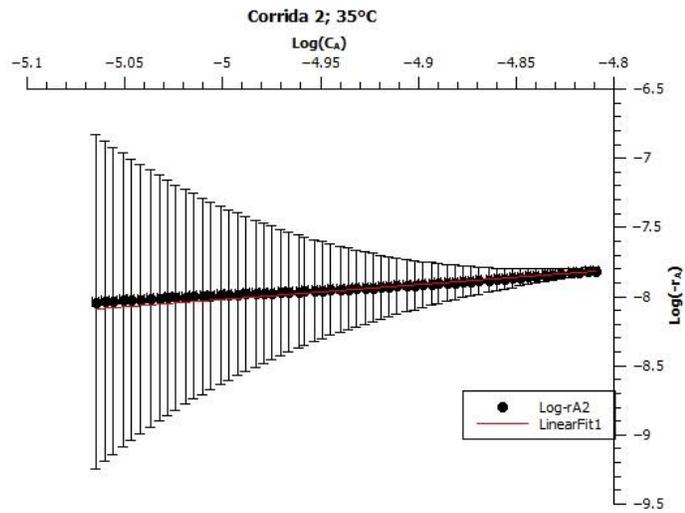
Fuente: elaboración propia.

Figura 23. **Corrida 1: 35 °C**



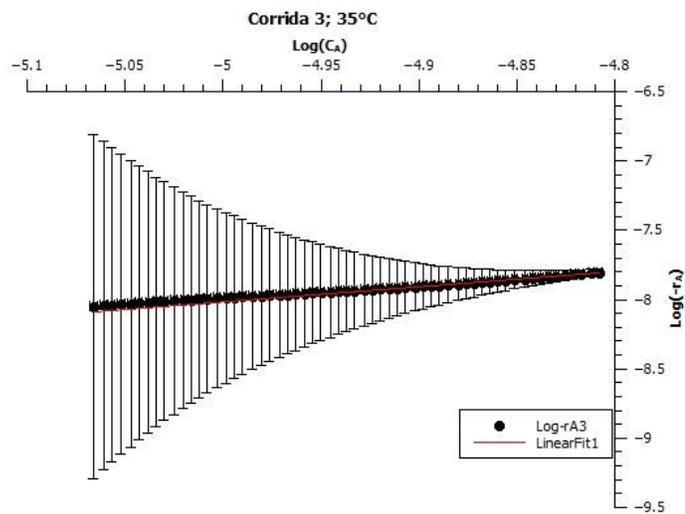
Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla XVI.

Figura 24. **Corrida 2: 35 °C**



Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla XVI.

Figura 25. **Corrida 3: 35 °C**



Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla XVI.

4.4.3. Gráficas para una temperatura de 50 °C

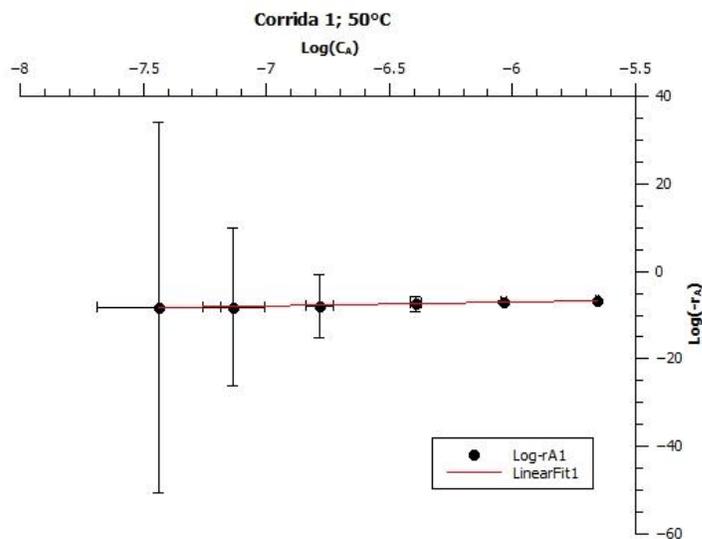
A continuación se presenta el desarrollo de las corridas para el Método Diferencial a 50 °C.

Tabla XVII. **Tabla de descripción de las gráficas a 50 °C**

Gráfica	Modelo matemático	R ²	$\Delta X_{M\acute{a}x}$	$\Delta y_{M\acute{a}x}$	Intervalo de Validez
1	$\text{Log}(-r_A) = 0,884 * \text{Log}(C_A) - 1,752$	0,9999	2,507E-01	42,30	[-7,43, -5,66]
2	$\text{Log}(-r_A) = 0,814 * \text{Log}(C_A) - 2,037$	0,9999	2,507E-01	33,29	[-7,43, -5,62]
3	$\text{Log}(-r_A) = 0,851 * \text{Log}(C_A) - 1,851$	0,9999	2,507E-01	21,21	[-7,43, -5,50]

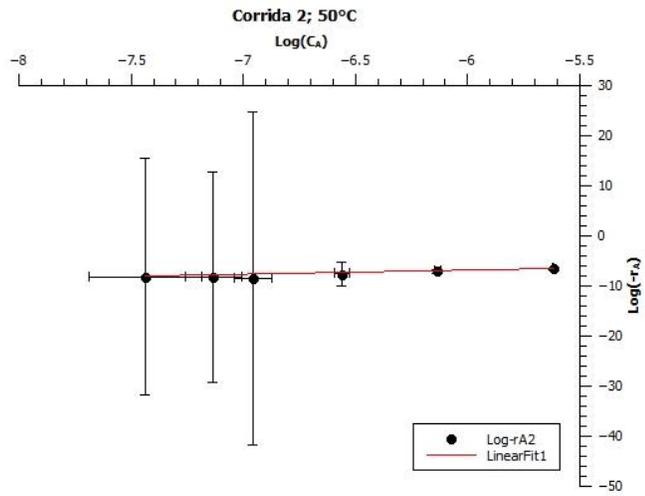
Fuente: elaboración propia.

Figura 26. **Corrida 1: 50 °C**



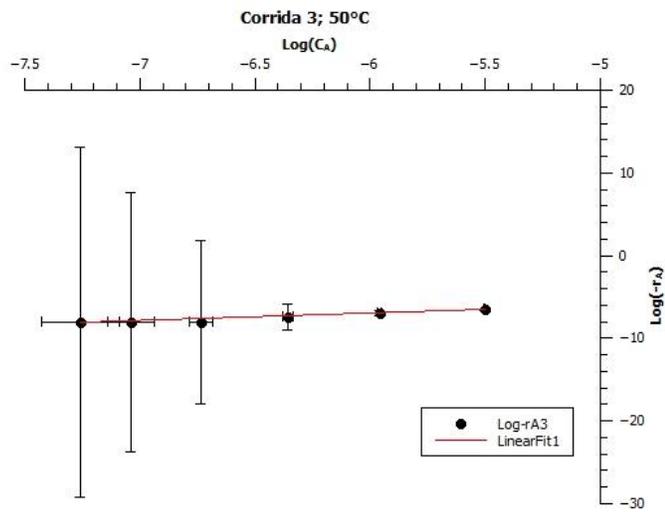
Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla XVII.

Figura 27. **Corrida 2: 50 °C**



Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla XVII.

Figura 28. **Corrida 3: 50 °C**



Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla XVII.

4.4.4. Gráficas para soluciones con metanol como solvente.

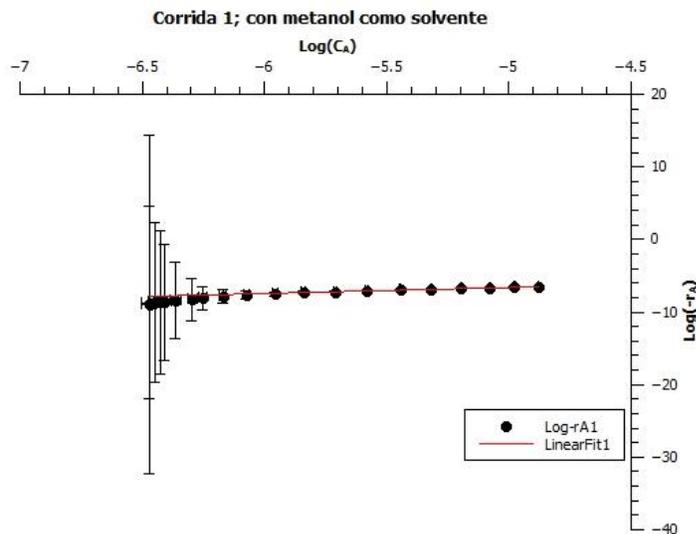
A continuación se presenta el desarrollo de las corridas para el Método Diferencial utilizando metanol como solvente en lugar de agua desmineralizada.

Tabla XVIII. **Tabla de descripción de las gráficas a 50 °C**

Gráfica	Modelo matemático	R ²	$\Delta X_{\text{Máx}}$	$\Delta y_{\text{Máx}}$	Intervalo de Validez
1	$\text{Log}(-r_A) = 0,825 * \text{Log}(C_A) - 2,490$	0,9999	2,852E-02	23,34	[-6,47, -4,88]
2	$\text{Log}(-r_A) = 0,820 * \text{Log}(C_A) - 2,504$	0,9999	2,347E-02	25,71	[-6,39, -4,88]
3	$\text{Log}(-r_A) = 0,831 * \text{Log}(C_A) - 2,442$	0,9999	1,997E-02	109,67	[-6,31, -4,88]

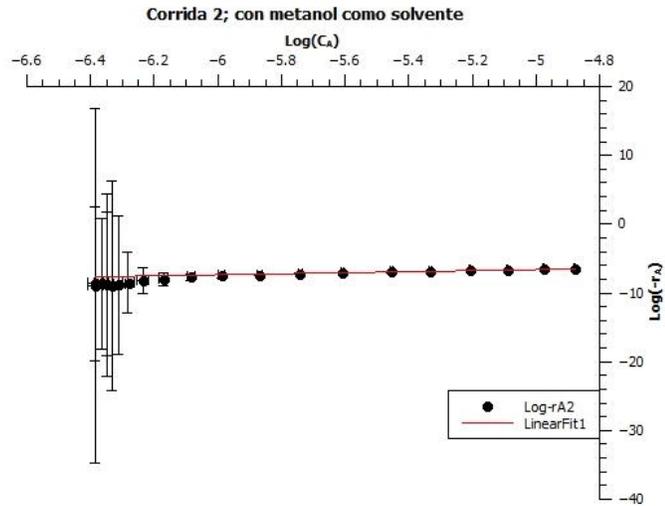
Fuente: elaboración propia.

Figura 29. **Corrida 1: con metanol**



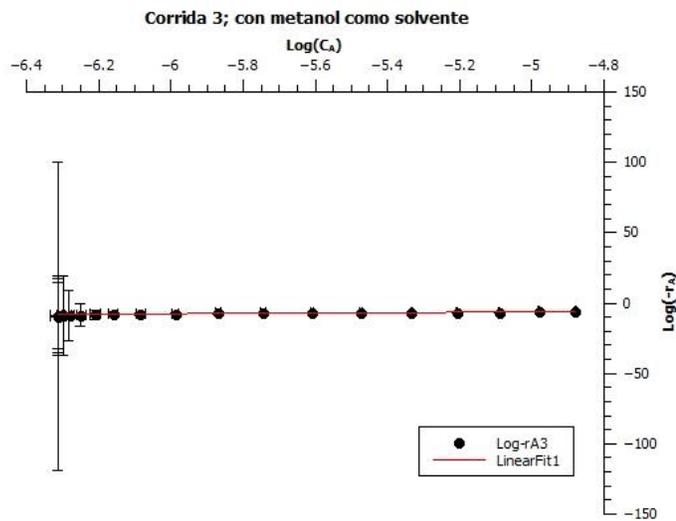
Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla XVIII.

Figura 30. Corrida 2: con metanol



Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla XVIII.

Figura 31. Corrida 3: con metanol



Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla XVIII.

4.5. Órdenes de reacción parciales y globales

A continuación se detallarán los órdenes de reacción parciales con respecto al azul de metileno y al ácido ascórbico, asimismo, como el orden global de la reacción.

Tabla XIX. **Orden parcial con respecto al ácido ascórbico**

Condiciones	Orden de reacción	Incerteza absoluta
T=23 °C	0,367	±0,349
Con metanol	0,281	±0,349

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Órdenes parciales con respecto al azul de metileno**

Condiciones	Orden de reacción	Incerteza absoluta	Desviación
T=23 °C	0,437	±0,371	0,119
T=35 °C	1,057	±0,360	0,045
T=50 °C	0,850	±0,771	0,035
Con metanol	0,825	±0,034	0,006

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Totales y órdenes globales**

Con respecto a:	Con agua		Con metanol	
	Valor	Desviación	Valor	Desviación
Ácido ascórbico	0,367	--	0,281	--
Azul de metileno	0,781	0,316	0,825	0,006
Orden global	1,114	--	1,106	--

Fuente: elaboración propia.

4.6. **Constante cinética de reacción**

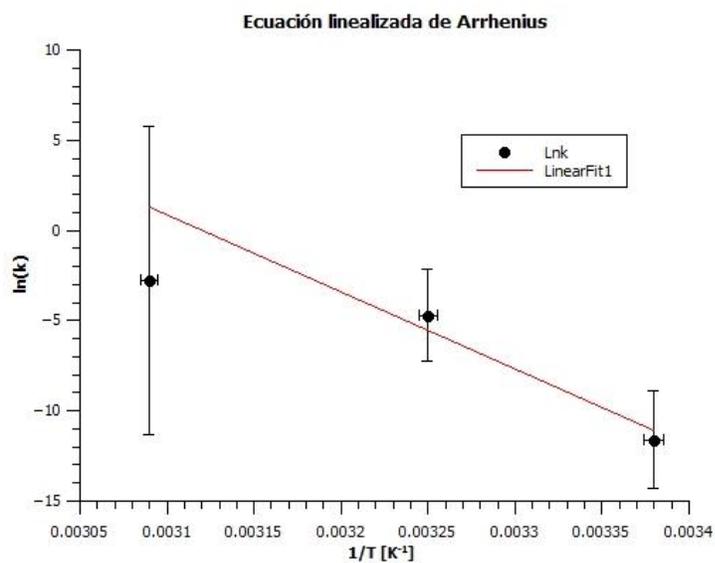
A continuación se detallan los resultados para la constante cinética de reacción, también conocida como velocidad específica de reacción.

Tabla XXII. **Constantes cinéticas a diferentes temperaturas**

T [K]	k	δk
296,15	7,043E-06	2,055E-05
308,15	6,896E-03	1,922E-02
323,15	4,775E-02	4,198E-01

Fuente: elaboración propia.

Figura 32. Ecuación de Arrhenius linealizada



Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. Tabla de descripción de la gráfica de Arrhenius

Modelo matemático	R ²	Δx _{Máx}	Δy _{Máx}	Intervalo de Validez [K ⁻¹]
$Ln(k) = 133,74 - \frac{42855,50}{T}$	0,9165	5,701E-06	8,56	[3,09E-03, 3,38E-03]

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. Datos constante cinética

	Valor	Incerteza absoluta
Energía de activación [kJ/mol]	356,30	192,40
Factor de colisiones A	1,21E+58	9,25E+59

Fuente: elaboración propia.

4.7. Resultados de errores

A continuación se muestran los resultados de los errores empíricos asociados a la metodología experimental utilizada.

Tabla XXV. **Errores para el orden de reacción con respecto al azul de metileno**

Orden de reacción con respecto al azul de metileno			
Temperatura [°C]	Incertidumbre	Precisión	Exactitud
23	84,96%	27,30%	56,31%
35	34,01%	4,26%	5,71%
50	90,77%	4,11%	15,03%
Promedio	64,09%	40,41%	21,87%
Con Metanol	4,10%	0,69%	NA

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. **Errores para el orden de reacción con respecto al ácido ascórbico**

Orden de reacción con respecto al ácido ascórbico	
Temperatura [°C]	Incertidumbre
23	95,12%
Con Metanol	124,37%

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVII. **Errores para la constante cinética**

Constante cinética	
Temperatura [°C]	Incertidumbre
23	291,74%
35	278,74%
50	879,10%

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVIII. **Errores para la energía de activación y factor de colisiones**

Ecuación de Arrhenius	
Magnitud	Incertidumbre
Energía de Activación	58,10%
Factor de colisiones	8189,95%

Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El objetivo de este trabajo buscó implementar la reacción de azul de metileno con ácido ascórbico mediante técnicas espectrofotométricas para ser utilizada de forma didáctica dentro del Laboratorio de Fisicoquímica 2, como un ejemplo de la cinética de una reacción sencilla.

Esta reacción presenta el beneficio de ser fácilmente trazable por la decoloración progresiva del azul de metileno, lo cual provee un punto de identificación de la concentración de uno de los reactivos, sin la necesidad de utilizar métodos cuantitativos o equipos extremadamente complejos o caros. Originalmente puede realizarse un análisis cualitativo, buscando el punto en el que, a criterio del experimentador, la solución se encuentre transparente, lo que significa que todo el azul de metileno presente ha reaccionado. Este método, sin embargo, es muy subjetivo y poco concluyente.

Por ello, con base en las concentraciones máximas determinadas por la figura 13, se determinaron los procedimientos, métodos y condiciones óptimas para analizar el mismo fenómeno espectral mediante un instrumento específicamente diseñado para ese trabajo: un espectrofotómetro UV-Visible. Dadas las propiedades colorimétricas del azul de metileno se puede utilizar este tipo de espectrofotómetro, dado que la coloración azul del mismo está comprendida dentro del espectro visible del espectro electromagnético.

5.1. Determinación de longitud de onda óptima

Primero debe definirse el elemento de interés para el análisis espectrofotométrico. En el caso de este experimento se toma al azul de metileno como el elemento de estudio, debido que por su tonalidad azul absorberá mayor radiación, que la que podría absorber el ácido ascórbico dentro de la gama visible del espectro electromagnético. Esto brindaría información de la concentración de azul de metileno en función de la cantidad de radiación absorbida por medio de la Ley de Lambert-Beer.

Luego de haber definido el elemento de estudio se procedió a determinar la longitud de onda óptima, que para el azul de metileno posee un valor de 659 nm. Esto se hace para disminuir los errores y variaciones aleatorias dadas por concentraciones de contaminantes en la muestra. Pero para poder obtener un valor de longitud de onda óptima verídico es importante trabajar dentro de los límites de detección y cuantificación de los métodos a trabajar, que fueron el Método de Velocidades Iniciales y diferencial.

Se realizó el barrido de la curva espectral de azul de metileno a diferentes concentraciones. De las 5 concentraciones obtenidas solamente la concentración de $8,00E-5$ M se posicionó dentro de los límites de cuantificación del método implementado. Como puede observarse en los resultados, es la única curva espectral que posee una tendencia suave con un máximo global definido, a diferencia de las concentraciones mayores que presentan fluctuaciones erráticas y picos en su gráfica, lo que muestra que a concentraciones elevadas pierde la linealidad de la Ley de Lambert-Beer, dificultando el análisis de los datos, lo que resultaría en un método poco didáctico para el estudiante.

Definida la concentración de trabajo se procedió a calcular la longitud de onda óptima para el azul de metileno, obteniendo un valor promedio de 659 nm, que en el espectro visible corresponde al color complementario del azul de metileno que se ubica en la zona del rojo-naranja. Este valor fue el utilizado para el análisis espectrofotométrico de la cinética.

5.2. Absortividades

Para poder relacionar la concentración de azul de metileno con la absorbancia medida por el espectrofotómetro se realizó una curva de calibración encontrando la absortividad del azul de metileno a las condiciones de trabajo para así poder modelar la concentración del mismo por medio de la Ley de Lambert-Beer, donde se indica que la pendiente de la gráfica de absorbancia en función de la concentración es la absortividad del componente por la longitud de paso óptico. Fue utilizada una cubeta de 1 cm de largo con lo cual pudo ser calculado el valor exacto de la absortividad para las condiciones fijadas.

Para estos resultados se pueden observar las gráficas de la absorbancia en función de la concentración molar para las diferentes temperaturas de trabajo, así también como para el efecto del solvente.

La figura 13 muestra una curva de calibración para intervalos de concentración desde $2,00E-5$ M hasta $5,00E-4$ M, divididos en intervalos iguales a condiciones ambientales. En dicha gráfica se puede observar que la tendencia de la absorbancia en función de la concentración no corresponde al modelo de la Ley de Lambert-Beer. Esto sucede debido que se ha superado el límite de cuantificación del espectrofotómetro trabajado, siendo este límite $8,00E-5$ dado que es la concentración máxima conocida que brinda lecturas correctas del espectrofotómetro.

También se realizaron curvas de calibración para intervalos de concentración desde $4,00E-6$ M hasta $2,00E-5$ M, divididos en intervalos iguales a condiciones de temperatura variables ($23\text{ }^{\circ}\text{C}$, $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $50\text{ }^{\circ}\text{C}$), así como variando el disolvente utilizado (metanol en lugar de agua). Dichas gráficas si presentan la tendencia lineal esperada por la ley de Lambert-Beer y fueron utilizadas para calcular las absortividades para cada condición de trabajo.

Se esperaba que la absortividad de las mezclas con agua fuera diferente a las mezclas con metanol. Caso que se comprueba con los resultados obtenidos ya que presentan valores muy distintos entre sí. También se buscó determinar si la absortividad era dependiente o independiente a la temperatura de trabajo. Por ello, se realizó un análisis de varianza para determinar si las absortividades encontradas correspondían con esta dependencia mediante la prueba de Fischer.

En la tabla XII puede observarse la prueba de Fischer que confirma que las absortividades son significativamente diferentes entre sí, concluyendo que poseen una dependencia con la temperatura de trabajo. Esto se confirma al observar que el valor F calculado es mayor al F crítico para un nivel de significancia del 5 %. Asimismo, existe una probabilidad de $3,621E-07$ que esta aseveración sea incorrecta.

Así fueron definidas las absortividades finales detalladas en la tabla XIII, las cuales fueron utilizadas según el sistema definido para cada fase de la evaluación de la cinética de la reacción. Dichas absortividades no presentan una confiabilidad absoluta debido a los coeficientes de correlación obtenidos para cada linealización, donde se considera una correlación confiable un índice de correlación con al menos tres nueves decimales (0,999...).

5.3. Método de Velocidades Iniciales

Se utilizó el Método de Velocidades Iniciales para determinar la cinética con respecto al ácido ascórbico. Esto es debido que, a diferencia del azul de metileno, no es posible correlacionar la concentración de ácido ascórbico por medios espectrofotométricos a medida que se da la reacción por el tiempo. Sin embargo, es posible observar el efecto que tiene la concentración inicial del ácido ascórbico en la reducción de azul de metileno. Debido a ello el Método de Velocidades Iniciales puede ajustarse para determinar la cinética con respecto a dicho reactivo.

En la sección de datos calculados en anexos puede encontrarse una prueba fallida del Método de Velocidades Iniciales donde se trabajó con concentraciones de $5,00E-4$ M y tiempos de reacción de uno y dos minutos. Estos resultados fueron repetidos debido que contradicen el concepto de “velocidad inicial”, ya que presentaban cambios de reacción que llegaban incluso a una descomposición total del azul de metileno. Para aplicar el Método de Velocidades Iniciales se debe tomar la aproximación más cercana a la velocidad de reacción en el instante cero.

A medida que se desvía del instante cero, el Método de Velocidades Iniciales pierde precisión. Por ello, para la realización del método se analizó la velocidad inicial de reacción en función de la descomposición de una mezcla de azul de metileno $2,00E-5$ M en un intervalo de 10s.

Los resultados obtenidos muestran que el orden de la reacción parcial con respecto al ácido ascórbico es de $0,367 \pm 0,394$ para soluciones acuosas y de $0,281 \pm 0,394$ para metanol como solvente. Dichos resultados no cumplen con la confiabilidad de la linealización al poseer, ambos, coeficientes de correlación menores al 0,999.

5.4. Método Diferencial

El Método Diferencial fue utilizado para cuantificar la cinética con respecto al azul de metileno. Esto se puede dado que el azul de metileno es un compuesto con propiedades espectrales, que puede ser cuantificado progresivamente por un espectrofotómetro a medida que la reacción se lleva a cabo.

Para la realización del método se fijó una reacción de soluciones de ácido ascórbico 0,03 M y azul de metileno $4,00E-5$ M mezcladas en volúmenes iguales. Dicha reacción fue rastreada cada 10 segundos por medio del espectrofotómetro para la generación de una curva de decaimiento de la concentración de azul de metileno en función del tiempo. La curva fue trazada desde el momento inicial de la reacción hasta que se cumpliera una de las siguientes condiciones:

- Obtener 3 datos de absorbancia idénticos
- Hayan pasado 10 minutos desde el momento inicial

La velocidad de reacción puede definirse como la pendiente de la gráfica de concentración en función del tiempo, o bien la derivada de la misma. Por ello se modeló cada corrida como un polinomio de grado 4 con el programa QtiPlot. La derivada del mismo brindó los datos de velocidad instantánea de reacción.

Los resultados de las figuras 20-31 muestran las gráficas linealizadas del Método Diferencial, donde se encontró que el orden de reacción parcial con respecto al azul de metileno para temperatura ambiente, $35\text{ }^{\circ}\text{C}$, $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ y con metanol son $0,437\pm 0,371$, $1,057\pm 0,360$, $0,850\pm 0,771$ y $0,825\pm 0,034$ respectivamente.

Conociendo que el orden parcial con respecto al azul de metileno en medio acuoso es de 1 se puede observar que a 35 °C y a 50 °C los valores, tomando en cuenta su incertidumbre absoluta, se encuentran dentro del rango de aceptabilidad. Sin embargo, a temperatura ambiente no se da dicho comportamiento. La máxima aproximación se da con un valor máximo posible de 0,808, el cual tiene una desviación significativa del valor teórico mayor del 10 % aceptable. Esto pudo deberse a que el experimento fue desarrollado a condiciones ambientales y se conoce que las mismas, no son constantes con respecto al tiempo, ni con respecto a la ubicación espacial del laboratorio. Sin embargo, los experimentos a condiciones controladas poseen valores dentro del límite de confiabilidad del fundamento teórico.

Con base en la confiabilidad de las gráficas linealizadas puede observarse que la mayoría de las corridas presentan índices de correlación mayores al 0,999, con lo que puede asegurarse que el modelo utilizado para dicha dispersión de datos si se adapta a una línea recta, lo cual confirma el método utilizado.

5.5. Constante cinética

Fue seleccionado el Método Diferencial para el cálculo de la constante cinética de la reacción, ya que involucra menos pasos para la obtención de un resultado y también posee mayor cantidad de datos, lo cual minimiza los errores obtenidos en los cálculos de la misma.

Con base en la ecuación linealizada de la Ley de Velocidad se puede relacionar el intercepto obtenido por el Método Diferencial a cada temperatura con la constante cinética, concentración de ácido ascórbico y orden de reacción parcial con respecto al mismo.

Cabe mencionar que la concentración de ácido ascórbico puede tomarse constante en el transcurso de la reacción debido que es mucho mayor en comparación de la concentración de azul de metileno e, incluso en el punto final de la reacción, no variará de forma significativa como para alterar la cinética de la reacción. Esto se conoce como el Método de Aislamiento de Ostwald.

Conociendo el valor del orden parcial de reacción para el ácido ascórbico y asumiendo una concentración constante del mismo de 0,015 M (tomando en cuenta la dilución en el mezclado a iguales volúmenes), fue posible despejar la constante cinética para cada temperatura y correlacionarlas mediante la linealización de la ecuación de Arrhenius ($k = Ae^{-E_A/T}$). Con los resultados obtenidos de la linealización se obtuvo el valor de la energía de activación de la reacción y el factor de colisiones, con valores de $356,30 \pm 192,40$ kJ/mol y $1,21E+58 \pm 9,25E+59$ respectivamente.

La confiabilidad de esta linealización dada por el coeficiente de correlación con valor de 0,9165 indica que los datos no se adaptan al modelo definido de una línea recta. Esto pudo suceder por la falta de control en la experimentación a temperatura ambiente, ya que si se asume que la linealización tuvo error en la pendiente es muy probable que el intercepto de la misma haya sufrido el mismo error.

Para poder obtener una mayor seguridad de estos valores es recomendable controlar las condiciones de la corrida a temperatura ambiente, o bien realizar mayor número de corridas a diferentes temperaturas de trabajo para tener mayores datos del comportamiento de la velocidad de reacción en función de la temperatura.

5.6. Errores

Es de suma importancia discutir los errores obtenidos en todo trabajo investigativo ya que son una muestra de la confiabilidad de los resultados y las posibles fuentes de desviación, que pueden ser modificadas para obtener mejores resultados.

En este trabajo se dividieron los errores en 4 grupos. Incertezas absolutas, error de incertidumbre, error de precisión y error de exactitud.

Las incertezas absolutas indican el rango de valores, a partir del valor obtenido para cada magnitud, donde puede encontrarse el valor real. Por sí mismas no logran brindar conclusiones de cómo mejorar en el experimento, simplemente amplían el rango de un resultado para justificar el error en el que se haya incidido en la medida de este.

El error de incertidumbre muestra la relación de la incerteza absoluta sobre el resultado obtenido, y es una medida directa de qué tan adecuados son los instrumentos y equipos que se utilizaron dentro de la experimentación. Si el error de precisión supera el límite de confiabilidad permitido de 10 % se asume que los instrumentos utilizados son demasiado imprecisos y deberá de utilizarse instrumentos con menor graduación, para así disminuir al máximo su incidencia en los resultados.

El error de precisión muestra la relación de la desviación de los datos de corridas repetitivas con el promedio de las mismas. Es una medida directa de la aleatoriedad de los datos por parte del experimentador o de los alrededores. Al obtener errores mayores al 10 % del límite permitido significa que se debe mejorar el control de las condiciones del sistema para minimizar la aleatoriedad.

Por su parte el error de exactitud relaciona al valor experimental obtenido con el valor teórico sustentado en la bibliografía o trabajos repetitivos de diversas fuentes investigativas. Obtener un error mayor al 10 % de exactitud muestra una desviación del comportamiento esperado de un parámetro ya estudiado. Esto puede tener diversas fuentes, explicaciones y soluciones. Una solución es visualizar la incerteza absoluta y si el dato teórico se encuentra dentro de los límites definidos por la incerteza se puede tomar como un dato válido.

Cabe mencionar que dentro de un enfoque investigativo el error de exactitud pierde protagonismo dado que se procura generar nuevo conocimiento con base en la experimentación, por lo cual no habría valores teóricos con cuáles comparar, o bien ampliar la base de datos universal de un conocimiento específico.

Para los resultados del orden de reacción con respecto al azul de metileno se observa que solo las mezclas con metanol presenta un error de incertidumbre aceptable, dado que es menor al límite de confiabilidad de 10 %. Con base en esto se puede concluir que se necesitan instrumentos de trabajo más precisos o datos más verídicos, ya que la incerteza absoluta de los coeficientes del polinomio pudo contribuir en la dispersión del error.

Con respecto a la precisión puede observarse que todos los elementos cumplen con un error de precisión menor al 10 % máximo permitido, a excepción de la corrida a temperatura ambiente, donde pudo haber variaciones por las condiciones ambientales no controladas del experimento. La desviación promedio del orden a diferentes temperaturas también es una incidencia directa del orden a temperatura ambiente (23 °C).

El orden de reacción con respecto al azul de metileno para las soluciones acuosas es el único que posee error de exactitud, debido que es el único que se encuentra en la bibliografía con un valor confirmado de 1. En este caso se observa que el único orden aceptable sería el de 35 °C, por ser el único en poseer un error menor al 10 %. Sin embargo, la incerteza del orden de reacción a 50 °C ($0,850 \pm 0,771$) posee un rango de posibles valores comprendido entre [0,078, 1,621], lo cual ubica al valor teórico del orden de reacción dentro de este intervalo, corroborando su exactitud, a pesar del error presente de 15 % mayor al límite de confianza. Por otra parte, el error para la temperatura de 23 °C no puede compensarse con la incerteza ($0,437 \pm 0,371$) ya que el valor máximo obtenido es de 0,808 y no comprende el valor teórico de 1.

Para los resultados del orden de reacción con respecto al ácido ascórbico solamente pudo calcularse el error de incertidumbre, debido a la falta de corridas repetitivas y datos teóricos. Sin embargo, los errores demuestran que la incertidumbre es mucho mayor al límite del 10% aceptable, lo que indica que debe de utilizarse instrumentos más precisos para el análisis. Este error también pudo ser fuente de la poca cantidad de puntos dentro de la linealización, por lo que aumentar la cantidad de puntos para el análisis del Método de Velocidades Iniciales podría ser de beneficio para disminuir los errores involucrados.

Para los resultados de la constante cinética y la ecuación de Arrhenius también existen únicamente errores de incertidumbre. Curiosamente todos los resultados asociados poseen errores extremadamente alejados del 10 % máximo, lo cual indica que se deben de mejorar los instrumentos de trabajo, o bien como ya se ha mencionado con anterioridad, aumentar la cantidad de repeticiones para que la correlación lineal presente incertezas menores y así disminuir los errores por incertidumbre.

CONCLUSIONES

1. Se demostró que es posible correlacionar la concentración de azul de metileno en función de la absorbancia medida en un espectrofotómetro UV-Visible, siempre que se trabaje dentro de los límites de cuantificación de dicho espectrofotómetro, por la Ley de Lambert-Beer.
2. Se fijaron los parámetros óptimos para que el desarrollo de la práctica sea didáctica y efectiva, para que el estudiante establezca empíricamente la relación del fenómeno cinético, con datos confiables y verídicos en su formación académica.
3. Bajo condiciones controladas es posible determinar correctamente los parámetros cinéticos relacionados de órdenes parciales, constantes cinéticas, energía de activación y factor de frecuencia, bajo parámetros de precisión y exactitud aceptables; y realizar la comprobación por parte del estudiante.
4. La práctica propuesta puede ser implementada dentro del Laboratorio de Físicoquímica 2, dado que se demostró que la cinética de la reacción del azul de metileno con ácido ascórbico puede evaluarse dentro de parámetros de precisión y exactitud aceptables, siendo didácticamente aplicable al curso.

RECOMENDACIONES

1. Controlar las condiciones de temperatura para todas las corridas para evitar la aleatoriedad en los resultados obtenidos, como la adquirida para los resultados a temperatura ambiente.
2. Contar con cristalería más precisa para trabajar el experimento con menor incertidumbre.
3. Verificar la calibración del equipo al inicio de la práctica.
4. Trabajar el Método de Velocidades Iniciales con más valores de concentración inicial de ácido ascórbico para aumentar la precisión del método.
5. Trabajar el Método Diferencial con más condiciones de temperatura para aumentar la precisión en el cálculo de la constante cinética.
6. Trabajar a intervalos de temperatura menores a 50 °C debido que a dicha temperatura se complicó mucho la obtención de datos, porque la reacción sucedía en menos de un minuto.
7. No trabajar a concentraciones mayores a $4,00E-4$ porque, según la figura 4, es el límite superior de detección por lo que concentraciones mayores resultarán en la pérdida de la linealidad de la Ley de Lambert-Beer.

BIBLIOGRAFÍA

1. EL-AILA, H. J. *Reduktion von methylenblau mit ascorbinsäure: kinetische und thermodynamische aspekte*. Gaza, Palestina. 2012. p. 26-31.
2. FOGLER, H. Scott. *Elementos de ingeniería de las reacciones químicas*. 4a ed. México: Pearson Educación, 2008. 1120 p.
3. MOWRY, Sarah; OGREN, Paul J. *Kinetics of methylene blue reduction by ascorbic acid*. Richmond, Estados Unidos de América. 1999. 4 p.
4. PERRY, Robert H. *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. 8a ed. New York, EE.UU.: McGraw-Hill, 2008. 2400 p.
5. Real Academia Española. *Diccionario de la lengua española*. [en línea]. < <http://lema.rae.es/>>. [Consulta: 6 de abril de 2014.]
6. SNEHALATHA, T.; RAJANNA, K. C.; Saiprakash, P. K. *Methylene Blue–Ascorbic Acid; An Undergraduate Experiment in Kinetics*. Hyderabad, India. 1997. 6 p.
7. Wikipedia, la enciclopedia libre. [en línea]. < <http://es.wikipedia.org/>>. [Consulta: 6 de abril de 2014.]

APÉNDICES

1. Metodología de cálculo

A continuación se hará el detalle de la metodología de cálculo utilizada para la obtención de los resultados de interés para la experimentación.

1.1. Fórmulas generales

En esta sección se detallarán las fórmulas que se utilizaron repetidamente para diferentes resultados en el proceso de cálculo. Generalmente se limitan al cálculo de magnitudes promedio y magnitudes relacionadas a corridas.

- Promedio

Este cálculo se utiliza para calcular la magnitud de valores promedio de una serie de corridas repetitivas. Utilizado para calcular absorbancias, concentraciones, pendientes, interceptos, órdenes de reacción con respecto al azul de metileno y coeficientes de correlación promedio.

$$\bar{x} = \sum \frac{x_i}{n}$$

- Corrida de ejemplo: cálculo del promedio de absorbancias a 35 °C de la solución de 2,00E-5 M.

$$\bar{A} = \frac{1,006 + 1,005 + 1,004}{3} = 1,005$$

- Desviación estándar

Este cálculo fue utilizado para determinar la variación entre los valores dados de corridas repetitivas. Utilizada para calcular desviaciones de pendientes, interceptos y órdenes de reacción con respecto al azul de metileno.

$$\sigma = \sqrt{\sum (\bar{x} - x_i) / (N - 1)}$$

- Corrida de ejemplo: desviación estándar de la pendiente de las corridas linealizadas del Método Diferencial a 23 °C.

$$\sigma = \sqrt{\frac{(0,437 - 0,357)^2 + (0,437 - 0,574)^2 + (0,437 - 0,380)^2}{3 - 1}} = 0,119$$

- Logaritmos

Se utilizaron repetidamente logaritmos naturales o con base 10 para el desarrollo del Método Diferencial y el Método de Velocidades Iniciales.

$$\text{Log}(x) = \text{Log}_{10}(x)$$

$$\ln(x) = \text{Log}_e(x)$$

- Corrida de ejemplo: logaritmo de la concentración instantánea de azul de metileno para el Método Diferencial a 10 s de iniciada la corrida 1 a 23 °C.

$$\text{Log}(1,453\text{E} - 05) = -4,838\text{E} + 00$$

- Incerteza absoluta

La incerteza máxima se calcula midiendo el avance del error por medio de derivación parcial. Utilizada para todas las ecuaciones dentro de la metodología de cálculo.

$$dy(x_1, x_2, x_3 \dots x_n) = \sum_{i=1}^n \left| \frac{\delta y}{\delta x_i} \right| * dx_i$$

- Corrida de ejemplo: incerteza absoluta de la concentración de la solución madre.

$$dC_{madre} = \left(\frac{0,0005}{319,85 * 0,1} + \frac{1,599 * 0,0001}{319,85 * 0,1^2} \right) M = \pm 6,563E - 05 M$$

- Error de incertidumbre porcentual

El error de incertidumbre se calcula relacionando la incerteza absoluta de un resultado con el valor del resultado en cuestión, representado en forma porcentual. Se calcula para todos los resultados finales.

$$E_I = \frac{dx_i}{x_i} * 100\%$$

- Corrida de ejemplo: error de incertidumbre porcentual del orden de reacción del ácido ascórbico a 23 °C.

$$E_I = \frac{0,367}{0,349} * 100\% = 95,12\%$$

- Error de precisión porcentual

El error de precisión se calcula por medio del coeficiente de variación, que relaciona la desviación estándar de una serie de datos con el promedio de la misma, representado en forma porcentual. Es calculado para todos los resultados que cuentan con desviación estándar, o en otras palabras, aquellas que presentan corridas repetitivas.

$$E_p = \frac{\sigma}{\bar{x}} * 100\%$$

- Corrida de ejemplo: error de precisión porcentual para el orden de reacción con respecto al azul de metileno a 23 °C.

$$E_p = \frac{0,437}{0,119} = 27,30\%$$

- Error de exactitud porcentual

El error de exactitud se calcula midiendo la desviación absoluta con el dato teórico y relacionándolo con el valor del mismo, representado en forma porcentual. Solamente el orden de reacción con respecto al azul de metileno posee error de exactitud.

$$E_E = \frac{|D_T - D_E|}{D_T} * 100\%$$

- Corrida de ejemplo: error de exactitud porcentual para el orden de reacción con respecto al azul de metileno a 23 °C.

$$E_E = \frac{|1 - 0,437|}{1} * 100\% = 56,31\%$$

1.2. Preparación de los reactivos

En esta sección se detallan los cálculos requeridos para la preparación de las soluciones necesarias para la fase de experimentación.

- Masa de reactivos sólidos

Utilizado para determinar la masa necesaria para las distintas soluciones partiendo de reactivos sólidos. Usada para la solución madre de azul de metileno y las soluciones de ácido ascórbico.

$$m = C * V * PM$$

- Corrida de ejemplo: masa necesaria de azul de metileno para la solución madre.

$$m = 5,00E - 2 M * 0,1 L * 319,85 = 1,599 g$$

- Volumen de alícuota de soluciones líquidas

Utilizado para determinar el volumen de la alícuota necesaria para la dilución de un reactivo a partir de una solución patrón. Aplicada para las diluciones de las soluciones de azul de metileno y ácido ascórbico.

$$V_A = \frac{V_S * C_S}{C_A}$$

- Corrida de ejemplo: volumen necesario de alícuota para preparar la solución intermedia de azul de metileno.

$$V_A = \frac{5,00E - 4 M * 100 ml}{5,00E - 2 M} = 1 ml$$

- Volumen de reactivos líquidos

Utilizada para determinar la cantidad de volumen de reactivo líquido para la preparación de una solución a determinada concentración, específicamente para el cálculo de ácido sulfúrico y metanol.

$$V = C_A * V_A * \frac{PM}{\rho} * \frac{1}{\%pureza}$$

- Corrida de ejemplo: volumen de ácido sulfúrico necesario para preparar 500 ml de solución 0,6 M.

$$V = 0,6 M * 0,5 L * \frac{98,079 g mol^{-1}}{1,84 g ml^{-1}} * \frac{1}{0,98} = 16,3 ml$$

1.3. Modelos matemáticos

Los modelos matemáticos fueron realizados con la ayuda del software QtiPlot. Dicho programa provee datos de correlación muy precisos que además de tomar la coordenada del punto, cuenta las incertezas absolutas de los puntos graficados, tanto en el eje “x”, como en el eje “y”.

- Correlación lineal

Sirve para determinar la ecuación de la recta que más se ajuste a los resultados obtenidos de absortividades; desarrollo del Método Diferencial y de Velocidades Iniciales; y los parámetros de la ecuación de Arrhenius.

$$y = mx + b$$

- Corrida de ejemplo: correlación lineal de la absortividad a 23 °C.

$$A = 54225 * C - 0,0633$$

- Modelo polinomial de cuarto grado

Utilizado en el Método Diferencial para correlacionar la dispersión de datos de concentración en función del tiempo de reacción.

$$y = a_4 * x^4 + a_3 * x^3 + a_2 * x^2 + a_1 * x + a_0$$

- Corrida de ejemplo: correlación polinomial de la concentración de azul de metileno a 23 °C (corrida 1) en función del tiempo.

$$C = -1,62E - 17 * t^4 + 2,66E - 14 * t^3 - 1,19E - 12 * t^2 - 2,39E - 08 * t + 1,49E - 05$$

1.4. Otras ecuaciones

A continuación se detallarán el resto de cálculos llevados a cabo durante el proceso experimental

- Absortividad

Se encuentra mediante una linealización de la absorbancia en función de la concentración de azul de metileno, donde toma el valor de la pendiente

$$a = m$$

- Corrida de ejemplo: absortividad para soluciones de azul de metileno a 23 °C.

$$a = 54225$$

- Concentración a partir de la absorbancia.

Es utilizada la Ley de Lambert-Beer despejada para la concentración.

$$C = A/a$$

- Corrida de ejemplo: concentración de azul de metileno a 10 s de iniciada la corrida 1 a 23 °C.

$$C = \frac{0,788}{54225} = 1,453E - 05 M$$

- Velocidad de reacción instantánea

Se calcula la derivada del modelo correlacionado de concentración en función del tiempo, en el tiempo de interés.

$$\frac{dC}{dt}(t) = 4a_4 * t^3 + 3a_3 * t^2 + 2a_2 * t + a_1$$

- Corrida de ejemplo: velocidad de reacción instantánea a 10 s de iniciada la corrida 1 a 23 °C.

$$\begin{aligned} C'(10) &= -6,493E - 17 * 10^3 + 7,992E - 14 * 10^2 - 2,380E - 12 * 10 - 2,388E - 08 \\ &= -2,389E - 08 \end{aligned}$$

- Dilución de concentración inicial

Cálculo de dilución que se realiza al mezclar cantidades iguales de las soluciones de azul de metileno y ácido ascórbico para la evaluación de la cinética.

$$C_o = \frac{C'_0}{2}$$

- Corrida de ejemplo: concentración inicial de azul de metileno para el Método de Velocidades Iniciales.

$$C_o = \frac{0,00004 \text{ M}}{2} = 0,00002 \text{ M}$$

- Cambio inicial de concentración

Para el Método de Velocidades Iniciales fue necesario calcular el cambio de concentración inicial tomando un tiempo de 13 segundos

$$\Delta C_0 = C_f - C_0$$

- Corrida de ejemplo: cambio inicial de concentración para la corrida 1 de la solución más diluida de ácido ascórbico para el Método de Velocidades Iniciales.

$$\Delta C_0 = 12,234E - 6 M - 2,00E - 5 M = -7,766E - 6 M$$

- Velocidad inicial promedio

Se calcula relacionando el cambio inicial de concentración con el tiempo en que se produjo dicho cambio.

$$r_{A0} = \frac{\Delta C_0}{t}$$

- Corrida de ejemplo: velocidad inicial promedio para la corrida 1 de la concentración de ácido ascórbico de 0,01 M.

$$r_{A0} = \frac{-7,766E - 6 M}{13 s} = -5,97E - 7 \frac{M}{s}$$

- Constante cinética

Se encuentra mediante la linealización de la ecuación del Método Diferencial, formando parte del intercepto.

$$k_c = 10^{b - \beta \text{Log}(C_B)}$$

- Corrida de ejemplo: constante cinética para la reacción de reducción del azul de metileno con ácido ascórbico a 23 °C.

$$k_c = 10^{-5,711 - 0,367 * \text{Log}(0,015)} = 9,084\text{E} - 06$$

- Energía de activación

Se encuentra mediante la linealización de la ecuación de Arrhenius, donde está en función de la pendiente de dicha gráfica.

$$E_A = -m * R$$

Corrida de ejemplo: energía de activación para la reacción de reducción del azul de metileno con ácido ascórbico.

$$E_A = -(-42855,5) * 8,314 \frac{J}{mol} = 356300 \frac{J}{mol}$$

- Factor de frecuencia de colisiones

Se encuentra mediante la linealización de la ecuación de Arrhenius, donde está en función del intercepto con el eje y.

$$A = e^b$$

- Corrida de ejemplo: factor de frecuencia de colisiones para la reacción de reducción del azul de metileno con ácido ascórbico.

$$A = e^{133,74} = 1,21E58$$

2. Datos calculados

Apéndice I. Cálculo de longitud de onda óptima para el azul de metileno.

Corrida	Longitud de onda óptima (nm)
1	660,00
2	659,00
3	658,00
4	660,50
5	657,50
Promedio	659,00
Desviación Estándar	1,27
Error de precisión (%)	0,19%

Fuente: elaboración propia.

Apéndice II. Incertidumbres de soluciones iniciales de azul de metileno

Solución	Concentración [M]	dC [M]
Madre	5,00E-02	6,563E-05
Intermedia	5,00E-04	8,66E-06
Espectral	8,00E-05	2,11E-06

Fuente: elaboración propia.

Apéndice III. **Absortividad a 23 °C**

C [M]	dC [M]	Absorbancia			
		296,15 K (23C)			
		1	2	3	Promedio
2,00E-05	5,78E-07	1,025	1,025	1,025	1,025
1,60E-05	5,03E-07	0,805	0,805	0,805	0,805
1,20E-05	4,27E-07	0,595	0,595	0,595	0,595
8,00E-06	3,51E-07	0,338	0,338	0,338	0,338
4,00E-06	2,76E-07	0,174	0,174	0,174	0,174
	Pendiente	54225	54225	54225	54225
	Intercepto	-0,0633	-0,0633	-0,0633	-0,0633
	Error pendiente	39,528	39,528	39,528	39,528
	error intercepto	5,244E-04	5,244E-04	5,244E-04	5,244E-04
	Correlación	0,9967	0,9967	0,9967	0,9967

Fuente: elaboración propia.

Apéndice IV. **Absortividad a 35 °C**

C [M]	dC [M]	Absorbancia			
		35 °C			
		1	2	3	Promedio
2,00E-05	5,78E-07	1,006	1,005	1,004	1,005
1,60E-05	5,03E-07	0,793	0,794	0,792	0,793
1,20E-05	4,27E-07	0,577	0,575	0,575	0,576
8,00E-06	3,51E-07	0,333	0,332	0,331	0,332
4,00E-06	2,76E-07	0,169	0,166	0,166	0,167
	Pendiente	53350	53500	53425	53425
	Intercepto	-0,0646	-0,0676	-0,0675	-0,0666
	Error pendiente	39,528	39,528	39,528	39,528
	error intercepto	5,244E-04	5,244E-04	5,244E-04	5,244E-04
	Correlación	0,9972	0,9973	0,9972	0,9972

Fuente: elaboración propia.

Apéndice V. **Absortividad a 50 °C**

C [M]	dC [M]	Absorbancia			
		50 °C			
		1	2	3	Promedio
2,00E-05	5,78E-07	1,036	1,036	1,035	1,036
1,60E-05	5,03E-07	0,788	0,786	0,784	0,786
1,20E-05	4,27E-07	0,574	0,572	0,572	0,573
8,00E-06	3,51E-07	0,338	0,337	0,337	0,337
4,00E-06	2,76E-07	0,172	0,171	0,170	0,171
	Pendiente	54450	54475	54425	54450
	Intercepto	-0,0718	-0,0733	-0,0735	-0,0729
	Error pendiente	39,528	39,528	39,528	39,528
	error intercepto	5,244E-04	5,244E-04	5,244E-04	5,244E-04
	Correlación	0,9960	0,9959	0,9960	0,9960

Fuente: elaboración propia.

Apéndice VI. **Absortividad con metanol**

C [M]	dC [M]	Absorbancia			
		Con metanol			
		1	2	3	Promedio
2,00E-05	5,78E-07	1,284	1,282	1,281	1,282
1,60E-05	5,03E-07	0,814	0,814	0,814	0,814
1,20E-05	4,27E-07	0,713	0,712	0,712	0,712
8,00E-06	3,51E-07	0,510	0,509	0,508	0,509
4,00E-06	2,76E-07	0,237	0,236	0,235	0,236
	Pendiente	59950	59925	59950	59942
	Intercepto	-0,0078	-0,0085	-0,0094	-0,0086
	Error pendiente	39,528	39,528	39,528	39,528
	error intercepto	5,244E-04	5,244E-04	5,244E-04	5,244E-04
	Correlación	0,9520	0,9527	0,9532	0,9526

Fuente: elaboración propia.

Apéndice VII. Barrido de muestra

Tiempo (s)	dt (s)	Absorbancia	dA	Concentración (M)	dC	Concentración (M*10 ⁻⁶)	dC *10 ⁻⁶
10	0,005	0,788	0,0005	1,45E-05	1,65E-08	14,53	1,65E-02
20	0,005	0,781	0,0005	1,44E-05	1,28E-08	14,40	1,28E-02
30	0,005	0,768	0,0005	1,42E-05	1,16E-08	14,16	1,16E-02
40	0,005	0,755	0,0005	1,39E-05	1,10E-08	13,92	1,10E-02
50	0,005	0,741	0,0005	1,37E-05	1,06E-08	13,67	1,06E-02
60	0,005	0,728	0,0005	1,34E-05	1,03E-08	13,43	1,03E-02
70	0,005	0,715	0,0005	1,32E-05	1,02E-08	13,19	1,02E-02
80	0,005	0,703	0,0005	1,30E-05	1,00E-08	12,96	1,00E-02
90	0,005	0,690	0,0005	1,27E-05	9,93E-09	12,72	9,93E-03
100	0,005	0,677	0,0005	1,25E-05	9,85E-09	12,49	9,85E-03
110	0,005	0,664	0,0005	1,22E-05	9,78E-09	12,25	9,78E-03
120	0,005	0,650	0,0005	1,20E-05	9,72E-09	11,99	9,72E-03
130	0,005	0,638	0,0005	1,18E-05	9,67E-09	11,77	9,67E-03
140	0,005	0,626	0,0005	1,15E-05	9,63E-09	11,54	9,63E-03
150	0,005	0,614	0,0005	1,13E-05	9,60E-09	11,32	9,60E-03
160	0,005	0,600	0,0005	1,11E-05	9,57E-09	11,07	9,57E-03
170	0,005	0,589	0,0005	1,09E-05	9,54E-09	10,86	9,54E-03
180	0,005	0,577	0,0005	1,06E-05	9,52E-09	10,64	9,52E-03
190	0,005	0,566	0,0005	1,04E-05	9,50E-09	10,44	9,50E-03
200	0,005	0,554	0,0005	1,02E-05	9,48E-09	10,22	9,48E-03
210	0,005	0,542	0,0005	1,00E-05	9,46E-09	10,00	9,46E-03
220	0,005	0,531	0,0005	9,79E-06	9,44E-09	9,79	9,44E-03
230	0,005	0,519	0,0005	9,57E-06	9,43E-09	9,57	9,43E-03
240	0,005	0,508	0,0005	9,37E-06	9,42E-09	9,37	9,42E-03
250	0,005	0,497	0,0005	9,17E-06	9,40E-09	9,17	9,40E-03
260	0,005	0,486	0,0005	8,96E-06	9,39E-09	8,96	9,39E-03
270	0,005	0,475	0,0005	8,76E-06	9,38E-09	8,76	9,38E-03
280	0,005	0,464	0,0005	8,56E-06	9,37E-09	8,56	9,37E-03
290	0,005	0,453	0,0005	8,35E-06	9,36E-09	8,35	9,36E-03
300	0,005	0,443	0,0005	8,17E-06	9,36E-09	8,17	9,36E-03
310	0,005	0,433	0,0005	7,99E-06	9,35E-09	7,99	9,35E-03
320	0,005	0,423	0,0005	7,80E-06	9,34E-09	7,80	9,34E-03
330	0,005	0,412	0,0005	7,60E-06	9,34E-09	7,60	9,34E-03
340	0,005	0,403	0,0005	7,43E-06	9,33E-09	7,43	9,33E-03
350	0,005	0,393	0,0005	7,25E-06	9,32E-09	7,25	9,32E-03
360	0,005	0,384	0,0005	7,08E-06	9,32E-09	7,08	9,32E-03
370	0,005	0,374	0,0005	6,90E-06	9,31E-09	6,90	9,31E-03
380	0,005	0,365	0,0005	6,73E-06	9,31E-09	6,73	9,31E-03
390	0,005	0,356	0,0005	6,57E-06	9,31E-09	6,57	9,31E-03
400	0,005	0,347	0,0005	6,40E-06	9,30E-09	6,40	9,30E-03
410	0,005	0,339	0,0005	6,25E-06	9,30E-09	6,25	9,30E-03
420	0,005	0,330	0,0005	6,09E-06	9,29E-09	6,09	9,29E-03
430	0,005	0,321	0,0005	5,92E-06	9,29E-09	5,92	9,29E-03
440	0,005	0,313	0,0005	5,77E-06	9,29E-09	5,77	9,29E-03
450	0,005	0,305	0,0005	5,62E-06	9,28E-09	5,62	9,28E-03
460	0,005	0,297	0,0005	5,48E-06	9,28E-09	5,48	9,28E-03
470	0,005	0,289	0,0005	5,33E-06	9,28E-09	5,33	9,28E-03
480	0,005	0,282	0,0005	5,20E-06	9,28E-09	5,20	9,28E-03

Continuación del apéndice VII.

490	0,005	0,274	0,0005	5,05E-06	9,27E-09	5,05	9,27E-03
500	0,005	0,267	0,0005	4,92E-06	9,27E-09	4,92	9,27E-03
510	0,005	0,260	0,0005	4,79E-06	9,27E-09	4,79	9,27E-03
520	0,005	0,254	0,0005	4,68E-06	9,27E-09	4,68	9,27E-03
530	0,005	0,247	0,0005	4,56E-06	9,26E-09	4,56	9,26E-03
540	0,005	0,240	0,0005	4,43E-06	9,26E-09	4,43	9,26E-03
550	0,005	0,234	0,0005	4,32E-06	9,26E-09	4,32	9,26E-03
560	0,005	0,227	0,0005	4,19E-06	9,26E-09	4,19	9,26E-03
570	0,005	0,221	0,0005	4,08E-06	9,26E-09	4,08	9,26E-03
580	0,005	0,215	0,0005	3,96E-06	9,26E-09	3,96	9,26E-03
590	0,005	0,209	0,0005	3,85E-06	9,25E-09	3,85	9,25E-03
600	0,005	0,203	0,0005	3,74E-06	9,25E-09	3,74	9,25E-03
610	0,005	0,197	0,0005	3,63E-06	9,25E-09	3,63	9,25E-03
620	0,005	0,192	0,0005	3,54E-06	9,25E-09	3,54	9,25E-03
630	0,005	0,186	0,0005	3,43E-06	9,25E-09	3,43	9,25E-03
640	0,005	0,181	0,0005	3,34E-06	9,25E-09	3,34	9,25E-03
650	0,005	0,176	0,0005	3,25E-06	9,25E-09	3,25	9,25E-03
660	0,005	0,171	0,0005	3,15E-06	9,24E-09	3,15	9,24E-03
670	0,005	0,166	0,0005	3,06E-06	9,24E-09	3,06	9,24E-03
680	0,005	0,162	0,0005	2,99E-06	9,24E-09	2,99	9,24E-03
690	0,005	0,157	0,0005	2,90E-06	9,24E-09	2,90	9,24E-03
700	0,005	0,152	0,0005	2,80E-06	9,24E-09	2,80	9,24E-03
710	0,005	0,148	0,0005	2,73E-06	9,24E-09	2,73	9,24E-03
720	0,005	0,144	0,0005	2,66E-06	9,24E-09	2,66	9,24E-03
730	0,005	0,140	0,0005	2,58E-06	9,24E-09	2,58	9,24E-03
740	0,005	0,136	0,0005	2,51E-06	9,24E-09	2,51	9,24E-03
750	0,005	0,132	0,0005	2,43E-06	9,24E-09	2,43	9,24E-03
760	0,005	0,128	0,0005	2,36E-06	9,24E-09	2,36	9,24E-03
770	0,005	0,125	0,0005	2,31E-06	9,24E-09	2,31	9,24E-03
780	0,005	0,121	0,0005	2,23E-06	9,24E-09	2,23	9,24E-03
790	0,005	0,117	0,0005	2,16E-06	9,23E-09	2,16	9,23E-03
800	0,005	0,115	0,0005	2,12E-06	9,23E-09	2,12	9,23E-03
810	0,005	0,111	0,0005	2,05E-06	9,23E-09	2,05	9,23E-03
820	0,005	0,108	0,0005	1,99E-06	9,23E-09	1,99	9,23E-03
830	0,005	0,105	0,0005	1,94E-06	9,23E-09	1,94	9,23E-03
840	0,005	0,102	0,0005	1,88E-06	9,23E-09	1,88	9,23E-03
850	0,005	0,099	0,0005	1,83E-06	9,23E-09	1,83	9,23E-03
860	0,005	0,096	0,0005	1,77E-06	9,23E-09	1,77	9,23E-03
870	0,005	0,094	0,0005	1,73E-06	9,23E-09	1,73	9,23E-03
880	0,005	0,091	0,0005	1,68E-06	9,23E-09	1,68	9,23E-03
890	0,005	0,088	0,0005	1,62E-06	9,23E-09	1,62	9,23E-03
900	0,005	0,086	0,0005	1,59E-06	9,23E-09	1,59	9,23E-03
910	0,005	0,083	0,0005	1,53E-06	9,23E-09	1,53	9,23E-03
920	0,005	0,081	0,0005	1,49E-06	9,23E-09	1,49	9,23E-03
930	0,005	0,078	0,0005	1,44E-06	9,23E-09	1,44	9,23E-03
940	0,005	0,076	0,0005	1,40E-06	9,23E-09	1,40	9,23E-03
950	0,005	0,074	0,0005	1,36E-06	9,23E-09	1,36	9,23E-03
960	0,005	0,073	0,0005	1,35E-06	9,23E-09	1,35	9,23E-03
970	0,005	0,070	0,0005	1,29E-06	9,23E-09	1,29	9,23E-03
980	0,005	0,068	0,0005	1,25E-06	9,23E-09	1,25	9,23E-03

Continuación del apéndice VII.

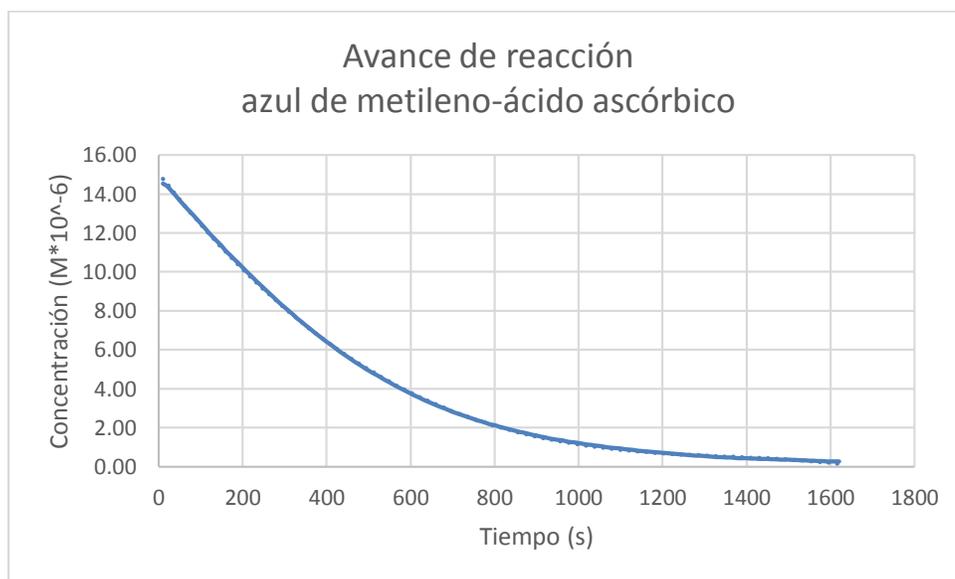
990	0,005	0,067	0,0005	1,24E-06	9,23E-09	1,24	9,23E-03
1000	0,005	0,065	0,0005	1,20E-06	9,23E-09	1,20	9,23E-03
1010	0,005	0,063	0,0005	1,16E-06	9,23E-09	1,16	9,23E-03
1020	0,005	0,061	0,0005	1,12E-06	9,23E-09	1,12	9,23E-03
1030	0,005	0,060	0,0005	1,11E-06	9,23E-09	1,11	9,23E-03
1040	0,005	0,058	0,0005	1,07E-06	9,23E-09	1,07	9,23E-03
1050	0,005	0,057	0,0005	1,05E-06	9,23E-09	1,05	9,23E-03
1060	0,005	0,055	0,0005	1,01E-06	9,23E-09	1,01	9,23E-03
1070	0,005	0,053	0,0005	9,77E-07	9,23E-09	0,98	9,23E-03
1080	0,005	0,052	0,0005	9,59E-07	9,23E-09	0,96	9,23E-03
1090	0,005	0,051	0,0005	9,41E-07	9,23E-09	0,94	9,23E-03
1100	0,005	0,050	0,0005	9,22E-07	9,23E-09	0,92	9,23E-03
1110	0,005	0,048	0,0005	8,85E-07	9,22E-09	0,89	9,22E-03
1120	0,005	0,047	0,0005	8,67E-07	9,22E-09	0,87	9,22E-03
1130	0,005	0,046	0,0005	8,48E-07	9,22E-09	0,85	9,22E-03
1140	0,005	0,044	0,0005	8,11E-07	9,22E-09	0,81	9,22E-03
1150	0,005	0,043	0,0005	7,93E-07	9,22E-09	0,79	9,22E-03
1160	0,005	0,042	0,0005	7,75E-07	9,22E-09	0,77	9,22E-03
1170	0,005	0,041	0,0005	7,56E-07	9,22E-09	0,76	9,22E-03
1180	0,005	0,040	0,0005	7,38E-07	9,22E-09	0,74	9,22E-03
1190	0,005	0,039	0,0005	7,19E-07	9,22E-09	0,72	9,22E-03
1200	0,005	0,038	0,0005	7,01E-07	9,22E-09	0,70	9,22E-03
1210	0,005	0,037	0,0005	6,82E-07	9,22E-09	0,68	9,22E-03
1220	0,005	0,036	0,0005	6,64E-07	9,22E-09	0,66	9,22E-03
1230	0,005	0,035	0,0005	6,45E-07	9,22E-09	0,65	9,22E-03
1240	0,005	0,034	0,0005	6,27E-07	9,22E-09	0,63	9,22E-03
1250	0,005	0,033	0,0005	6,09E-07	9,22E-09	0,61	9,22E-03
1260	0,005	0,032	0,0005	5,90E-07	9,22E-09	0,59	9,22E-03
1270	0,005	0,031	0,0005	5,72E-07	9,22E-09	0,57	9,22E-03
1280	0,005	0,030	0,0005	5,53E-07	9,22E-09	0,55	9,22E-03
1290	0,005	0,030	0,0005	5,53E-07	9,22E-09	0,55	9,22E-03
1300	0,005	0,029	0,0005	5,35E-07	9,22E-09	0,53	9,22E-03
1310	0,005	0,028	0,0005	5,16E-07	9,22E-09	0,52	9,22E-03
1320	0,005	0,027	0,0005	4,98E-07	9,22E-09	0,50	9,22E-03
1330	0,005	0,026	0,0005	4,79E-07	9,22E-09	0,48	9,22E-03
1340	0,005	0,026	0,0005	4,79E-07	9,22E-09	0,48	9,22E-03
1350	0,005	0,025	0,0005	4,61E-07	9,22E-09	0,46	9,22E-03
1360	0,005	0,025	0,0005	4,61E-07	9,22E-09	0,46	9,22E-03
1370	0,005	0,024	0,0005	4,43E-07	9,22E-09	0,44	9,22E-03
1380	0,005	0,023	0,0005	4,24E-07	9,22E-09	0,42	9,22E-03
1390	0,005	0,023	0,0005	4,24E-07	9,22E-09	0,42	9,22E-03
1400	0,005	0,023	0,0005	4,24E-07	9,22E-09	0,42	9,22E-03
1410	0,005	0,022	0,0005	4,06E-07	9,22E-09	0,41	9,22E-03
1420	0,005	0,022	0,0005	4,06E-07	9,22E-09	0,41	9,22E-03
1430	0,005	0,021	0,0005	3,87E-07	9,22E-09	0,39	9,22E-03
1440	0,005	0,021	0,0005	3,87E-07	9,22E-09	0,39	9,22E-03
1450	0,005	0,021	0,0005	3,87E-07	9,22E-09	0,39	9,22E-03
1460	0,005	0,020	0,0005	3,69E-07	9,22E-09	0,37	9,22E-03
1470	0,005	0,020	0,0005	3,69E-07	9,22E-09	0,37	9,22E-03
1480	0,005	0,019	0,0005	3,50E-07	9,22E-09	0,35	9,22E-03

Continuación del apéndice VII

1490	0,005	0,019	0,0005	3,50E-07	9,22E-09	0,35	9,22E-03
1500	0,005	0,019	0,0005	3,50E-07	9,22E-09	0,35	9,22E-03
1510	0,005	0,018	0,0005	3,32E-07	9,22E-09	0,33	9,22E-03
1520	0,005	0,018	0,0005	3,32E-07	9,22E-09	0,33	9,22E-03
1530	0,005	0,017	0,0005	3,14E-07	9,22E-09	0,31	9,22E-03
1540	0,005	0,017	0,0005	3,14E-07	9,22E-09	0,31	9,22E-03
1550	0,005	0,016	0,0005	2,95E-07	9,22E-09	0,30	9,22E-03
1560	0,005	0,016	0,0005	2,95E-07	9,22E-09	0,30	9,22E-03
1570	0,005	0,015	0,0005	2,77E-07	9,22E-09	0,28	9,22E-03
1580	0,005	0,015	0,0005	2,77E-07	9,22E-09	0,28	9,22E-03
1590	0,005	0,014	0,0005	2,58E-07	9,22E-09	0,26	9,22E-03
1600	0,005	0,014	0,0005	2,58E-07	9,22E-09	0,26	9,22E-03
1610	0,005	0,014	0,0005	2,58E-07	9,22E-09	0,26	9,22E-03
1620	0,005	0,014	0,0005	2,58E-07	9,22E-09	0,26	9,22E-03

Fuente: elaboración propia.

Apéndice VIII. Gráfica del avance de la reacción de reducción de azul de metileno con ácido ascórbico



Fuente: elaboración propia.

Apéndice IX. **Absorbancias del Método Diferencial a 23 °C**

T=296,15 K		Absorbancia			
Tiempo (s)	dt [s]	Reacción; corrida 1	Reacción; corrida 2	Reacción; corrida 3	Incerteza
10	0,005	0,788	0,802	0,880	0,0005
20	0,005	0,781	0,791	0,874	0,0005
30	0,005	0,768	0,785	0,868	0,0005
40	0,005	0,755	0,776	0,862	0,0005
50	0,005	0,741	0,771	0,856	0,0005
60	0,005	0,728	0,764	0,850	0,0005
70	0,005	0,715	0,757	0,844	0,0005
80	0,005	0,703	0,750	0,838	0,0005
90	0,005	0,690	0,743	0,832	0,0005
100	0,005	0,677	0,736	0,826	0,0005
110	0,005	0,664	0,730	0,821	0,0005
120	0,005	0,650	0,724	0,815	0,0005
130	0,005	0,638	0,717	0,809	0,0005
140	0,005	0,626	0,711	0,803	0,0005
150	0,005	0,614	0,704	0,797	0,0005
160	0,005	0,600	0,697	0,792	0,0005
170	0,005	0,589	0,690	0,786	0,0005
180	0,005	0,577	0,684	0,781	0,0005
190	0,005	0,566	0,677	0,775	0,0005
200	0,005	0,554	0,671	0,769	0,0005
210	0,005	0,542	0,665	0,763	0,0005
220	0,005	0,531	0,658	0,757	0,0005
230	0,005	0,519	0,652	0,751	0,0005
240	0,005	0,508	0,646	0,746	0,0005
250	0,005	0,497	0,639	0,740	0,0005
260	0,005	0,486	0,633	0,735	0,0005
270	0,005	0,475	0,626	0,729	0,0005
280	0,005	0,464	0,620	0,724	0,0005
290	0,005	0,453	0,614	0,717	0,0005
300	0,005	0,443	0,608	0,712	0,0005
310	0,005	0,433	0,602	0,707	0,0005
320	0,005	0,423	0,596	0,701	0,0005
330	0,005	0,412	0,589	0,696	0,0005
340	0,005	0,403	0,584	0,689	0,0005
350	0,005	0,393	0,578	0,684	0,0005
360	0,005	0,384	0,572	0,679	0,0005
370	0,005	0,374	0,566	0,673	0,0005
380	0,005	0,365	0,560	0,668	0,0005
390	0,005	0,356	0,554	0,662	0,0005
400	0,005	0,347	0,548	0,657	0,0005
410	0,005	0,339	0,543	0,652	0,0005
420	0,005	0,330	0,537	0,646	0,0005
430	0,005	0,321	0,531	0,641	0,0005
440	0,005	0,313	0,526	0,636	0,0005
450	0,005	0,305	0,521	0,630	0,0005
460	0,005	0,297	0,515	0,625	0,0005
470	0,005	0,289	0,509	0,620	0,0005
480	0,005	0,282	0,503	0,615	0,0005
490	0,005	0,274	0,498	0,609	0,0005
500	0,005	0,267	0,492	0,604	0,0005
510	0,005	0,260	0,488	0,598	0,0005
520	0,005	0,254	0,482	0,593	0,0005
530	0,005	0,247	0,476	0,588	0,0005
540	0,005	0,240	0,471	0,583	0,0005
550	0,005	0,234	0,466	0,578	0,0005
560	0,005	0,227	0,461	0,573	0,0005
570	0,005	0,221	0,456	0,568	0,0005
580	0,005	0,215	0,451	0,563	0,0005
590	0,005	0,209	0,445	0,558	0,0005
600	0,005	0,203	0,440	0,553	0,0005

Fuente: elaboración propia.

Apéndice X. Concentraciones del Método Diferencial a 23 °C

T=296,15 K		Concentración [M]					
Tiempo (s)	dt [s]	Reacción; corrida 1	δC_1	Reacción; corrida 2	δC_2	Reacción; corrida 3	δC_3
10	0,005	1,453E-05	1,98E-08	1,479E-05	2,00E-08	1,623E-05	2,11E-08
20	0,005	1,440E-05	1,97E-08	1,459E-05	1,99E-08	1,612E-05	2,10E-08
30	0,005	1,416E-05	1,95E-08	1,448E-05	1,98E-08	1,601E-05	2,09E-08
40	0,005	1,392E-05	1,94E-08	1,431E-05	1,97E-08	1,590E-05	2,08E-08
50	0,005	1,367E-05	1,92E-08	1,422E-05	1,96E-08	1,579E-05	2,07E-08
60	0,005	1,343E-05	1,90E-08	1,409E-05	1,95E-08	1,568E-05	2,06E-08
70	0,005	1,319E-05	1,88E-08	1,396E-05	1,94E-08	1,556E-05	2,06E-08
80	0,005	1,296E-05	1,87E-08	1,383E-05	1,93E-08	1,545E-05	2,05E-08
90	0,005	1,272E-05	1,85E-08	1,370E-05	1,92E-08	1,534E-05	2,04E-08
100	0,005	1,249E-05	1,83E-08	1,357E-05	1,91E-08	1,523E-05	2,03E-08
110	0,005	1,225E-05	1,81E-08	1,346E-05	1,90E-08	1,514E-05	2,03E-08
120	0,005	1,199E-05	1,80E-08	1,335E-05	1,90E-08	1,503E-05	2,02E-08
130	0,005	1,177E-05	1,78E-08	1,322E-05	1,89E-08	1,492E-05	2,01E-08
140	0,005	1,154E-05	1,76E-08	1,311E-05	1,88E-08	1,481E-05	2,00E-08
150	0,005	1,132E-05	1,75E-08	1,298E-05	1,87E-08	1,470E-05	1,99E-08
160	0,005	1,107E-05	1,73E-08	1,285E-05	1,86E-08	1,461E-05	1,99E-08
170	0,005	1,086E-05	1,71E-08	1,272E-05	1,85E-08	1,450E-05	1,98E-08
180	0,005	1,064E-05	1,70E-08	1,261E-05	1,84E-08	1,440E-05	1,97E-08
190	0,005	1,044E-05	1,68E-08	1,249E-05	1,83E-08	1,429E-05	1,96E-08
200	0,005	1,022E-05	1,67E-08	1,237E-05	1,82E-08	1,418E-05	1,96E-08
210	0,005	9,995E-06	1,65E-08	1,226E-05	1,82E-08	1,407E-05	1,95E-08
220	0,005	9,793E-06	1,64E-08	1,213E-05	1,81E-08	1,396E-05	1,94E-08
230	0,005	9,571E-06	1,62E-08	1,202E-05	1,80E-08	1,385E-05	1,93E-08
240	0,005	9,368E-06	1,61E-08	1,191E-05	1,79E-08	1,376E-05	1,92E-08
250	0,005	9,166E-06	1,59E-08	1,178E-05	1,78E-08	1,365E-05	1,92E-08
260	0,005	8,963E-06	1,58E-08	1,167E-05	1,77E-08	1,355E-05	1,91E-08
270	0,005	8,760E-06	1,56E-08	1,154E-05	1,76E-08	1,344E-05	1,90E-08
280	0,005	8,557E-06	1,55E-08	1,143E-05	1,76E-08	1,335E-05	1,90E-08
290	0,005	8,354E-06	1,53E-08	1,132E-05	1,75E-08	1,322E-05	1,89E-08
300	0,005	8,170E-06	1,52E-08	1,121E-05	1,74E-08	1,313E-05	1,88E-08
310	0,005	7,985E-06	1,50E-08	1,110E-05	1,73E-08	1,304E-05	1,87E-08
320	0,005	7,801E-06	1,49E-08	1,099E-05	1,72E-08	1,293E-05	1,86E-08
330	0,005	7,598E-06	1,48E-08	1,086E-05	1,71E-08	1,284E-05	1,86E-08
340	0,005	7,432E-06	1,46E-08	1,077E-05	1,71E-08	1,271E-05	1,85E-08
350	0,005	7,248E-06	1,45E-08	1,066E-05	1,70E-08	1,261E-05	1,84E-08
360	0,005	7,082E-06	1,44E-08	1,055E-05	1,69E-08	1,252E-05	1,83E-08
370	0,005	6,897E-06	1,42E-08	1,044E-05	1,68E-08	1,241E-05	1,83E-08
380	0,005	6,731E-06	1,41E-08	1,033E-05	1,67E-08	1,232E-05	1,82E-08
390	0,005	6,565E-06	1,40E-08	1,022E-05	1,67E-08	1,221E-05	1,81E-08
400	0,005	6,399E-06	1,39E-08	1,011E-05	1,66E-08	1,212E-05	1,81E-08
410	0,005	6,252E-06	1,38E-08	1,001E-05	1,65E-08	1,202E-05	1,80E-08
420	0,005	6,086E-06	1,37E-08	9,903E-06	1,64E-08	1,191E-05	1,79E-08
430	0,005	5,920E-06	1,35E-08	9,793E-06	1,64E-08	1,182E-05	1,78E-08
440	0,005	5,772E-06	1,34E-08	9,700E-06	1,63E-08	1,173E-05	1,78E-08
450	0,005	5,625E-06	1,33E-08	9,608E-06	1,62E-08	1,162E-05	1,77E-08
460	0,005	5,477E-06	1,32E-08	9,497E-06	1,61E-08	1,153E-05	1,76E-08
470	0,005	5,330E-06	1,31E-08	9,387E-06	1,61E-08	1,143E-05	1,76E-08
480	0,005	5,201E-06	1,30E-08	9,276E-06	1,60E-08	1,134E-05	1,75E-08
490	0,005	5,053E-06	1,29E-08	9,184E-06	1,59E-08	1,123E-05	1,74E-08
500	0,005	4,924E-06	1,28E-08	9,073E-06	1,58E-08	1,114E-05	1,73E-08
510	0,005	4,795E-06	1,27E-08	9,000E-06	1,58E-08	1,103E-05	1,73E-08
520	0,005	4,684E-06	1,26E-08	8,889E-06	1,57E-08	1,094E-05	1,72E-08
530	0,005	4,555E-06	1,25E-08	8,778E-06	1,56E-08	1,084E-05	1,71E-08
540	0,005	4,426E-06	1,24E-08	8,686E-06	1,56E-08	1,075E-05	1,71E-08
550	0,005	4,315E-06	1,24E-08	8,594E-06	1,55E-08	1,066E-05	1,70E-08
560	0,005	4,186E-06	1,23E-08	8,502E-06	1,54E-08	1,057E-05	1,69E-08
570	0,005	4,076E-06	1,22E-08	8,409E-06	1,54E-08	1,047E-05	1,69E-08
580	0,005	3,965E-06	1,21E-08	8,317E-06	1,53E-08	1,038E-05	1,68E-08
590	0,005	3,854E-06	1,20E-08	8,207E-06	1,52E-08	1,029E-05	1,67E-08
600	0,005	3,744E-06	1,19E-08	8,114E-06	1,51E-08	1,020E-05	1,67E-08

Fuente: elaboración propia.

Apéndice XI. **Modelo polinomial de cuarto grado para el Método Diferencial a 23 °C**

Modelo polinomial de grado 4						
	Corrida 1		Corrida 2		Corrida 3	
a0	1,49E-05	1,34E-08	1,49E-05	1,39E-08	1,63E-05	1,47E-08
a1	-2,39E-08	2,77E-10	-1,32E-08	2,97E-10	-1,12E-08	3,17E-10
a2	-1,19E-12	1,73E-12	3,85E-12	1,90E-12	2,01E-12	2,04E-12
a3	2,66E-14	4,06E-15	-1,94E-15	4,56E-15	-2,31E-15	4,91E-15
a4	-1,62E-17	3,20E-18	1,68E-18	3,65E-18	2,49E-18	3,94E-18

Fuente: elaboración propia.

Apéndice XII. **Derivada del modelo polinomial de cuarto grado para el Método Diferencial a 23 °C**

Derivada del modelo polinomial de grado 4						
	Corrida 1		Corrida 2		Corrida 3	
b0	-2,388E-08	2,77E-10	-1,32236E-08	2,97E-10	-1,11517E-08	3,17E-10
b1	-2,380E-12	3,45E-12	7,69234E-12	3,8E-12	4,02873E-12	4,08E-12
b2	7,992E-14	1,22E-14	-5,81244E-15	1,37E-14	-6,92984E-15	1,47E-14
b3	-6,493E-17	1,28E-17	6,71232E-18	1,46E-17	9,97185E-18	1,58E-17

Fuente: elaboración propia.

Apéndice XIII. Velocidad de reacción del Método Diferencial a 23 °C

T=296,15 K		Velocidad de reacción instantánea (rA) [M/s]					
Tiempo (s)	dt [s]	Reacción; corrida 1	δ_{rA1}	Reacción; corrida 2	δ_{rA2}	Reacción; corrida 3	δ_{rA3}
10	0,005	-2,389E-08	3,12E-10	-1,315E-08	3,37E-10	-1,111E-08	3,60E-10
20	0,005	-2,389E-08	3,51E-10	-1,307E-08	3,79E-10	-1,107E-08	4,05E-10
30	0,005	-2,388E-08	3,92E-10	-1,300E-08	4,24E-10	-1,104E-08	4,53E-10
40	0,005	-2,385E-08	4,35E-10	-1,292E-08	4,72E-10	-1,100E-08	5,05E-10
50	0,005	-2,380E-08	4,81E-10	-1,285E-08	5,23E-10	-1,097E-08	5,60E-10
60	0,005	-2,375E-08	5,30E-10	-1,278E-08	5,78E-10	-1,093E-08	6,19E-10
70	0,005	-2,367E-08	5,82E-10	-1,271E-08	6,36E-10	-1,090E-08	6,80E-10
80	0,005	-2,359E-08	6,37E-10	-1,264E-08	6,97E-10	-1,087E-08	7,46E-10
90	0,005	-2,349E-08	6,95E-10	-1,257E-08	7,61E-10	-1,084E-08	8,15E-10
100	0,005	-2,338E-08	7,57E-10	-1,251E-08	8,29E-10	-1,081E-08	8,88E-10
110	0,005	-2,326E-08	8,21E-10	-1,244E-08	9,01E-10	-1,078E-08	9,65E-10
120	0,005	-2,312E-08	8,89E-10	-1,237E-08	9,76E-10	-1,075E-08	1,05E-09
130	0,005	-2,298E-08	9,60E-10	-1,231E-08	1,06E-09	-1,072E-08	1,13E-09
140	0,005	-2,282E-08	1,03E-09	-1,224E-08	1,14E-09	-1,070E-08	1,22E-09
150	0,005	-2,265E-08	1,11E-09	-1,218E-08	1,23E-09	-1,067E-08	1,31E-09
160	0,005	-2,248E-08	1,19E-09	-1,211E-08	1,32E-09	-1,064E-08	1,41E-09
170	0,005	-2,229E-08	1,28E-09	-1,205E-08	1,41E-09	-1,062E-08	1,51E-09
180	0,005	-2,209E-08	1,37E-09	-1,199E-08	1,51E-09	-1,059E-08	1,62E-09
190	0,005	-2,189E-08	1,46E-09	-1,193E-08	1,61E-09	-1,057E-08	1,73E-09
200	0,005	-2,167E-08	1,56E-09	-1,186E-08	1,72E-09	-1,054E-08	1,85E-09
210	0,005	-2,145E-08	1,66E-09	-1,180E-08	1,83E-09	-1,052E-08	1,97E-09
220	0,005	-2,122E-08	1,76E-09	-1,174E-08	1,95E-09	-1,049E-08	2,10E-09
230	0,005	-2,099E-08	1,87E-09	-1,168E-08	2,07E-09	-1,047E-08	2,23E-09
240	0,005	-2,074E-08	1,98E-09	-1,162E-08	2,20E-09	-1,045E-08	2,36E-09
250	0,005	-2,049E-08	2,10E-09	-1,156E-08	2,33E-09	-1,042E-08	2,50E-09
260	0,005	-2,023E-08	2,22E-09	-1,150E-08	2,47E-09	-1,040E-08	2,65E-09
270	0,005	-1,997E-08	2,35E-09	-1,144E-08	2,61E-09	-1,037E-08	2,80E-09
280	0,005	-1,970E-08	2,48E-09	-1,138E-08	2,76E-09	-1,035E-08	2,96E-09
290	0,005	-1,943E-08	2,62E-09	-1,132E-08	2,91E-09	-1,032E-08	3,12E-09
300	0,005	-1,915E-08	2,76E-09	-1,126E-08	3,06E-09	-1,030E-08	3,29E-09
310	0,005	-1,887E-08	2,90E-09	-1,120E-08	3,23E-09	-1,027E-08	3,47E-09
320	0,005	-1,858E-08	3,05E-09	-1,114E-08	3,39E-09	-1,025E-08	3,65E-09
330	0,005	-1,829E-08	3,20E-09	-1,108E-08	3,57E-09	-1,022E-08	3,83E-09
340	0,005	-1,800E-08	3,36E-09	-1,102E-08	3,75E-09	-1,019E-08	4,03E-09
350	0,005	-1,770E-08	3,53E-09	-1,096E-08	3,93E-09	-1,016E-08	4,23E-09
360	0,005	-1,740E-08	3,70E-09	-1,089E-08	4,12E-09	-1,013E-08	4,43E-09
370	0,005	-1,710E-08	3,87E-09	-1,083E-08	4,32E-09	-1,010E-08	4,64E-09
380	0,005	-1,680E-08	4,05E-09	-1,077E-08	4,52E-09	-1,007E-08	4,86E-09
390	0,005	-1,650E-08	4,24E-09	-1,071E-08	4,73E-09	-1,004E-08	5,08E-09
400	0,005	-1,620E-08	4,43E-09	-1,065E-08	4,94E-09	-1,001E-08	5,32E-09
410	0,005	-1,589E-08	4,62E-09	-1,058E-08	5,16E-09	-9,978E-09	5,55E-09
420	0,005	-1,559E-08	4,83E-09	-1,052E-08	5,39E-09	-9,943E-09	5,80E-09
430	0,005	-1,528E-08	5,03E-09	-1,046E-08	5,62E-09	-9,908E-09	6,05E-09
440	0,005	-1,498E-08	5,25E-09	-1,039E-08	5,86E-09	-9,871E-09	6,31E-09
450	0,005	-1,468E-08	5,47E-09	-1,033E-08	6,11E-09	-9,833E-09	6,57E-09
460	0,005	-1,438E-08	5,69E-09	-1,026E-08	6,36E-09	-9,794E-09	6,85E-09
470	0,005	-1,408E-08	5,92E-09	-1,020E-08	6,62E-09	-9,754E-09	7,13E-09
480	0,005	-1,379E-08	6,16E-09	-1,013E-08	6,89E-09	-9,712E-09	7,41E-09
490	0,005	-1,349E-08	6,40E-09	-1,006E-08	7,17E-09	-9,668E-09	7,71E-09
500	0,005	-1,320E-08	6,65E-09	-9,991E-09	7,45E-09	-9,623E-09	8,01E-09
510	0,005	-1,292E-08	6,91E-09	-9,922E-09	7,73E-09	-9,577E-09	8,32E-09
520	0,005	-1,263E-08	7,17E-09	-9,851E-09	8,03E-09	-9,529E-09	8,64E-09
530	0,005	-1,235E-08	7,44E-09	-9,780E-09	8,33E-09	-9,479E-09	8,97E-09
540	0,005	-1,208E-08	7,71E-09	-9,708E-09	8,64E-09	-9,427E-09	9,30E-09
550	0,005	-1,181E-08	8,00E-09	-9,634E-09	8,96E-09	-9,373E-09	9,64E-09
560	0,005	-1,155E-08	8,28E-09	-9,560E-09	9,28E-09	-9,318E-09	9,99E-09
570	0,005	-1,129E-08	8,58E-09	-9,484E-09	9,62E-09	-9,260E-09	1,03E-08
580	0,005	-1,104E-08	8,88E-09	-9,408E-09	9,96E-09	-9,201E-09	1,07E-08
590	0,005	-1,079E-08	9,19E-09	-9,330E-09	1,03E-08	-9,139E-09	1,11E-08
600	0,005	-1,056E-08	9,51E-09	-9,251E-09	1,07E-08	-9,075E-09	1,15E-08

Fuente: elaboración propia.

Apéndice XIV. Método Diferencial a 23 °C

Logaritmo de la concentración de azul de metileno (Log(C))						Logaritmo del recíproco de la velocidad de reacción instantánea (Log(-rA))					
Log(C ₁)	δLog(C ₁)	Log(C ₂)	δLog(C ₂)	Log(C ₃)	δLog(C ₃)	Log(-r _{A1})	δLog(-r _{A1})	Log(-r _{A2})	δLog(-r _{A2})	Log(-r _{A3})	δLog(-r _{A3})
-4.838E+00	1.363E-03	-4.830E+00	1.352E-03	-4.790E+00	1.297E-03	-7.622E+00	1.308E-02	-7.881E+00	2.561E-02	-7.954E+00	3.236E-02
-4.842E+00	1.369E-03	-4.836E+00	1.361E-03	-4.793E+00	1.301E-03	-7.622E+00	1.468E-02	-7.884E+00	2.899E-02	-7.956E+00	3.656E-02
-4.849E+00	1.380E-03	-4.839E+00	1.366E-03	-4.796E+00	1.305E-03	-7.622E+00	1.640E-02	-7.886E+00	3.262E-02	-7.957E+00	4.108E-02
-4.856E+00	1.391E-03	-4.844E+00	1.373E-03	-4.799E+00	1.309E-03	-7.623E+00	1.824E-02	-7.889E+00	3.653E-02	-7.959E+00	4.591E-02
-4.864E+00	1.404E-03	-4.847E+00	1.377E-03	-4.802E+00	1.313E-03	-7.623E+00	2.022E-02	-7.891E+00	4.073E-02	-7.960E+00	5.107E-02
-4.872E+00	1.416E-03	-4.851E+00	1.383E-03	-4.805E+00	1.317E-03	-7.624E+00	2.234E-02	-7.893E+00	4.521E-02	-7.961E+00	5.657E-02
-4.880E+00	1.428E-03	-4.855E+00	1.389E-03	-4.808E+00	1.321E-03	-7.626E+00	2.460E-02	-7.896E+00	5.000E-02	-7.963E+00	6.243E-02
-4.887E+00	1.440E-03	-4.859E+00	1.396E-03	-4.811E+00	1.326E-03	-7.627E+00	2.702E-02	-7.898E+00	5.510E-02	-7.964E+00	6.864E-02
-4.895E+00	1.454E-03	-4.863E+00	1.402E-03	-4.814E+00	1.330E-03	-7.629E+00	2.961E-02	-7.901E+00	6.053E-02	-7.965E+00	7.523E-02
-4.904E+00	1.468E-03	-4.867E+00	1.408E-03	-4.817E+00	1.334E-03	-7.631E+00	3.236E-02	-7.903E+00	6.629E-02	-7.966E+00	8.219E-02
-4.912E+00	1.482E-03	-4.871E+00	1.414E-03	-4.820E+00	1.338E-03	-7.633E+00	3.530E-02	-7.905E+00	7.241E-02	-7.967E+00	8.956E-02
-4.921E+00	1.498E-03	-4.874E+00	1.420E-03	-4.823E+00	1.342E-03	-7.636E+00	3.843E-02	-7.908E+00	7.888E-02	-7.969E+00	9.732E-02
-4.929E+00	1.513E-03	-4.879E+00	1.426E-03	-4.826E+00	1.347E-03	-7.639E+00	4.177E-02	-7.910E+00	8.573E-02	-7.970E+00	1.055E-01
-4.938E+00	1.528E-03	-4.882E+00	1.432E-03	-4.829E+00	1.352E-03	-7.642E+00	4.531E-02	-7.912E+00	9.296E-02	-7.971E+00	1.141E-01
-4.946E+00	1.543E-03	-4.887E+00	1.439E-03	-4.833E+00	1.356E-03	-7.645E+00	4.909E-02	-7.914E+00	1.006E-01	-7.972E+00	1.232E-01
-4.956E+00	1.562E-03	-4.891E+00	1.446E-03	-4.835E+00	1.360E-03	-7.648E+00	5.311E-02	-7.917E+00	1.086E-01	-7.973E+00	1.326E-01
-4.964E+00	1.578E-03	-4.895E+00	1.454E-03	-4.839E+00	1.365E-03	-7.652E+00	5.737E-02	-7.919E+00	1.171E-01	-7.974E+00	1.426E-01
-4.973E+00	1.596E-03	-4.899E+00	1.460E-03	-4.842E+00	1.369E-03	-7.656E+00	6.191E-02	-7.921E+00	1.260E-01	-7.975E+00	1.530E-01
-4.981E+00	1.612E-03	-4.904E+00	1.468E-03	-4.845E+00	1.374E-03	-7.660E+00	6.673E-02	-7.924E+00	1.354E-01	-7.976E+00	1.639E-01
-4.991E+00	1.631E-03	-4.907E+00	1.474E-03	-4.848E+00	1.379E-03	-7.664E+00	7.185E-02	-7.926E+00	1.452E-01	-7.977E+00	1.753E-01
-5.000E+00	1.651E-03	-4.911E+00	1.481E-03	-4.852E+00	1.384E-03	-7.669E+00	7.729E-02	-7.928E+00	1.555E-01	-7.978E+00	1.873E-01
-5.009E+00	1.671E-03	-4.916E+00	1.489E-03	-4.855E+00	1.389E-03	-7.673E+00	8.306E-02	-7.930E+00	1.663E-01	-7.979E+00	1.997E-01
-5.019E+00	1.692E-03	-4.920E+00	1.496E-03	-4.859E+00	1.395E-03	-7.678E+00	8.918E-02	-7.933E+00	1.775E-01	-7.980E+00	2.127E-01
-5.028E+00	1.713E-03	-4.924E+00	1.503E-03	-4.861E+00	1.399E-03	-7.683E+00	9.569E-02	-7.935E+00	1.894E-01	-7.981E+00	2.262E-01
-5.038E+00	1.735E-03	-4.929E+00	1.511E-03	-4.865E+00	1.405E-03	-7.688E+00	1.026E-01	-7.937E+00	2.017E-01	-7.982E+00	2.403E-01
-5.048E+00	1.758E-03	-4.933E+00	1.519E-03	-4.868E+00	1.409E-03	-7.694E+00	1.099E-01	-7.939E+00	2.146E-01	-7.983E+00	2.550E-01
-5.058E+00	1.782E-03	-4.938E+00	1.528E-03	-4.871E+00	1.415E-03	-7.700E+00	1.177E-01	-7.942E+00	2.281E-01	-7.984E+00	2.703E-01
-5.068E+00	1.807E-03	-4.942E+00	1.535E-03	-4.874E+00	1.420E-03	-7.705E+00	1.259E-01	-7.944E+00	2.422E-01	-7.985E+00	2.861E-01
-5.078E+00	1.833E-03	-4.946E+00	1.543E-03	-4.879E+00	1.426E-03	-7.712E+00	1.346E-01	-7.946E+00	2.569E-01	-7.986E+00	3.026E-01
-5.088E+00	1.858E-03	-4.950E+00	1.551E-03	-4.882E+00	1.431E-03	-7.718E+00	1.439E-01	-7.949E+00	2.722E-01	-7.987E+00	3.198E-01
-5.098E+00	1.884E-03	-4.955E+00	1.560E-03	-4.885E+00	1.436E-03	-7.724E+00	1.537E-01	-7.951E+00	2.882E-01	-7.988E+00	3.376E-01
-5.108E+00	1.911E-03	-4.959E+00	1.568E-03	-4.888E+00	1.442E-03	-7.731E+00	1.641E-01	-7.953E+00	3.048E-01	-7.989E+00	3.561E-01
-5.119E+00	1.943E-03	-4.964E+00	1.578E-03	-4.892E+00	1.447E-03	-7.738E+00	1.752E-01	-7.956E+00	3.221E-01	-7.991E+00	3.753E-01
-5.129E+00	1.970E-03	-4.968E+00	1.585E-03	-4.896E+00	1.455E-03	-7.745E+00	1.869E-01	-7.958E+00	3.401E-01	-7.992E+00	3.952E-01
-5.140E+00	2.001E-03	-4.972E+00	1.594E-03	-4.899E+00	1.460E-03	-7.752E+00	1.993E-01	-7.960E+00	3.588E-01	-7.993E+00	4.158E-01
-5.150E+00	2.031E-03	-4.977E+00	1.603E-03	-4.902E+00	1.465E-03	-7.759E+00	2.124E-01	-7.963E+00	3.783E-01	-7.994E+00	4.372E-01
-5.161E+00	2.066E-03	-4.981E+00	1.612E-03	-4.906E+00	1.472E-03	-7.767E+00	2.264E-01	-7.965E+00	3.986E-01	-7.995E+00	4.594E-01
-5.172E+00	2.099E-03	-4.986E+00	1.622E-03	-4.909E+00	1.477E-03	-7.775E+00	2.412E-01	-7.968E+00	4.197E-01	-7.997E+00	4.824E-01
-5.183E+00	2.133E-03	-4.991E+00	1.631E-03	-4.913E+00	1.484E-03	-7.783E+00	2.568E-01	-7.970E+00	4.415E-01	-7.998E+00	5.063E-01
-5.194E+00	2.170E-03	-4.995E+00	1.641E-03	-4.917E+00	1.490E-03	-7.791E+00	2.734E-01	-7.973E+00	4.643E-01	-8.000E+00	5.310E-01
-5.204E+00	2.204E-03	-4.999E+00	1.650E-03	-4.920E+00	1.496E-03	-7.799E+00	2.910E-01	-7.975E+00	4.879E-01	-8.001E+00	5.566E-01
-5.216E+00	2.244E-03	-5.004E+00	1.660E-03	-4.924E+00	1.503E-03	-7.807E+00	3.096E-01	-7.978E+00	5.124E-01	-8.002E+00	5.831E-01
-5.228E+00	2.287E-03	-5.009E+00	1.671E-03	-4.927E+00	1.509E-03	-7.816E+00	3.294E-01	-7.981E+00	5.379E-01	-8.004E+00	6.106E-01
-5.239E+00	2.326E-03	-5.013E+00	1.680E-03	-4.931E+00	1.515E-03	-7.824E+00	3.503E-01	-7.983E+00	5.643E-01	-8.006E+00	6.390E-01
-5.250E+00	2.368E-03	-5.017E+00	1.689E-03	-4.935E+00	1.523E-03	-7.833E+00	3.724E-01	-7.986E+00	5.917E-01	-8.007E+00	6.685E-01
-5.261E+00	2.412E-03	-5.022E+00	1.700E-03	-4.938E+00	1.529E-03	-7.842E+00	3.958E-01	-7.989E+00	6.202E-01	-8.009E+00	6.990E-01
-5.273E+00	2.459E-03	-5.027E+00	1.711E-03	-4.942E+00	1.535E-03	-7.851E+00	4.206E-01	-7.992E+00	6.498E-01	-8.011E+00	7.306E-01
-5.284E+00	2.502E-03	-5.033E+00	1.723E-03	-4.945E+00	1.542E-03	-7.861E+00	4.469E-01	-7.994E+00	6.804E-01	-8.013E+00	7.634E-01
-5.296E+00	2.554E-03	-5.037E+00	1.733E-03	-4.950E+00	1.550E-03	-7.870E+00	4.746E-01	-7.997E+00	7.122E-01	-8.015E+00	7.973E-01
-5.308E+00	2.602E-03	-5.042E+00	1.745E-03	-4.953E+00	1.557E-03	-7.879E+00	5.039E-01	-8.000E+00	7.452E-01	-8.017E+00	8.325E-01
-5.319E+00	2.652E-03	-5.046E+00	1.754E-03	-4.957E+00	1.565E-03	-7.889E+00	5.349E-01	-8.003E+00	7.795E-01	-8.019E+00	8.689E-01
-5.329E+00	2.697E-03	-5.051E+00	1.766E-03	-4.961E+00	1.572E-03	-7.899E+00	5.676E-01	-8.007E+00	8.150E-01	-8.021E+00	9.067E-01
-5.342E+00	2.753E-03	-5.057E+00	1.779E-03	-4.965E+00	1.579E-03	-7.908E+00	6.021E-01	-8.010E+00	8.519E-01	-8.023E+00	9.458E-01
-5.354E+00	2.812E-03	-5.061E+00	1.791E-03	-4.969E+00	1.587E-03	-7.918E+00	6.386E-01	-8.013E+00	8.902E-01	-8.026E+00	9.864E-01
-5.365E+00	2.866E-03	-5.066E+00	1.802E-03	-4.972E+00	1.594E-03	-7.928E+00	6.769E-01	-8.016E+00	9.299E-01	-8.028E+00	1.029E+00
-5.378E+00	2.932E-03	-5.070E+00	1.814E-03	-4.976E+00	1.602E-03	-7.937E+00	7.173E-01	-8.020E+00	9.711E-01	-8.031E+00	1.072E+00
-5.390E+00	2.991E-03	-5.075E+00	1.825E-03	-4.980E+00	1.609E-03	-7.947E+00	7.598E-01	-8.023E+00	1.014E+00	-8.033E+00	1.118E+00
-5.402E+00	3.055E-03	-5.080E+00	1.838E-03	-4.984E+00	1.617E-03	-7.957E+00	8.045E-01	-8.027E+00	1.058E+00	-8.036E+00	1.165E+00
-5.414E+00	3.121E-03	-5.086E+00	1.853E-03	-4.988E+00	1.625E-03	-7.967E+00	8.513E-01	-8.030E+00	1.104E+00	-8.039E+00	1.214E+00
-5.427E+00	3.192E-03	-5.091E+00	1.865E-03	-4.991E+00	1.633E-03	-7.976E+00	9.003E-01	-8.034E+00	1.152E+00	-8.042E+00	1.264E+00

Fuente: elaboración propia.

Apéndice XV. **Modelo linealizado del Método Diferencial a 23 °C**

Modelo lineal ($y=B+Ax$)						
B	-5,888	0,498	-5,109	1,925	-6,137	2,955
A	0,357	0,102	0,574	0,397	0,380	0,615
r ²	0,996027088		0,999909995		0,999173642	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice XVI. **Magnitudes promedio del modelo linealizado del Método Diferencial a 23 °C**

	Media	Error medio	Desviación
B	-5,711	1,793	0,537
A	0,437	0,371	0,119

Fuente: elaboración propia.

Apéndice XVII. Absorbancias del Método Diferencial a 35 °C

T=296,15 K		Absorbancia			
Tiempo (s)	dt [s]	Reacción; corrida 1	Reacción; corrida 2	Reacción; corrida 3	Incerteza
10	0,005	0,834	0,829	0,832	0,0005
20	0,005	0,825	0,821	0,824	0,0005
30	0,005	0,818	0,812	0,815	0,0005
40	0,005	0,808	0,804	0,807	0,0005
50	0,005	0,799	0,796	0,799	0,0005
60	0,005	0,791	0,788	0,791	0,0005
70	0,005	0,783	0,781	0,783	0,0005
80	0,005	0,775	0,773	0,775	0,0005
90	0,005	0,767	0,766	0,768	0,0005
100	0,005	0,759	0,759	0,761	0,0005
110	0,005	0,751	0,752	0,753	0,0005
120	0,005	0,743	0,744	0,745	0,0005
130	0,005	0,735	0,737	0,737	0,0005
140	0,005	0,728	0,730	0,731	0,0005
150	0,005	0,721	0,723	0,724	0,0005
160	0,005	0,714	0,716	0,717	0,0005
170	0,005	0,706	0,709	0,710	0,0005
180	0,005	0,699	0,702	0,704	0,0005
190	0,005	0,692	0,696	0,696	0,0005
200	0,005	0,685	0,689	0,689	0,0005
210	0,005	0,677	0,683	0,682	0,0005
220	0,005	0,670	0,675	0,676	0,0005
230	0,005	0,663	0,670	0,669	0,0005
240	0,005	0,657	0,663	0,662	0,0005
250	0,005	0,650	0,656	0,656	0,0005
260	0,005	0,643	0,650	0,649	0,0005
270	0,005	0,636	0,644	0,643	0,0005
280	0,005	0,629	0,638	0,637	0,0005
290	0,005	0,623	0,632	0,630	0,0005
300	0,005	0,616	0,625	0,624	0,0005
310	0,005	0,610	0,619	0,618	0,0005
320	0,005	0,604	0,613	0,612	0,0005
330	0,005	0,597	0,607	0,606	0,0005
340	0,005	0,591	0,601	0,600	0,0005
350	0,005	0,585	0,595	0,594	0,0005
360	0,005	0,578	0,589	0,588	0,0005
370	0,005	0,573	0,584	0,582	0,0005
380	0,005	0,567	0,578	0,576	0,0005
390	0,005	0,560	0,572	0,571	0,0005
400	0,005	0,555	0,566	0,565	0,0005
410	0,005	0,549	0,561	0,559	0,0005
420	0,005	0,543	0,555	0,553	0,0005
430	0,005	0,537	0,549	0,547	0,0005
440	0,005	0,531	0,544	0,542	0,0005
450	0,005	0,525	0,538	0,537	0,0005
460	0,005	0,520	0,533	0,531	0,0005
470	0,005	0,514	0,527	0,525	0,0005
480	0,005	0,509	0,522	0,520	0,0005
490	0,005	0,503	0,516	0,515	0,0005
500	0,005	0,498	0,511	0,510	0,0005
510	0,005	0,492	0,506	0,504	0,0005
520	0,005	0,486	0,501	0,499	0,0005
530	0,005	0,481	0,496	0,494	0,0005
540	0,005	0,476	0,491	0,489	0,0005
550	0,005	0,470	0,485	0,484	0,0005
560	0,005	0,465	0,480	0,479	0,0005
570	0,005	0,460	0,475	0,474	0,0005
580	0,005	0,454	0,470	0,469	0,0005
590	0,005	0,449	0,465	0,464	0,0005
600	0,005	0,445	0,460	0,459	0,0005

Fuente: elaboración propia.

Apéndice XVIII. Concentraciones del Método Diferencial a 35 °C

T=296,15 K		Concentración [M]					
Tiempo (s)	dt [s]	Reacción; corrida 1	δC_1	Reacción; corrida 2	δC_2	Reacción; corrida 3	δC_3
10	0,005	1,561E-05	2,09E-08	1,552E-05	2,08E-08	1,557E-05	2,09E-08
20	0,005	1,544E-05	2,08E-08	1,537E-05	2,07E-08	1,542E-05	2,08E-08
30	0,005	1,531E-05	2,07E-08	1,520E-05	2,06E-08	1,526E-05	2,06E-08
40	0,005	1,512E-05	2,05E-08	1,505E-05	2,05E-08	1,511E-05	2,05E-08
50	0,005	1,496E-05	2,04E-08	1,490E-05	2,04E-08	1,496E-05	2,04E-08
60	0,005	1,481E-05	2,03E-08	1,475E-05	2,03E-08	1,481E-05	2,03E-08
70	0,005	1,466E-05	2,02E-08	1,462E-05	2,02E-08	1,466E-05	2,02E-08
80	0,005	1,451E-05	2,01E-08	1,447E-05	2,01E-08	1,451E-05	2,01E-08
90	0,005	1,436E-05	2,00E-08	1,434E-05	2,00E-08	1,438E-05	2,00E-08
100	0,005	1,421E-05	1,99E-08	1,421E-05	1,99E-08	1,424E-05	1,99E-08
110	0,005	1,406E-05	1,98E-08	1,408E-05	1,98E-08	1,409E-05	1,98E-08
120	0,005	1,391E-05	1,96E-08	1,393E-05	1,97E-08	1,394E-05	1,97E-08
130	0,005	1,376E-05	1,95E-08	1,380E-05	1,96E-08	1,380E-05	1,96E-08
140	0,005	1,363E-05	1,94E-08	1,366E-05	1,95E-08	1,368E-05	1,95E-08
150	0,005	1,350E-05	1,93E-08	1,353E-05	1,94E-08	1,355E-05	1,94E-08
160	0,005	1,336E-05	1,92E-08	1,340E-05	1,93E-08	1,342E-05	1,93E-08
170	0,005	1,321E-05	1,91E-08	1,327E-05	1,92E-08	1,329E-05	1,92E-08
180	0,005	1,308E-05	1,90E-08	1,314E-05	1,91E-08	1,318E-05	1,91E-08
190	0,005	1,295E-05	1,89E-08	1,303E-05	1,90E-08	1,303E-05	1,90E-08
200	0,005	1,282E-05	1,88E-08	1,290E-05	1,89E-08	1,290E-05	1,89E-08
210	0,005	1,267E-05	1,87E-08	1,278E-05	1,88E-08	1,277E-05	1,88E-08
220	0,005	1,254E-05	1,86E-08	1,263E-05	1,87E-08	1,265E-05	1,87E-08
230	0,005	1,241E-05	1,85E-08	1,254E-05	1,86E-08	1,252E-05	1,86E-08
240	0,005	1,230E-05	1,85E-08	1,241E-05	1,85E-08	1,239E-05	1,85E-08
250	0,005	1,217E-05	1,84E-08	1,228E-05	1,84E-08	1,228E-05	1,84E-08
260	0,005	1,204E-05	1,83E-08	1,217E-05	1,84E-08	1,215E-05	1,83E-08
270	0,005	1,190E-05	1,82E-08	1,205E-05	1,83E-08	1,204E-05	1,83E-08
280	0,005	1,177E-05	1,81E-08	1,194E-05	1,82E-08	1,192E-05	1,82E-08
290	0,005	1,166E-05	1,80E-08	1,183E-05	1,81E-08	1,179E-05	1,81E-08
300	0,005	1,153E-05	1,79E-08	1,170E-05	1,80E-08	1,168E-05	1,80E-08
310	0,005	1,142E-05	1,78E-08	1,159E-05	1,79E-08	1,157E-05	1,79E-08
320	0,005	1,131E-05	1,77E-08	1,147E-05	1,78E-08	1,146E-05	1,78E-08
330	0,005	1,117E-05	1,76E-08	1,136E-05	1,78E-08	1,134E-05	1,78E-08
340	0,005	1,106E-05	1,75E-08	1,125E-05	1,77E-08	1,123E-05	1,77E-08
350	0,005	1,095E-05	1,75E-08	1,114E-05	1,76E-08	1,112E-05	1,76E-08
360	0,005	1,082E-05	1,74E-08	1,102E-05	1,75E-08	1,101E-05	1,75E-08
370	0,005	1,073E-05	1,73E-08	1,093E-05	1,74E-08	1,089E-05	1,74E-08
380	0,005	1,061E-05	1,72E-08	1,082E-05	1,74E-08	1,078E-05	1,73E-08
390	0,005	1,048E-05	1,71E-08	1,071E-05	1,73E-08	1,069E-05	1,73E-08
400	0,005	1,039E-05	1,70E-08	1,059E-05	1,72E-08	1,058E-05	1,72E-08
410	0,005	1,028E-05	1,70E-08	1,050E-05	1,71E-08	1,046E-05	1,71E-08
420	0,005	1,016E-05	1,69E-08	1,039E-05	1,70E-08	1,035E-05	1,70E-08
430	0,005	1,005E-05	1,68E-08	1,028E-05	1,70E-08	1,024E-05	1,69E-08
440	0,005	9,939E-06	1,67E-08	1,018E-05	1,69E-08	1,015E-05	1,69E-08
450	0,005	9,827E-06	1,66E-08	1,007E-05	1,68E-08	1,005E-05	1,68E-08
460	0,005	9,733E-06	1,66E-08	9,977E-06	1,67E-08	9,939E-06	1,67E-08
470	0,005	9,621E-06	1,65E-08	9,864E-06	1,67E-08	9,827E-06	1,66E-08
480	0,005	9,527E-06	1,64E-08	9,771E-06	1,66E-08	9,733E-06	1,66E-08
490	0,005	9,415E-06	1,63E-08	9,658E-06	1,65E-08	9,640E-06	1,65E-08
500	0,005	9,321E-06	1,63E-08	9,565E-06	1,64E-08	9,546E-06	1,64E-08
510	0,005	9,209E-06	1,62E-08	9,471E-06	1,64E-08	9,434E-06	1,63E-08
520	0,005	9,097E-06	1,61E-08	9,378E-06	1,63E-08	9,340E-06	1,63E-08
530	0,005	9,003E-06	1,60E-08	9,284E-06	1,62E-08	9,247E-06	1,62E-08
540	0,005	8,910E-06	1,60E-08	9,190E-06	1,62E-08	9,153E-06	1,61E-08
550	0,005	8,797E-06	1,59E-08	9,078E-06	1,61E-08	9,059E-06	1,61E-08
560	0,005	8,704E-06	1,58E-08	8,985E-06	1,60E-08	8,966E-06	1,60E-08
570	0,005	8,610E-06	1,57E-08	8,891E-06	1,59E-08	8,872E-06	1,59E-08
580	0,005	8,498E-06	1,56E-08	8,797E-06	1,59E-08	8,779E-06	1,59E-08
590	0,005	8,404E-06	1,56E-08	8,704E-06	1,58E-08	8,685E-06	1,58E-08
600	0,005	8,329E-06	1,55E-08	8,610E-06	1,57E-08	8,591E-06	1,57E-08

Fuente: elaboración propia.

Apéndice XIX. **Modelo polinomial de cuarto grado para el Método Diferencial a 35 °C**

Modelo polinomial de grado 4						
	Corrida 1		Corrida 2		Corrida 3	
a0	1,58E-05	1,45E-08	1,57E-05	1,44E-08	1,57E-05	1,45E-08
a1	-1,66E-08	3,08E-10	-1,56E-08	3,09E-10	-1,59E-08	3,09E-10
a2	9,88E-12	1,97E-12	1,05E-11	1,98E-12	1,07E-11	1,98E-12
a3	-6,26E-15	4,72E-15	-1,04E-14	4,74E-15	-1,02E-14	4,74E-15
a4	2,16E-18	3,77E-18	5,82E-18	3,79E-18	5,97E-18	3,79E-18

Fuente: elaboración propia.

Apéndice XX. **Derivada del modelo polinomial de cuarto grado para el Método Diferencial a 35 °C**

Derivada del modelo polinomial de grado 4						
	Corrida 1		Corrida 2		Corrida 3	
b0	-1,657E-08	3,08E-10	-1,55756E-08	3,09E-10	-1,59479E-08	3,09E-10
b1	1,977E-11	3,94E-12	2,10114E-11	3,95E-12	2,14941E-11	3,95E-12
b2	-1,879E-14	1,41E-14	-3,11244E-14	1,42E-14	-3,06579E-14	1,42E-14
b3	8,637E-18	1,51E-17	2,32665E-17	1,52E-17	2,38854E-17	1,52E-17

Fuente: elaboración propia.

Apéndice XXI. Velocidad de reacción del Método Diferencial a 35 °C

T=296,15 K		Velocidad de reacción instantánea (rA) [M/s]					
Tiempo (s)	dt [s]	Reacción; corrida 1	δr_{A1}	Reacción; corrida 2	δr_{A2}	Reacción; corrida 3	δr_{A3}
10	0,005	-1,638E-08	3,49E-10	-1,537E-08	3,50E-10	-1,574E-08	3,50E-10
20	0,005	-1,619E-08	3,93E-10	-1,517E-08	3,94E-10	-1,553E-08	3,94E-10
30	0,005	-1,600E-08	4,40E-10	-1,497E-08	4,41E-10	-1,533E-08	4,41E-10
40	0,005	-1,581E-08	4,89E-10	-1,478E-08	4,91E-10	-1,514E-08	4,91E-10
50	0,005	-1,563E-08	5,42E-10	-1,460E-08	5,44E-10	-1,495E-08	5,45E-10
60	0,005	-1,545E-08	5,99E-10	-1,442E-08	6,00E-10	-1,476E-08	6,01E-10
70	0,005	-1,528E-08	6,58E-10	-1,425E-08	6,60E-10	-1,459E-08	6,61E-10
80	0,005	-1,511E-08	7,22E-10	-1,408E-08	7,24E-10	-1,441E-08	7,24E-10
90	0,005	-1,494E-08	7,88E-10	-1,392E-08	7,91E-10	-1,424E-08	7,91E-10
100	0,005	-1,478E-08	8,59E-10	-1,376E-08	8,61E-10	-1,408E-08	8,62E-10
110	0,005	-1,461E-08	9,33E-10	-1,361E-08	9,36E-10	-1,392E-08	9,37E-10
120	0,005	-1,446E-08	1,01E-09	-1,346E-08	1,01E-09	-1,377E-08	1,01E-09
130	0,005	-1,430E-08	1,09E-09	-1,332E-08	1,10E-09	-1,362E-08	1,10E-09
140	0,005	-1,415E-08	1,18E-09	-1,318E-08	1,18E-09	-1,347E-08	1,18E-09
150	0,005	-1,400E-08	1,27E-09	-1,305E-08	1,27E-09	-1,333E-08	1,27E-09
160	0,005	-1,386E-08	1,36E-09	-1,292E-08	1,37E-09	-1,320E-08	1,37E-09
170	0,005	-1,371E-08	1,46E-09	-1,279E-08	1,47E-09	-1,306E-08	1,47E-09
180	0,005	-1,357E-08	1,56E-09	-1,267E-08	1,57E-09	-1,293E-08	1,57E-09
190	0,005	-1,344E-08	1,67E-09	-1,255E-08	1,68E-09	-1,281E-08	1,68E-09
200	0,005	-1,330E-08	1,78E-09	-1,243E-08	1,79E-09	-1,268E-08	1,79E-09
210	0,005	-1,317E-08	1,90E-09	-1,232E-08	1,91E-09	-1,256E-08	1,91E-09
220	0,005	-1,304E-08	2,02E-09	-1,221E-08	2,03E-09	-1,245E-08	2,03E-09
230	0,005	-1,292E-08	2,15E-09	-1,211E-08	2,15E-09	-1,234E-08	2,16E-09
240	0,005	-1,279E-08	2,28E-09	-1,200E-08	2,29E-09	-1,222E-08	2,29E-09
250	0,005	-1,267E-08	2,41E-09	-1,190E-08	2,42E-09	-1,212E-08	2,42E-09
260	0,005	-1,255E-08	2,55E-09	-1,181E-08	2,56E-09	-1,201E-08	2,57E-09
270	0,005	-1,244E-08	2,70E-09	-1,171E-08	2,71E-09	-1,191E-08	2,71E-09
280	0,005	-1,232E-08	2,85E-09	-1,162E-08	2,86E-09	-1,181E-08	2,86E-09
290	0,005	-1,221E-08	3,01E-09	-1,153E-08	3,02E-09	-1,171E-08	3,02E-09
300	0,005	-1,210E-08	3,17E-09	-1,145E-08	3,18E-09	-1,161E-08	3,19E-09
310	0,005	-1,199E-08	3,34E-09	-1,136E-08	3,35E-09	-1,152E-08	3,35E-09
320	0,005	-1,189E-08	3,51E-09	-1,128E-08	3,53E-09	-1,143E-08	3,53E-09
330	0,005	-1,179E-08	3,69E-09	-1,120E-08	3,71E-09	-1,134E-08	3,71E-09
340	0,005	-1,169E-08	3,87E-09	-1,112E-08	3,89E-09	-1,125E-08	3,89E-09
350	0,005	-1,159E-08	4,07E-09	-1,104E-08	4,08E-09	-1,116E-08	4,09E-09
360	0,005	-1,149E-08	4,26E-09	-1,096E-08	4,28E-09	-1,107E-08	4,28E-09
370	0,005	-1,139E-08	4,47E-09	-1,088E-08	4,48E-09	-1,098E-08	4,49E-09
380	0,005	-1,130E-08	4,67E-09	-1,081E-08	4,69E-09	-1,090E-08	4,70E-09
390	0,005	-1,121E-08	4,89E-09	-1,074E-08	4,91E-09	-1,081E-08	4,91E-09
400	0,005	-1,112E-08	5,11E-09	-1,066E-08	5,13E-09	-1,073E-08	5,14E-09
410	0,005	-1,103E-08	5,34E-09	-1,059E-08	5,36E-09	-1,064E-08	5,37E-09
420	0,005	-1,095E-08	5,57E-09	-1,052E-08	5,60E-09	-1,056E-08	5,60E-09
430	0,005	-1,086E-08	5,82E-09	-1,045E-08	5,84E-09	-1,047E-08	5,85E-09
440	0,005	-1,078E-08	6,06E-09	-1,037E-08	6,09E-09	-1,039E-08	6,09E-09
450	0,005	-1,070E-08	6,32E-09	-1,030E-08	6,35E-09	-1,031E-08	6,35E-09
460	0,005	-1,062E-08	6,58E-09	-1,023E-08	6,61E-09	-1,022E-08	6,61E-09
470	0,005	-1,054E-08	6,85E-09	-1,016E-08	6,88E-09	-1,014E-08	6,88E-09
480	0,005	-1,046E-08	7,12E-09	-1,009E-08	7,16E-09	-1,005E-08	7,16E-09
490	0,005	-1,038E-08	7,41E-09	-1,002E-08	7,44E-09	-9,967E-09	7,45E-09
500	0,005	-1,031E-08	7,70E-09	-9,943E-09	7,73E-09	-9,880E-09	7,74E-09
510	0,005	-1,023E-08	7,99E-09	-9,869E-09	8,03E-09	-9,792E-09	8,04E-09
520	0,005	-1,016E-08	8,30E-09	-9,794E-09	8,34E-09	-9,702E-09	8,34E-09
530	0,005	-1,009E-08	8,61E-09	-9,719E-09	8,65E-09	-9,612E-09	8,66E-09
540	0,005	-1,002E-08	8,93E-09	-9,642E-09	8,97E-09	-9,520E-09	8,98E-09
550	0,005	-9,948E-09	9,26E-09	-9,564E-09	9,30E-09	-9,426E-09	9,31E-09
560	0,005	-9,879E-09	9,60E-09	-9,484E-09	9,64E-09	-9,331E-09	9,65E-09
570	0,005	-9,811E-09	9,94E-09	-9,403E-09	9,99E-09	-9,234E-09	9,99E-09
580	0,005	-9,744E-09	1,03E-08	-9,320E-09	1,03E-08	-9,134E-09	1,03E-08
590	0,005	-9,677E-09	1,07E-08	-9,235E-09	1,07E-08	-9,033E-09	1,07E-08
600	0,005	-9,612E-09	1,10E-08	-9,148E-09	1,11E-08	-8,929E-09	1,11E-08

Fuente: elaboración propia.

Apéndice XXII. Método Diferencial a 35 °C

Logaritmo de la concentración de azul de metileno (Log(C))						Logaritmo del recíproco de la velocidad de reacción instantánea (Log(-rA))					
Log(C ₁)	ΔLog(C ₁)	Log(C ₂)	ΔLog(C ₂)	Log(C ₃)	ΔLog(C ₃)	Log(-r _{A1})	ΔLog(-r _{A1})	Log(-r _{A2})	ΔLog(-r _{A2})	Log(-r _{A3})	ΔLog(-r _{A3})
-4.807E+00	1.339E-03	-4.809E+00	1.343E-03	-4.808E+00	1.341E-03	-7.786E+00	2.132E-02	-7.813E+00	2.276E-02	-7.803E+00	2.226E-02
-4.811E+00	1.346E-03	-4.813E+00	1.349E-03	-4.812E+00	1.347E-03	-7.791E+00	2.427E-02	-7.819E+00	2.596E-02	-7.809E+00	2.539E-02
-4.815E+00	1.351E-03	-4.818E+00	1.356E-03	-4.817E+00	1.353E-03	-7.796E+00	2.748E-02	-7.825E+00	2.943E-02	-7.814E+00	2.878E-02
-4.820E+00	1.359E-03	-4.822E+00	1.362E-03	-4.821E+00	1.359E-03	-7.801E+00	3.095E-02	-7.830E+00	3.319E-02	-7.820E+00	3.246E-02
-4.825E+00	1.366E-03	-4.827E+00	1.368E-03	-4.825E+00	1.366E-03	-7.806E+00	3.470E-02	-7.836E+00	3.725E-02	-7.825E+00	3.643E-02
-4.830E+00	1.372E-03	-4.831E+00	1.374E-03	-4.830E+00	1.372E-03	-7.811E+00	3.874E-02	-7.841E+00	4.163E-02	-7.831E+00	4.071E-02
-4.834E+00	1.378E-03	-4.835E+00	1.380E-03	-4.834E+00	1.378E-03	-7.816E+00	4.309E-02	-7.846E+00	4.634E-02	-7.836E+00	4.532E-02
-4.838E+00	1.385E-03	-4.840E+00	1.387E-03	-4.838E+00	1.385E-03	-7.821E+00	4.776E-02	-7.851E+00	5.139E-02	-7.841E+00	5.027E-02
-4.843E+00	1.392E-03	-4.844E+00	1.393E-03	-4.842E+00	1.391E-03	-7.826E+00	5.276E-02	-7.856E+00	5.680E-02	-7.846E+00	5.556E-02
-4.848E+00	1.399E-03	-4.848E+00	1.399E-03	-4.846E+00	1.397E-03	-7.830E+00	5.810E-02	-7.861E+00	6.258E-02	-7.851E+00	6.123E-02
-4.852E+00	1.406E-03	-4.852E+00	1.405E-03	-4.851E+00	1.404E-03	-7.835E+00	6.381E-02	-7.866E+00	6.874E-02	-7.856E+00	6.727E-02
-4.857E+00	1.413E-03	-4.856E+00	1.412E-03	-4.856E+00	1.411E-03	-7.840E+00	6.990E-02	-7.871E+00	7.531E-02	-7.861E+00	7.371E-02
-4.861E+00	1.420E-03	-4.860E+00	1.418E-03	-4.860E+00	1.418E-03	-7.845E+00	7.637E-02	-7.876E+00	8.229E-02	-7.866E+00	8.055E-02
-4.866E+00	1.427E-03	-4.864E+00	1.425E-03	-4.864E+00	1.424E-03	-7.849E+00	8.325E-02	-7.880E+00	8.969E-02	-7.871E+00	8.782E-02
-4.870E+00	1.433E-03	-4.869E+00	1.431E-03	-4.868E+00	1.430E-03	-7.854E+00	9.056E-02	-7.885E+00	9.754E-02	-7.875E+00	9.553E-02
-4.874E+00	1.440E-03	-4.873E+00	1.438E-03	-4.872E+00	1.437E-03	-7.858E+00	9.830E-02	-7.889E+00	1.058E-01	-7.880E+00	1.037E-01
-4.879E+00	1.448E-03	-4.877E+00	1.445E-03	-4.876E+00	1.444E-03	-7.863E+00	1.065E-01	-7.893E+00	1.146E-01	-7.884E+00	1.123E-01
-4.883E+00	1.455E-03	-4.881E+00	1.452E-03	-4.880E+00	1.450E-03	-7.867E+00	1.152E-01	-7.897E+00	1.239E-01	-7.888E+00	1.214E-01
-4.888E+00	1.462E-03	-4.885E+00	1.458E-03	-4.885E+00	1.458E-03	-7.872E+00	1.243E-01	-7.901E+00	1.336E-01	-7.893E+00	1.310E-01
-4.892E+00	1.470E-03	-4.890E+00	1.466E-03	-4.890E+00	1.466E-03	-7.876E+00	1.340E-01	-7.905E+00	1.439E-01	-7.897E+00	1.412E-01
-4.897E+00	1.478E-03	-4.893E+00	1.472E-03	-4.894E+00	1.473E-03	-7.880E+00	1.441E-01	-7.909E+00	1.547E-01	-7.901E+00	1.518E-01
-4.902E+00	1.486E-03	-4.898E+00	1.481E-03	-4.898E+00	1.480E-03	-7.885E+00	1.549E-01	-7.913E+00	1.660E-01	-7.905E+00	1.630E-01
-4.906E+00	1.494E-03	-4.902E+00	1.486E-03	-4.902E+00	1.487E-03	-7.889E+00	1.661E-01	-7.917E+00	1.779E-01	-7.909E+00	1.748E-01
-4.910E+00	1.501E-03	-4.906E+00	1.494E-03	-4.907E+00	1.495E-03	-7.893E+00	1.779E-01	-7.921E+00	1.904E-01	-7.913E+00	1.871E-01
-4.915E+00	1.509E-03	-4.911E+00	1.502E-03	-4.911E+00	1.502E-03	-7.897E+00	1.904E-01	-7.924E+00	2.034E-01	-7.917E+00	2.000E-01
-4.920E+00	1.517E-03	-4.915E+00	1.509E-03	-4.915E+00	1.510E-03	-7.901E+00	2.034E-01	-7.928E+00	2.171E-01	-7.920E+00	2.136E-01
-4.924E+00	1.526E-03	-4.919E+00	1.516E-03	-4.920E+00	1.517E-03	-7.905E+00	2.170E-01	-7.931E+00	2.314E-01	-7.924E+00	2.278E-01
-4.929E+00	1.535E-03	-4.923E+00	1.524E-03	-4.924E+00	1.525E-03	-7.909E+00	2.313E-01	-7.935E+00	2.463E-01	-7.928E+00	2.426E-01
-4.933E+00	1.542E-03	-4.927E+00	1.531E-03	-4.928E+00	1.534E-03	-7.913E+00	2.463E-01	-7.938E+00	2.619E-01	-7.931E+00	2.581E-01
-4.938E+00	1.552E-03	-4.932E+00	1.540E-03	-4.933E+00	1.541E-03	-7.917E+00	2.619E-01	-7.941E+00	2.781E-01	-7.935E+00	2.743E-01
-4.942E+00	1.560E-03	-4.936E+00	1.548E-03	-4.937E+00	1.549E-03	-7.921E+00	2.782E-01	-7.945E+00	2.950E-01	-7.939E+00	2.911E-01
-4.947E+00	1.568E-03	-4.940E+00	1.556E-03	-4.941E+00	1.557E-03	-7.925E+00	2.953E-01	-7.948E+00	3.126E-01	-7.942E+00	3.088E-01
-4.952E+00	1.577E-03	-4.945E+00	1.564E-03	-4.945E+00	1.565E-03	-7.929E+00	3.131E-01	-7.951E+00	3.310E-01	-7.946E+00	3.271E-01
-4.956E+00	1.586E-03	-4.949E+00	1.572E-03	-4.950E+00	1.573E-03	-7.932E+00	3.316E-01	-7.954E+00	3.501E-01	-7.949E+00	3.463E-01
-4.961E+00	1.595E-03	-4.953E+00	1.580E-03	-4.954E+00	1.582E-03	-7.936E+00	3.509E-01	-7.957E+00	3.699E-01	-7.952E+00	3.662E-01
-4.966E+00	1.605E-03	-4.958E+00	1.589E-03	-4.958E+00	1.590E-03	-7.940E+00	3.710E-01	-7.960E+00	3.906E-01	-7.956E+00	3.870E-01
-4.970E+00	1.612E-03	-4.961E+00	1.596E-03	-4.963E+00	1.599E-03	-7.943E+00	3.919E-01	-7.963E+00	4.121E-01	-7.959E+00	4.086E-01
-4.974E+00	1.622E-03	-4.966E+00	1.605E-03	-4.967E+00	1.608E-03	-7.947E+00	4.136E-01	-7.966E+00	4.343E-01	-7.963E+00	4.311E-01
-4.980E+00	1.633E-03	-4.970E+00	1.614E-03	-4.971E+00	1.616E-03	-7.950E+00	4.362E-01	-7.969E+00	4.575E-01	-7.966E+00	4.546E-01
-4.983E+00	1.641E-03	-4.975E+00	1.623E-03	-4.976E+00	1.625E-03	-7.954E+00	4.596E-01	-7.972E+00	4.815E-01	-7.970E+00	4.789E-01
-4.988E+00	1.651E-03	-4.979E+00	1.631E-03	-4.980E+00	1.634E-03	-7.957E+00	4.840E-01	-7.975E+00	5.065E-01	-7.973E+00	5.043E-01
-4.993E+00	1.661E-03	-4.983E+00	1.641E-03	-4.985E+00	1.644E-03	-7.961E+00	5.092E-01	-7.978E+00	5.324E-01	-7.976E+00	5.306E-01
-4.998E+00	1.671E-03	-4.988E+00	1.651E-03	-4.990E+00	1.654E-03	-7.964E+00	5.354E-01	-7.981E+00	5.592E-01	-7.980E+00	5.580E-01
-5.003E+00	1.682E-03	-4.992E+00	1.659E-03	-4.994E+00	1.662E-03	-7.967E+00	5.626E-01	-7.984E+00	5.871E-01	-7.983E+00	5.865E-01
-5.008E+00	1.692E-03	-4.997E+00	1.669E-03	-4.998E+00	1.671E-03	-7.971E+00	5.907E-01	-7.987E+00	6.160E-01	-7.987E+00	6.162E-01
-5.012E+00	1.701E-03	-5.001E+00	1.678E-03	-5.003E+00	1.682E-03	-7.974E+00	6.198E-01	-7.990E+00	6.460E-01	-7.990E+00	6.470E-01
-5.017E+00	1.713E-03	-5.006E+00	1.689E-03	-5.008E+00	1.692E-03	-7.977E+00	6.500E-01	-7.993E+00	6.772E-01	-7.994E+00	6.790E-01
-5.021E+00	1.722E-03	-5.010E+00	1.698E-03	-5.012E+00	1.701E-03	-7.981E+00	6.812E-01	-7.996E+00	7.095E-01	-7.998E+00	7.124E-01
-5.026E+00	1.734E-03	-5.015E+00	1.709E-03	-5.016E+00	1.711E-03	-7.984E+00	7.134E-01	-7.999E+00	7.430E-01	-8.001E+00	7.471E-01
-5.031E+00	1.744E-03	-5.019E+00	1.718E-03	-5.020E+00	1.720E-03	-7.987E+00	7.468E-01	-8.002E+00	7.778E-01	-8.005E+00	7.832E-01
-5.036E+00	1.756E-03	-5.024E+00	1.728E-03	-5.025E+00	1.732E-03	-7.990E+00	7.812E-01	-8.006E+00	8.139E-01	-8.009E+00	8.208E-01
-5.041E+00	1.769E-03	-5.028E+00	1.738E-03	-5.030E+00	1.742E-03	-7.993E+00	8.169E-01	-8.009E+00	8.514E-01	-8.013E+00	8.600E-01
-5.046E+00	1.779E-03	-5.032E+00	1.748E-03	-5.034E+00	1.752E-03	-7.996E+00	8.537E-01	-8.012E+00	8.904E-01	-8.017E+00	9.008E-01
-5.050E+00	1.790E-03	-5.037E+00	1.758E-03	-5.038E+00	1.762E-03	-7.999E+00	8.916E-01	-8.016E+00	9.308E-01	-8.021E+00	9.433E-01
-5.056E+00	1.804E-03	-5.042E+00	1.771E-03	-5.043E+00	1.773E-03	-8.002E+00	9.309E-01	-8.019E+00	9.729E-01	-8.026E+00	9.877E-01
-5.060E+00	1.815E-03	-5.047E+00	1.782E-03	-5.047E+00	1.784E-03	-8.005E+00	9.713E-01	-8.023E+00	1.017E+00	-8.030E+00	1.034E+00
-5.065E+00	1.827E-03	-5.051E+00	1.793E-03	-5.052E+00	1.795E-03	-8.008E+00	1.013E+00	-8.027E+00	1.062E+00	-8.035E+00	1.082E+00
-5.071E+00	1.841E-03	-5.056E+00	1.804E-03	-5.057E+00	1.806E-03	-8.011E+00	1.056E+00	-8.031E+00	1.110E+00	-8.039E+00	1.133E+00
-5.075E+00	1.853E-03	-5.060E+00	1.815E-03	-5.061E+00	1.817E-03	-8.014E+00	1.101E+00	-8.035E+00	1.159E+00	-8.044E+00	1.185E+00
-5.079E+00	1.863E-03	-5.065E+00	1.827E-03	-5.066E+00	1.829E-03	-8.017E+00	1.146E+00	-8.039E+00	1.210E+00	-8.049E+00	1.241E+00

Fuente: elaboración propia.

Apéndice XXIII. **Modelo linealizado del Método Diferencial a 35 °C**

Modelo lineal ($y=B+Ax$)						
B	-2,949	1,607	-2,661	1,823	-2,551	1,779
A	1,007	0,333	1,072	0,377	1,093	0,368
r ²	0,99961527		0,998887098		0,999218075	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice XXIV. **Magnitudes promedio del modelo linealizado del Método Diferencial a 35 °C**

	Media	Error medio	Desviación
B	-2,720	1,736	0,206
A	1,057	0,360	0,045

Fuente: elaboración propia.

Apéndice XXV. **Absorbancias del Método Diferencial a 50 °C**

T=323,15 K		Absorbancia			
Tiempo (s)	dt [s]	Reacción; corrida 1	Reacción; corrida 2	Reacción; corrida 3	Incerteza espectrofotómetro
10	0,005	0,120	0,131	0,171	0,0005
20	0,005	0,050	0,040	0,060	0,0005
30	0,005	0,022	0,015	0,024	0,0005
40	0,005	0,009	0,006	0,010	0,0005
50	0,005	0,004	0,004	0,005	0,0005
60	0,005	0,002	0,002	0,003	0,0005
70	0,005	0,002	0,002	0,002	0,0005

Fuente: elaboración propia.

Apéndice XXVI. Concentraciones del Método Diferencial a 50 °C

T=323,15 K		Concentración [M]					
Tiempo (s)	dt [s]	Reacción; corrida 1	δC_1	Reacción; corrida 2	δC_2	Reacción; corrida 3	δC_3
10	0,005	2,204E-06	1,08E-08	2,406E-06	1,09E-08	3,140E-06	1,15E-08
20	0,005	9,183E-07	9,85E-09	7,346E-07	9,72E-09	1,102E-06	9,98E-09
30	0,005	4,040E-07	9,48E-09	2,755E-07	9,38E-09	4,408E-07	9,50E-09
40	0,005	1,653E-07	9,30E-09	1,102E-07	9,26E-09	1,837E-07	9,32E-09
50	0,005	7,346E-08	9,24E-09	7,346E-08	9,24E-09	9,183E-08	9,25E-09
60	0,005	3,673E-08	9,21E-09	3,673E-08	9,21E-09	5,510E-08	9,22E-09
70	0,005	3,673E-08	9,21E-09	3,673E-08	9,21E-09	3,673E-08	9,21E-09

Fuente: elaboración propia.

Apéndice XXVII. Modelo polinomial de cuarto grado para el Método Diferencial a 50 °C

	Modelo Polinomial de grado 4					
	Corrida 1		Corrida 2		Corrida 3	
	a0	4,67E-06	6,06E-08	6,01E-06	6,06E-08	7,32E-06
a1	-3,27E-07	8,74E-09	-4,97E-07	8,70E-09	-5,69E-07	8,91E-09
a2	9,13E-09	4,01E-10	1,57E-08	3,99E-10	1,71E-08	4,06E-10
a3	-1,17E-10	7,24E-12	-2,17E-10	7,20E-12	-2,30E-10	7,32E-12
a4	5,63E-13	4,48E-14	1,10E-12	4,46E-14	1,14E-12	4,52E-14

Fuente: elaboración propia.

Apéndice XXVIII. Derivada del modelo polinomial de cuarto grado para el Método Diferencial a 50 °C

	Derivada del modelo Polinomial de grado 4					
	Corrida 1		Corrida 2		Corrida 3	
	b0	-3,270E-07	8,74E-09	-4,97303E-07	8,7E-09	-5,69223E-07
b1	1,825E-08	8,01E-10	3,133E-08	7,97E-10	3,4279E-08	8,13E-10
b2	-3,497E-10	2,17E-11	-6,50069E-10	2,16E-11	-6,89304E-10	2,2E-11
b3	2,252E-12	1,79E-13	4,40018E-12	1,78E-13	4,56338E-12	1,81E-13

Fuente: elaboración propia.

Apéndice XXIX. Velocidad de reacción del Método Diferencial a 50 °C

T=323,15 K		Velocidad de reacción instantánea (rA) [M/s]					
Tiempo (s)	dt [s]	Reacción; corrida 1	δr_{A1}	Reacción; corrida 2	δr_{A2}	Reacción; corrida 3	δr_{A3}
10	0,005	-1,772E-07	1,92E-08	-2,446E-07	1,91E-08	-2,908E-07	1,95E-08
20	0,005	-8,375E-08	3,49E-08	-9,553E-08	3,48E-08	-1,229E-07	3,55E-08
30	0,005	-3,326E-08	5,72E-08	-2,366E-08	5,69E-08	-3,802E-08	5,80E-08
40	0,005	-1,216E-08	8,70E-08	-2,601E-09	8,66E-08	-8,893E-09	8,81E-08
50	0,005	-6,950E-09	1,25E-07	-5,951E-09	1,25E-07	-8,111E-09	1,27E-07
60	0,005	-4,105E-09	1,74E-07	-7,311E-09	1,73E-07	-8,288E-09	1,76E-07
70	0,005	9,881E-09	2,33E-07	1,972E-08	2,32E-07	1,796E-08	2,35E-07

Fuente: elaboración propia.

Apéndice XXX. Método Diferencial a 50 °C

Logaritmo de la concentración de azul de metileno (Log(C))						Logaritmo del recíproco de la velocidad de reacción instantánea (Log(-rA))					
Log(C ₁)	$\delta \text{Log}(C_1)$	Log(C ₂)	$\delta \text{Log}(C_2)$	Log(C ₃)	$\delta \text{Log}(C_3)$	Log(-r _{A1})	$\delta \text{Log}(-r_{A1})$	Log(-r _{A2})	$\delta \text{Log}(-r_{A2})$	Log(-r _{A3})	$\delta \text{Log}(-r_{A3})$
-5.657E+00	4.893E-03	-5.619E+00	4.543E-03	-5.503E+00	3.650E-03	-6.752E+00	1.081E-01	-6.612E+00	7.812E-02	-6.536E+00	6.713E-02
-6.037E+00	1.073E-02	-6.134E+00	1.323E-02	-5.958E+00	9.059E-03	-7.077E+00	4.168E-01	-7.020E+00	3.639E-01	-6.911E+00	2.886E-01
-6.394E+00	2.345E-02	-6.560E+00	3.406E-02	-6.356E+00	2.156E-02	-7.478E+00	1.718E+00	-7.626E+00	2.405E+00	-7.420E+00	1.525E+00
-6.782E+00	5.628E-02	-6.958E+00	8.406E-02	-6.736E+00	5.073E-02	-7.915E+00	7.151E+00	-8.585E+00	3.329E+01	-8.051E+00	9.910E+00
-7.134E+00	1.257E-01	-7.134E+00	1.257E-01	-7.037E+00	1.007E-01	-8.158E+00	1.805E+01	-8.225E+00	2.098E+01	-8.091E+00	1.567E+01
-7.435E+00	2.507E-01	-7.435E+00	2.507E-01	-7.259E+00	1.674E-01	-8.387E+00	4.230E+01	-8.136E+00	2.364E+01	-8.082E+00	2.121E+01
-7.435E+00	2.507E-01	-7.435E+00	2.507E-01	-7.435E+00	2.507E-01						

Fuente: elaboración propia.

Apéndice XXXI. Modelo linealizado del Método Diferencial a 50 °C

Modelo lineal (y=B+Ax)						
B	-2,949	1,607	-2,661	1,823	-2,551	1,779
A	1,007	0,333	1,072	0,377	1,093	0,368
r ²	0,99961527		0,998887098		0,999218075	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice XXXII. **Magnitudes promedio del modelo linealizado del Método Diferencial a 50 °C**

	Media	Error medio	Desviación
B	-2,720	1,736	0,206
A	1,057	0,360	0,045

Fuente: elaboración propia.

Apéndice XXXIII. **Absorbancias del Método Diferencial con metanol**

Metanol		Absorbancia			
Tiempo (s)	dt [s]	Reacción; corrida 1	Reacción; corrida 2	Reacción; corrida 3	Incerteza espectrofotómetro
10	0,005	0,706	0,706	0,705	0,0005
20	0,005	0,562	0,564	0,56	0,0005
30	0,005	0,446	0,435	0,434	0,0005
40	0,005	0,341	0,332	0,332	0,0005
50	0,005	0,256	0,249	0,248	0,0005
60	0,005	0,192	0,188	0,18	0,0005
70	0,005	0,14	0,132	0,131	0,0005
80	0,005	0,104	0,097	0,096	0,0005
90	0,005	0,077	0,072	0,072	0,0005
100	0,005	0,059	0,055	0,055	0,0005
110	0,005	0,045	0,044	0,044	0,0005
120	0,005	0,036	0,036	0,037	0,0005
130	0,005	0,03	0,031	0,033	0,0005
140	0,005	0,027	0,028	0,03	0,0005
150	0,005	0,023	0,026	0,028	0,0005
160	0,005	0,021	0,025	0,027	0,0005
170	0,005	0,02	0,024	0,026	0,0005
180	0,005	0,019	0,024	0,026	0,0005
190	0,005	0,018	0,023	0,026	0,0005
200	0,005	0,018	0,022	0,026	0,0005
210	0,005	0,018	0,022		0,0005
220	0,005	0,018	0,022		0,0005
230	0,005		0,022		0,0005

Fuente: elaboración propia.

Apéndice XXXIV. **Concentraciones del Método Diferencial con metanol**

Metanol	Tiempo (s)	dt [s]	Concentración [M]				
			Reacción; corrida 1	δC_1	Reacción; corrida 2	δC_2	Reacción; corrida 3
10	0,005	1,321E-05	1,91E-08	1,321E-05	1,91E-08	1,320E-05	1,91E-08
20	0,005	1,052E-05	1,71E-08	1,056E-05	1,72E-08	1,048E-05	1,71E-08
30	0,005	8,348E-06	1,55E-08	8,142E-06	1,54E-08	8,124E-06	1,54E-08
40	0,005	6,383E-06	1,41E-08	6,214E-06	1,40E-08	6,214E-06	1,40E-08
50	0,005	4,792E-06	1,29E-08	4,661E-06	1,28E-08	4,642E-06	1,28E-08
60	0,005	3,594E-06	1,20E-08	3,519E-06	1,20E-08	3,369E-06	1,19E-08
70	0,005	2,620E-06	1,13E-08	2,471E-06	1,12E-08	2,452E-06	1,12E-08
80	0,005	1,947E-06	1,08E-08	1,816E-06	1,07E-08	1,797E-06	1,07E-08
90	0,005	1,441E-06	1,04E-08	1,348E-06	1,04E-08	1,348E-06	1,04E-08
100	0,005	1,104E-06	1,02E-08	1,029E-06	1,01E-08	1,029E-06	1,01E-08
110	0,005	8,423E-07	9,98E-09	8,236E-07	9,97E-09	8,236E-07	9,97E-09
120	0,005	6,738E-07	9,86E-09	6,738E-07	9,86E-09	6,926E-07	9,87E-09
130	0,005	5,615E-07	9,77E-09	5,803E-07	9,79E-09	6,177E-07	9,82E-09
140	0,005	5,054E-07	9,73E-09	5,241E-07	9,75E-09	5,615E-07	9,77E-09
150	0,005	4,305E-07	9,68E-09	4,867E-07	9,72E-09	5,241E-07	9,75E-09
160	0,005	3,931E-07	9,65E-09	4,679E-07	9,71E-09	5,054E-07	9,73E-09
170	0,005	3,744E-07	9,64E-09	4,492E-07	9,69E-09	4,867E-07	9,72E-09
180	0,005	3,556E-07	9,62E-09	4,492E-07	9,69E-09	4,867E-07	9,72E-09
190	0,005	3,369E-07	9,61E-09	4,305E-07	9,68E-09	4,867E-07	9,72E-09
200	0,005	3,369E-07	9,61E-09	4,118E-07	9,66E-09	4,867E-07	9,72E-09
210	0,005	3,369E-07	9,61E-09	4,118E-07	9,66E-09		
220	0,005	3,369E-07	9,61E-09	4,118E-07	9,66E-09		
230	0,005			4,118E-07	9,66E-09		

Fuente: elaboración propia.

Apéndice XXXV. **Modelo polinomial de cuarto grado para el Método Diferencial con metanol**

	Modelo Polinomial de grado 4					
	Corrida 1		Corrida 2		Corrida 3	
	a0	1,67E-05	2,34E-08	1,68E-05	2,25E-08	1,68E-05
a1	-3,65E-07	1,15E-09	-3,75E-07	1,06E-09	-3,81E-07	1,38E-09
a2	3,10E-09	1,82E-11	3,24E-09	1,61E-11	3,35E-09	2,37E-11
a3	-1,18E-11	1,11E-13	-1,23E-11	9,43E-14	-1,31E-11	1,59E-13
a4	1,67E-14	2,31E-16	1,75E-14	1,88E-16	1,90E-14	3,61E-16

Fuente: elaboración propia.

Apéndice XXXVI. **Derivada del modelo polinomial de cuarto grado para el Método Diferencial con metanol**

Derivada del modelo Polinomial de grado 4						
	Corrida 1		Corrida 2		Corrida 3	
b0	-3,649E-07	1,15E-09	-3,75063E-07	1,06E-09	-3,81451E-07	1,38E-09
b1	6,198E-09	3,63E-11	6,47074E-09	3,21E-11	6,70121E-09	4,74E-11
b2	-3,530E-11	3,33E-13	-3,70384E-11	2,83E-13	-3,91832E-11	4,76E-13
b3	6,699E-14	9,25E-16	7,00292E-14	7,52E-16	7,602E-14	1,44E-15

Fuente: elaboración propia.

Apéndice XXXVII. **Velocidad de reacción del Método Diferencial con metanol**

Metanol	Velocidad de reacción instantánea (rA) [M/s]						
	Tiempo (s)	dt [s]	Reacción; corrida 1	δr_{A1}	Reacción; corrida 2	δr_{A2}	Reacción; corrida 3
10	0,005	-3,063E-07	1,58E-09	-3,140E-07	1,44E-09	-3,183E-07	1,93E-09
20	0,005	-2,545E-07	2,04E-09	-2,599E-07	1,85E-09	-2,625E-07	2,55E-09
30	0,005	-2,089E-07	2,59E-09	-2,124E-07	2,32E-09	-2,136E-07	3,29E-09
40	0,005	-1,691E-07	3,22E-09	-1,710E-07	2,87E-09	-1,712E-07	4,14E-09
50	0,005	-1,348E-07	3,93E-09	-1,354E-07	3,49E-09	-1,348E-07	5,13E-09
60	0,005	-1,056E-07	4,75E-09	-1,050E-07	4,18E-09	-1,040E-07	6,26E-09
70	0,005	-8,098E-08	5,66E-09	-7,958E-08	4,97E-09	-7,829E-08	7,53E-09
80	0,005	-6,062E-08	6,67E-09	-5,859E-08	5,84E-09	-5,720E-08	8,96E-09
90	0,005	-4,411E-08	7,80E-09	-4,166E-08	6,80E-09	-4,031E-08	1,06E-08
100	0,005	-3,105E-08	9,05E-09	-2,834E-08	7,86E-09	-2,714E-08	1,23E-08
110	0,005	-2,102E-08	1,04E-08	-1,824E-08	9,02E-09	-1,725E-08	1,43E-08
120	0,005	-1,363E-08	1,19E-08	-1,092E-08	1,03E-08	-1,018E-08	1,64E-08
130	0,005	-8,474E-09	1,35E-08	-5,962E-09	1,17E-08	-5,474E-09	1,87E-08
140	0,005	-5,155E-09	1,53E-08	-2,952E-09	1,32E-08	-2,674E-09	2,13E-08
150	0,005	-3,268E-09	1,72E-08	-1,467E-09	1,48E-08	-1,325E-09	2,41E-08
160	0,005	-2,411E-09	1,93E-08	-1,088E-09	1,65E-08	-9,700E-10	2,71E-08
170	0,005	-2,183E-09	2,15E-08	-1,393E-09	1,84E-08	-1,154E-09	3,03E-08
180	0,005	-2,181E-09	2,39E-08	-1,963E-09	2,04E-08	-1,421E-09	3,37E-08
190	0,005	-2,004E-09	2,64E-08	-2,378E-09	2,25E-08	-1,314E-09	3,75E-08
200	0,005	-1,249E-09	2,91E-08	-2,217E-09	2,48E-08	-3,778E-10	4,14E-08
210	0,005	4,853E-10	3,20E-08	-1,060E-09	2,73E-08	1,844E-09	4,57E-08
220	0,005	3,601E-09	3,51E-08	1,513E-09	2,98E-08	5,808E-09	5,02E-08
230	0,005	8,499E-09	3,84E-08	5,922E-09	3,26E-08	1,197E-08	5,50E-08

Fuente: elaboración propia.

Apéndice XXXVIII. Método Diferencial con metanol

Logaritmo de la concentración de azul de metileno (Log(C))						Logaritmo del recíproco de la velocidad de reacción instantánea (Log(-r _A))					
Log(C ₁)	δLog(C ₁)	Log(C ₂)	δLog(C ₂)	Log(C ₃)	δLog(C ₃)	Log(-r _{A1})	δLog(-r _{A1})	Log(-r _{A2})	δLog(-r _{A2})	Log(-r _{A3})	δLog(-r _{A3})
-4.879E+00	1.448E-03	-4.879E+00	1.448E-03	-4.880E+00	1.449E-03	-6.514E+00	5.151E-03	-6.503E+00	4.593E-03	-6.497E+00	6.057E-03
-4.978E+00	1.630E-03	-4.976E+00	1.626E-03	-4.980E+00	1.633E-03	-6.594E+00	8.033E-03	-6.585E+00	7.118E-03	-6.581E+00	9.717E-03
-5.078E+00	1.861E-03	-5.089E+00	1.889E-03	-5.090E+00	1.892E-03	-6.680E+00	1.239E-02	-6.673E+00	1.094E-02	-6.670E+00	1.538E-02
-5.195E+00	2.206E-03	-5.207E+00	2.246E-03	-5.207E+00	2.246E-03	-6.772E+00	1.902E-02	-6.767E+00	1.677E-02	-6.766E+00	2.420E-02
-5.320E+00	2.693E-03	-5.332E+00	2.748E-03	-5.333E+00	2.756E-03	-6.870E+00	2.917E-02	-6.868E+00	2.576E-02	-6.870E+00	3.805E-02
-5.444E+00	3.344E-03	-5.454E+00	3.399E-03	-5.472E+00	3.518E-03	-6.976E+00	4.494E-02	-6.979E+00	3.984E-02	-6.983E+00	6.015E-02
-5.582E+00	4.311E-03	-5.607E+00	4.528E-03	-5.610E+00	4.557E-03	-7.092E+00	6.986E-02	-7.099E+00	6.242E-02	-7.106E+00	9.617E-02
-5.711E+00	5.548E-03	-5.741E+00	5.895E-03	-5.745E+00	5.948E-03	-7.217E+00	1.101E-01	-7.232E+00	9.963E-02	-7.243E+00	1.566E-01
-5.841E+00	7.233E-03	-5.870E+00	7.684E-03	-5.870E+00	7.684E-03	-7.355E+00	1.769E-01	-7.380E+00	1.633E-01	-7.395E+00	2.618E-01
-5.957E+00	9.214E-03	-5.987E+00	9.831E-03	-5.987E+00	9.831E-03	-7.508E+00	2.915E-01	-7.548E+00	2.774E-01	-7.566E+00	4.539E-01
-6.075E+00	1.185E-02	-6.084E+00	1.210E-02	-6.084E+00	1.210E-02	-7.677E+00	4.956E-01	-7.739E+00	4.948E-01	-7.763E+00	8.271E-01
-6.171E+00	1.463E-02	-6.171E+00	1.463E-02	-6.160E+00	1.425E-02	-7.866E+00	8.741E-01	-7.962E+00	9.430E-01	-7.992E+00	1.612E+00
-6.251E+00	1.741E-02	-6.236E+00	1.687E-02	-6.209E+00	1.589E-02	-8.072E+00	1.598E+00	-8.225E+00	1.958E+00	-8.262E+00	3.425E+00
-6.296E+00	1.926E-02	-6.281E+00	1.860E-02	-6.251E+00	1.741E-02	-8.288E+00	2.970E+00	-8.530E+00	4.462E+00	-8.573E+00	7.965E+00
-6.366E+00	2.248E-02	-6.313E+00	1.997E-02	-6.281E+00	1.860E-02	-8.486E+00	5.271E+00	-8.833E+00	1.008E+01	-8.878E+00	1.817E+01
-6.406E+00	2.455E-02	-6.330E+00	2.074E-02	-6.296E+00	1.926E-02	-8.618E+00	7.999E+00	-8.963E+00	1.519E+01	-9.013E+00	2.789E+01
-6.427E+00	2.574E-02	-6.348E+00	2.157E-02	-6.313E+00	1.997E-02	-8.661E+00	9.853E+00	-8.856E+00	1.320E+01	-8.938E+00	2.623E+01
-6.449E+00	2.706E-02	-6.348E+00	2.157E-02	-6.313E+00	1.997E-02	-8.661E+00	1.095E+01	-8.707E+00	1.039E+01	-8.847E+00	2.375E+01
-6.472E+00	2.852E-02	-6.366E+00	2.248E-02	-6.313E+00	1.997E-02	-8.698E+00	1.319E+01	-8.624E+00	9.479E+00	-8.881E+00	2.850E+01
-6.472E+00	2.852E-02	-6.385E+00	2.347E-02	-6.313E+00	1.997E-02	-8.904E+00	2.334E+01	-8.654E+00	1.120E+01	-9.423E+00	1.097E+02
-6.472E+00	2.852E-02	-6.385E+00	2.347E-02					-8.975E+00	2.571E+01		
-6.472E+00	2.852E-02	-6.385E+00	2.347E-02								

Fuente: elaboración propia.

Apéndice XXXIX. Modelo linealizado del Método Diferencial con metanol

Modelo lineal (y=B+Ax)						
B	-2,490	0,162	-2,504	0,140	-2,442	0,201
A	0,825	0,033	0,820	0,028	0,831	0,041
r ²	0,999990155		0,999988824		0,999992873	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice XL. **Magnitudes promedio del modelo linealizado del Método Diferencial con metanol**

	Media	Error medio	Desviación
B	-2,479	0,168	0,033
A	0,825	0,034	0,006

Fuente: elaboración propia.

Apéndice XLI. **Datos preliminares Método de Velocidades Iniciales a 23 °C**

Concentración de ácido ascórbico [M]	δC	Corrida	Absorbancia	Concentración final $\times 10^{-6}$ [M]	δC
0,01	0,000428839	1	0,600	12,234	5E-04
		2	0,587	11,984	5E-04
		3	0,588	12,016	5E-04
0,02	0,000457678	1	0,511	10,593	5E-04
		2	0,479	10,008	5E-04
		3	0,459	9,636	5E-05
0,03	0,000486517	1	0,413	8,783	5E-05
		2	0,390	8,364	5E-05
		3	0,378	8,137	5E-05
0,04	0,000515356	1	0,292	6,543	5E-05
		2	0,305	6,786	5E-05
		3	0,312	6,921	5E-05
0,05	0,000544195	1	0,237	5,530	5E-05
		2	0,261	5,978	5E-05
		3	0,263	6,023	5E-05

Fuente: elaboración propia.

Apéndice XLII. **Velocidad inicial de reacción a 23 °C**

Concentración de ácido ascórbico [M]	δC	Corrida	$\Delta C \times 10^6$ [M]	$\delta \Delta C$	Tiempo [s]	δt	Velocidad de reacción [M/s]	δr_A
0,01	0,000428839	1	-7,766	0,296	13	3	-5,97E-07	1,15E-07
		2	-8,016	0,305	13	3	-6,17E-07	1,19E-07
		3	-7,984	0,304	13	3	-6,14E-07	1,18E-07
0,02	0,000457678	1	-9,407	0,358	13	3	-7,24E-07	1,39E-07
		2	-9,992	0,380	13	3	-7,69E-07	1,48E-07
		3	-10,364	0,394	13	3	-7,97E-07	1,54E-07
0,03	0,000486517	1	-11,217	0,426	13	3	-8,63E-07	1,66E-07
		2	-11,636	0,442	13	3	-8,95E-07	1,73E-07
		3	-11,863	0,451	13	3	-9,13E-07	1,76E-07
0,04	0,000515356	1	-13,457	0,512	13	3	-1,04E-06	2,00E-07
		2	-13,214	0,502	13	3	-1,02E-06	1,96E-07
		3	-13,079	0,497	13	3	-1,01E-06	1,94E-07
0,05	0,000544195	1	-14,470	0,550	13	3	-1,11E-06	2,15E-07
		2	-14,022	0,533	13	3	-1,08E-06	2,08E-07
		3	-13,977	0,531	13	3	-1,08E-06	2,07E-07

Fuente: elaboración propia.

Apéndice XLIII. **Método de Velocidades Iniciales a 23 °C**

Velocidad de reacción promedio [M/s]	δr_A	Log($C_{\text{ácido ascórbico}}$)	$\delta \text{Log}(C_{\text{ácido ascórbico}})$	Log($-r_A$)	$\delta \text{Log}(-r_A)$
-6,09E-07	1,17E-07	-2	0,042883897	-6,21510851	0,19271513
-7,63E-07	1,47E-07	-1,698970004	0,022883897	-6,11739228	0,19272304
-8,90E-07	1,72E-07	-1,522878745	0,016217231	-6,05054118	0,19275059
-1,02E-06	1,96E-07	-1,397940009	0,012883897	-5,99173731	0,19274912
-1,09E-06	2,10E-07	-1,301029996	0,010883897	-5,96299666	0,19274796

Fuente: elaboración propia.

Apéndice XLIV. **Linealización del Método de Velocidades Iniciales a 23 °C**

Modelo lineal (y=B+Ax)		
B	-5,486	0,560
A	0,367	0,349
r ²	0,995847327	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice XLV. **Datos preliminares Método de Velocidades Iniciales con metanol**

Concentración de ácido ascórbico [M]	δC	Corrida	Absorbancia	Concentración final x 10 ⁻⁶ [M]	δC
0,01	0,000428839	1	0,748	12,631	5E-04
		2	0,756	12,755	5E-04
		3	0,750	12,666	5E-04
0,02	0,000457678	1	0,690	11,653	5E-04
		2	0,675	11,407	5E-04
		3	0,681	11,513	5E-05
0,03	0,000486517	1	0,622	10,525	5E-05
		2	0,628	10,625	5E-05
		3	0,633	10,698	5E-05
0,04	0,000515356	1	0,563	9,533	5E-05
		2	0,548	9,286	5E-05
		3	0,562	9,516	5E-05
0,05	0,000544195	1	0,505	8,571	5E-05
		2	0,488	8,282	5E-05
		3	0,493	8,368	5E-05

Fuente: elaboración propia.

Apéndice XLVI. Velocidad inicial de reacción a 23 °C

Concentración de ácido ascórbico [M]	δC	Corrida	$\Delta C \times 10^6$ [M]	$\delta \Delta C$	Tiempo [s]	δt	Velocidad de reacción [M/s]	δr_A
0,01	0,000428839	1	-7,369	0,280	13	3	-5,67E-07	1,09E-07
		2	-7,245	0,276	13	3	-5,57E-07	1,07E-07
		3	-7,334	0,279	13	3	-5,64E-07	1,09E-07
0,02	0,000457678	1	-8,347	0,318	13	3	-6,42E-07	1,24E-07
		2	-8,593	0,327	13	3	-6,61E-07	1,27E-07
		3	-8,487	0,323	13	3	-6,53E-07	1,26E-07
0,03	0,000486517	1	-9,475	0,360	13	3	-7,29E-07	1,40E-07
		2	-9,375	0,356	13	3	-7,21E-07	1,39E-07
		3	-9,302	0,354	13	3	-7,16E-07	1,38E-07
0,04	0,000515356	1	-10,467	0,398	13	3	-8,05E-07	1,55E-07
		2	-10,714	0,407	13	3	-8,24E-07	1,59E-07
		3	-10,484	0,399	13	3	-8,06E-07	1,55E-07
0,05	0,000544195	1	-11,429	0,435	13	3	-8,79E-07	1,69E-07
		2	-11,718	0,446	13	3	-9,01E-07	1,74E-07
		3	-11,633	0,442	13	3	-8,95E-07	1,72E-07

Fuente: elaboración propia.

Apéndice XLVII. Método de Velocidades Iniciales a 23 °C

Velocidad de reacción promedio [M/s]	δr_A	Log($C_{\text{ácido ascórbico}}$)	$\delta \text{Log}(C_{\text{ácido ascórbico}})$	Log($-r_A$)	$\delta \text{Log}(-r_A)$
-5,63E-07	1,08E-07	-2	0,042883897	-6,24966966	0,19271711
-6,52E-07	1,26E-07	-1,698970004	0,022883897	-6,18576948	0,19272619
-7,22E-07	1,39E-07	-1,522878745	0,016217231	-6,14155535	0,19275183
-8,12E-07	1,56E-07	-1,397940009	0,012883897	-6,09048786	0,19275124
-8,92E-07	1,72E-07	-1,301029996	0,010883897	-6,04974252	0,19275059

Fuente: elaboración propia.

Apéndice XLVIII. **Linealización del Método de Velocidades Iniciales a 23 °C**

	Modelo lineal ($y=B+Ax$)	
B	-5,699	0,560
A	0,281	0,349
r^2	0,973663384	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice XLIX. **Linealizaciones promedio del Método Diferencial para las temperaturas de trabajo**

Temperatura [°C]	T [K]	δT [K]	Pendiente (α)	δm	Intercepto	δb
23	296,15	0,5	0,437	0,371	-5,711	1,793
35	308,15	0,5	1,057	0,360	-2,720	1,736
50	323,15	0,5	0,850	0,771	-1,880	4,344

Fuente: elaboración propia.

Apéndice L. **Órdenes promedio con respecto al azul de metileno**

Promedio	0,781	0,501
Desviación	0,316	0,234
Error	40,41%	98,73%

Fuente: elaboración propia.

Apéndice LI. **Órdenes de reacción con respecto al azul de metileno y al ácido ascórbico**

Órdenes de Reacción		
	Orden Parcial	Incerteza
Azul de metileno	0,781	0,501
Ácido Ascórbico	0,367	0,349

Fuente: elaboración propia.

Apéndice LII. **Cálculo constante cinética**

Intercepto ($b = \log k + \beta \log C_B$)	δb	C_B	δC_B	Logk	δLogk	k	δk
-5,711	1,793	0,015	4,865E-04	-5,042	1,168	9,084E-06	2,443E-05
-2,720	1,736			-2,051	1,111	8,894E-03	2,276E-02
-1,880	4,344			-1,211	3,719	6,158E-02	5,273E-01

Fuente: elaboración propia.

Apéndice LIII. **Parámetros para linealización de la ecuación de Arrhenius**

1/T [K ⁻¹]	$\delta 1/T$ [K ⁻¹]	Lnk	δLnk
3,38E-03	5,701E-06	-11,609	2,689
3,25E-03	5,266E-06	-4,722	2,559
3,09E-03	4,788E-06	-2,787	8,563

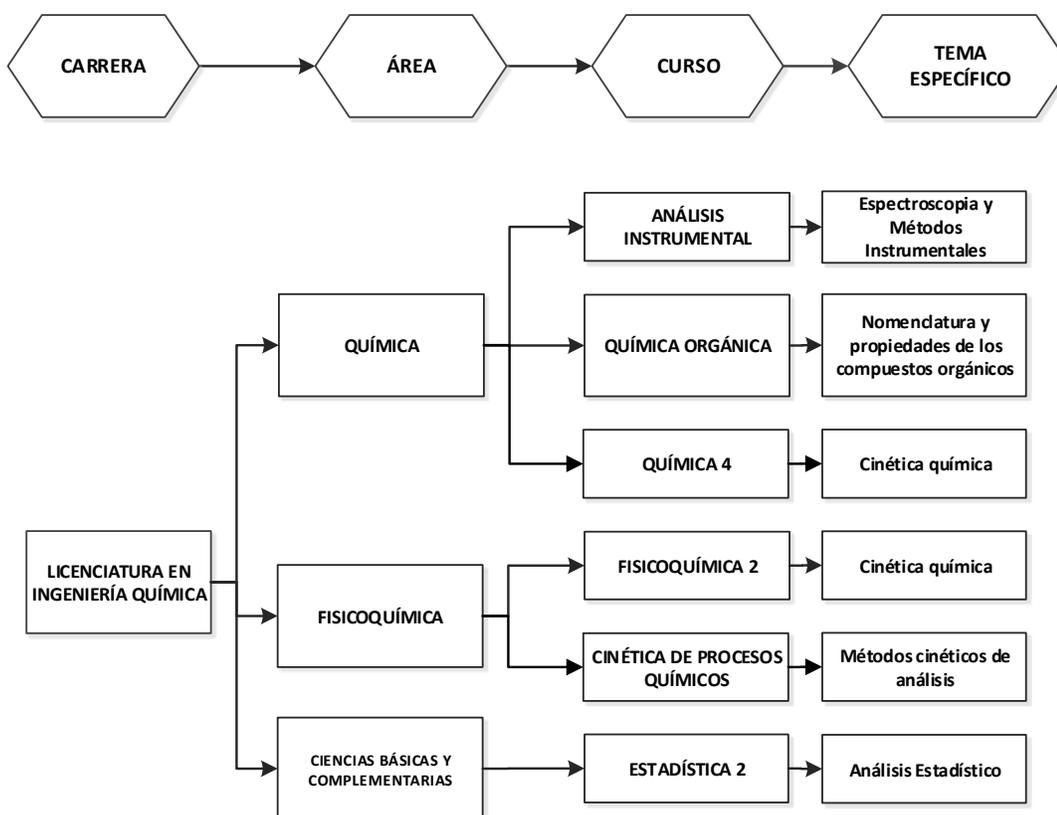
Fuente: elaboración propia.

Apéndice LIV. **Correlación lineal de la ecuación de Arrhenius**

Linealización Energía de activación		
	Valor	Incerteza
Pendiente	-42855,50	23141,79
Intercepto	133,74	76,43
r²	0,9165	

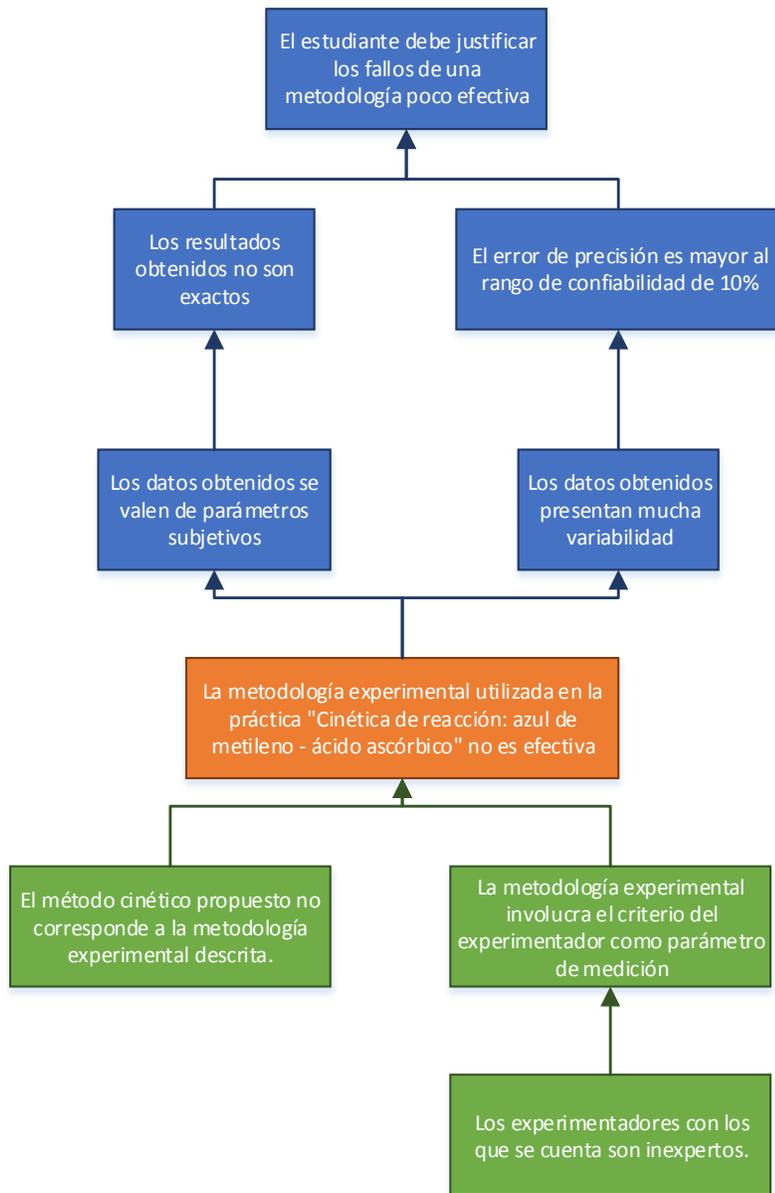
Fuente: elaboración propia.

Apéndice LV. **Tabla de requisitos académicos**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice LVI. **Árbol de problemas**



Fuente: elaboración propia.