

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



**“COMPORTAMIENTOS DEL ACEITE DE SOYA Y
DEL ACEITE DE PESCADO A DISTINTAS
CONDICIONES DE OPERACIÓN PARA LA
PRODUCCIÓN DE RESINAS ALQUÍDICAS”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO QUÍMICO

ROCIO DEL PILAR ESPINOZA ROSALES

LILIANA RAMOS CISNEROS

Callao, enero, 2018

PERÚ

PRÓLOGO DEL JURADO

La presente tesis fue sustentada por los bachilleres ESPINOZA ROSALES ROCIO DEL PILAR Y RAMOS CISNEROS LILIANA, ante el JURADO DE SUSTENTACION DE TESIS conformado por los siguientes Docentes Ordinarios:

Ing. RODRÍGUEZ TARANCO OSCAR JUAN	Presidente
Ing. RODRÍGUEZ VILCHEZ RICARDO	Secretario
Ing. IPANAQUE MAZA CALIXTO	Vocal
Lic. REYNA SEGURA ANA MARÍA	Miembro Suplente
Ing. GUMERCINDO HUAMANI TAYPE	Asesor

Tal como esta asentado en el libro de actas de sustentacion de tesis N° 01, Folio N° 31, Acta N° 30, de fecha veinticinco de enero del 2018, para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico, de acuerdo a lo normado por el reglamento de Grados y Títulos aprobada por resolución N° 283-2017-CFIQ de fecha 04 de octubre del 2017.

DEDICATORIA

A mis padres Ignacio Ramos Gómez y Silvia Cisneros Vásquez por apoyarme de manera incondicional y con mucho esfuerzo lograr que culmine esta etapa profesional.

A mis hermanos Arturo, Javier, Marcelino y Carlos por sus consejos y aliento para continuar con mis estudios.

A mi novio Alexander Ramírez por su motivación y apoyo hasta en los momentos más difíciles de esta etapa profesional.

Liliana Ramos Cisneros.

A mis padres; Tito Espinoza Rosales y Luz Rosales Verde, por sus constantes consejos y apoyo brindados, los cuales fueron vitales para culminar esta etapa profesional.

A mis hermanos Yuli, Sarita y David por sus consejos, enseñándome que no hay imposibles.

Rocio Espinoza Rosales

AGRADECIMIENTO

A Dios por ser nuestra guía constante y andar a nuestro lado en las buenas y malas en nuestra vida personal como profesional.

Al Ingeniero Fernando Ríos Aranibar por su apoyo desinteresado, por creer en este proyecto, por su contante asesoramiento y creer en nuestra persona.

A la Empresa InterPaints S.A.C que nos apoyó con sus laboratorios de resinas y de calidad, así como también sus materiales para el desarrollo exitoso del presente proyecto.

ÍNDICE

TABLAS DE CONTENIDO	4
RESUMEN	9
ABSTRACT	10
I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	11
1.1 Identificación del problema	11
1.2 Formulación del problema	12
1.3 Objetivos de la investigación	12
1.4 Justificación	13
1.5 Importancia	14
II. MARCO TEÓRICO	15
2.1 Antecedentes del estudio	15
2.2 Marco conceptual	19
2.2.1 Utilización de los aceites en las pinturas	19
2.2.2 Aceites	21
2.2.3 Ácidos grasos	23
2.2.4 Composición de algunos aceites en la formulación de pinturas	27
2.2.5 Resinas alquídicas	28

2.2.6	Reacciones químicas involucradas en la preparación de resinas alquídicas.....	29
2.2.7	Clasificación de las resinas alquídicas.....	32
2.2.8	Fabricación de Resinas Alquídicas	34
2.2.9	Ingredientes de las resinas alquídicas, características y las propiedades que imparten al polímero final.....	35
2.2.10	Variables del proceso durante la fabricación de la resina	39
2.2.11	Análisis fisicoquímicos de los aceites.....	43
2.2.12	Velocidad de reacción	47
2.3	Definición de términos	52
III.	VARIABLES E HIPÓTESIS	54
3.1	Variables de la investigación	54
3.2	Operacionalización de variables	55
3.3	Hipótesis general e hipótesis específicas	56
IV.	METODOLOGÍA	57
4.1	Tipo de investigación	57
4.2	Diseño de investigación.....	57
4.3	Población y Muestra	61
4.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	62
4.5	Procedimientos de recolección de datos	65

4.5.1	Etapas que comprenden la prueba experimental.....	65
4.5.2	Procedimiento experimental.....	67
4.6	Procesamiento estadístico y análisis de datos	75
V.	RESULTADOS.....	77
5.1	Caracterización del aceite.....	77
5.2	Formulación de la resina.....	81
5.3	Comportamientos del aceite de soya y del aceite de pescado a distintas condiciones de operación en la producción de resinas alquídicas	83
VI.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	114
6.1	Contrastación de hipótesis con los resultados.....	114
VII.	CONCLUSIONES	115
VIII.	RECOMENDACIONES	116
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	117
X.	ANEXOS	122
□	Matriz de consistencia completa.....	122

TABLAS DE CONTENIDO

CUADROS

2.1	Constantes físicas y composición de aceites.....	22
2.2	Aceites saturados e insaturados.....	24
2.3	Secatividad de un ácido graso.....	27
2.4	Composición porcentual de ácidos grasos en algunos aceites.....	28
2.5	Resinas alquídicas según el contenido de aceite.....	33
2.6	Poliolios empleados para la síntesis de resinas alquídicas..	37
2.7	Poliácidos empleados para la síntesis de resinas alquídicas.....	39
3.1	Operacionalización de variables.....	55
4.1	Variables del proceso.....	57
4.2	Matriz de experimentos.....	58
4.3	Pesos de muestras.....	68
5.1	Resultados de índice de yodo.....	77
5.2	Índice de saponificación.....	78
5.3	Índice de acidez.....	80
5.4	Formulación de la resina.....	81
5.5	Parámetros y cálculos en el proceso del ensayo 1.....	85
5.6	Determinación de los parámetros cinéticos (ensayo 1).....	87
5.7	Parámetros y cálculos en el proceso del ensayo 2.....	89
5.8	Determinación de los parámetros cinéticos (ensayo 2).....	91

5.9	Parámetros y cálculos en el proceso del ensayo 3	92
5.10	Determinación de los Parámetros Cinéticos (ensayo 3)	94
5.11	Parámetros y cálculos en el proceso del ensayo 4	96
5.12	Determinación de los parámetros cinéticos (ensayo 4)	98
5.13	Parámetros y cálculos en el proceso del ensayo 5	99
5.14	Determinación de los parámetros cinéticos (ensayo 5)	101
5.15	Parámetros y cálculos en el proceso del ensayo 6	103
5.16	Determinación de los parámetros cinéticos (ensayo 6)	104
5.17	Parámetros y cálculos en el proceso del ensayo 7	106
5.18	Determinación de los parámetros cinéticos (ensayo 7)	108
5.19	Parámetros y cálculos en el proceso del ensayo 8	109
5.20	Determinación de los parámetros cinéticos (ensayo 8)	111
5.21	Viscosidad y parámetros cinéticos de los 8 ensayos	113

FIGURAS

2.1 Formación de un triglicérido.....	21
2.2 Tipos de ácidos grasos	23
2.3 Reaccion monoglicérida.....	31
2.4 Reaccion de esterificación	32
2.5 Reacciones implicadas en el índice de saponificación	46
3.1 Relación de las variables de la investigación.....	54
4.1 Diagrama del proceso.....	60
4.2 Reactor bacht a nivel laboratorio	61
4.3 Primera etapa: reacción con la solución de wijs y el tetracloruro de carbono	69
4.4 Segunda etapa: reacción con el tiosulfato de sodio y almidón	70
4.5 Reacción con el KOH.....	71
4.6 Reacción final con el H_2SO_4	71
4.7 Reaccion del aceite con el hidroxido de potasio	72
4.8 Proceso de elaboración de la resina.....	74
5.1 Obtención de la resina.....	83

GRÁFICOS

2.1 Concentración de un reactivo en función del tiempo	50
4.1 Diagrama de efecto pareto.....	75
4.2 Diagrama de efecto normal.....	75
5.1 Consumo del anhídrido ftálico en el proceso (ensayo 1).....	86
5.2 Variación del valor ácido en el proceso (ensayo 1).....	86
5.3 Determinación del n° de orden y k_v (ensayo 1)	87
5.4 Consumo del anhídrido ftálico en el proceso (ensayo 2)	90
5.5 Variación del valor ácido en el proceso (ensayo 2).....	90
5.6 Determinación del n° de orden y k_v (ensayo 2)	91
5.7 Consumo del anhídrido ftálico en el proceso (ensayo 3)	93
5.8 Variación del valor ácido en el proceso (ensayo 3).....	94
5.9 Determinación del n° de orden y k_v (ensayo 3)	95
5.10 Consumo del anhídrido ftálico en el proceso (ensayo 4)	97
5.11 Variación del valor ácido en el proceso (ensayo 4).....	97
5.12 Determinación del n° de orden y k_v (ensayo 4)	98
5.13 Consumo del anhídrido ftálico en el proceso (ensayo 5)	100
5.14 Variación del valor ácido en el proceso (ensayo 5).....	101
5.15 Determinación del n° de orden y k_v (ensayo 5)	102
5.16 Consumo del anhídrido ftálico en el proceso (ensayo 6)	104
5.17 Variación del valor ácido en el proceso (ensayo 6).....	104
5.18 Determinación del n° de orden y k_v (ensayo 6)	105

5.19 Consumo del anhídrido ftálico en el proceso (ensayo 7)	107
5.20 Variación del valor ácido en el proceso (ensayo 7).....	107
5.21 Determinación del n° de orden y k_v (ensayo 7)	108
5.22 Consumo del anhídrido ftálico en el proceso (ensayo 8)	110
5.23 Variación del valor ácido en el proceso (ensayo 8).....	111
5.24 Determinación del n° de orden y k_v (ensayo 8)	112

RESUMEN

La presente tesis plantea determinar los comportamientos del aceite de soya y del aceite de pescado a distintas condiciones de operación para la producción de resinas, con la finalidad de conocer cómo reaccionan estos aceites en la producción de las resinas para así formular la resina que se requiera fabricar.

Primero se realizó la caracterización de los aceites como es el índice de yodo, saponificación y acidez para identificar el grado de saturación de cada aceite. Se determinó que el grado de insaturación del aceite de pescado es más alto que el de soya. Luego se seleccionó los parámetros de operación para la producción de las resinas alquídicas las cuales fueron la temperatura, cantidad de xilol y el tipo de aceite. Dentro de la producción de la resina en la etapa de policondensación se analizó que parámetro es el que más influye para las características de la resina, como también los datos cinéticos en el avance de reacción como es la constante de velocidad, número de orden, viscosidad y grado de conversión.

Palabras clave: aceite de pescado y soya, resina alquídica, cinética y policondensación.

ABSTRACT

This thesis proposes to determine the behavior of soybean oil and fish oil at different operating conditions for the production of resins, in order to know how these oils react in the production of resins to formulate the resin required manufacture.

First, the characterization of the oils was carried out, such as the iodine index, saponification and acidity to identify the degree of saturation of each oil. It was determined that the degree of establishment of fish oil is higher than that of soybean. Then the operating parameters for the production of the alkyd resins were selected, which were the temperature, amount of xylol and the type of oil. Within the production of the resin in the polycondensation stage, it was analyzed which parameter is the one that most influences the characteristics of the resin, as well as the kinetic data in the reaction advance such as the speed constant, order number, viscosity and degree of conversion.

Keywords: fish and soybean oil, alkyd resin, kinetics and polycondensation.

I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Identificación del problema

Las resinas alquídicas modificadas con aceite se vienen utilizando en la industria de las pinturas y de los tintes desde los años 40 hasta hoy, cuyo rendimiento es superior, tanto en términos de rapidez de secado como de la resistencia al medio ambiente. En el Perú la producción de productos de recubrimiento básicamente es de pinturas, barnices y lacas; para dichos productos las resinas alquídicas son la materia prima más importante en la que le dará las características adecuadas de las pinturas y barnices.

Por tal razón existe la necesidad de estudiar el proceso de reacción como también ver de qué manera influyen los parámetros de operación para la realización de una resina con los aceites de soya y de pescado para servirnos como modelo en la producción de la resina en planta y así poder formular una resina con una característica adecuada para el producto a fabricarse.

1.2 Formulación del problema

Problema General

¿Cómo son los comportamientos del aceite de soya y del aceite de pescado a distintas condiciones de operación para la producción de resinas alquídicas?

Problemas Específicos

- a) ¿Cuáles son las características fisicoquímicas de los aceites de soya y de pescado?
- b) ¿Cuáles son las condiciones de operación para la producción de resinas alquídicas?

1.3 Objetivos de la investigación

Objetivo General

Determinar los comportamientos del aceite de soya y del aceite de pescado a distintas condiciones de operación para la producción de resinas alquídicas.

Objetivos Específicos

- a) Determinar las características fisicoquímicas de los aceites de soya y de pescado.

- b) Seleccionar las condiciones de operación para la producción de resinas alquídicas.

1.4 Justificación

Las razones que justifican la investigación propuesta son las siguientes:

- **Legal:** La justificación legal del trabajo de investigación está basada siguiendo las normas ASTM (American society for testing and materials) para pinturas y recubrimientos, las cuales son fundamentales para especificar y evaluar las propiedades físicas y químicas de la resina a evaluarse.
- **Económica:** Para la elaboración de las resinas se escogieron productos que pueden ser de fácil acceso en el Perú, lo cual hace que económicamente sea más rentable que importar del extranjero.
- **Teórica:** el estudio de evaluación de los parámetros en el proceso de producción de la resina es sustentado con una base teórica y experimental.

1.5 Importancia

El alcance de la investigación permite plantear Determinar los comportamientos del aceite de soya y del aceite de pescado a distintas condiciones de operación para la producción de resinas alquídicas con el fin de brindar conocimiento de la reacción de estos aceites dentro de la producción de la resina y sirva como base para reformular un resina requerida, para lo cual se deben hacer ensayos a nivel laboratorio y finalmente llevar a escala industrial.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del estudio

Cardeño, Fernando. et al, 2013 desarrollaron un trabajo de investigación titulado **“SINTESIS DE RESINAS ALQUIDICAS A PARTIR DE ACEITES DE HIGUERILLA, DE PALMA Y DE FRITURA MEZCLADOS CON ACEITE DE SOJA”** en la revista: Información Tecnológica de la Universidad de Antioquia. Medellín Colombia; con el objetivo de evaluar la sustitución total o parcial del aceite de soja por los aceites crudos y usados de bajo costo como el aceite de higuera, palma y fritura en la elaboración de resinas alquídicas. La metodología que siguieron fue la de refinar los aceites para luego caracterizarlos empleando las técnicas de caracterización de iodo, índice de acidez, índice de saponificación, humedad de índice de hidroxilo y Karl Fisher, para la preparación de la resina alquídica en la etapa de glicerólisis y una etapa de policondensación en la que se desarrollaron diferentes síntesis de las resinas empleando una formulación basada en criterios de funcionalidad promedio en la que se hizo a distintos porcentajes de mezclas de aceite de soja con los otros aceites al 30, 50 y 70% realizando a ello sus características a las resinas obtenidas como % NV, viscosidad, color, índice de acidez, análisis termogravimétrico, análisis FT-IR; la cual en su informe de

investigación concluyeron que cumplen con los parámetros de calidad exigidos para su uso y aplicación como materias primas en la fabricación de recubrimientos de preparación de superficie y acabados. Por lo que se considera que el desarrollo es viable técnicamente para la sustitución parcial y/o total del aceite insaturado de soja por aceites de higuera, palma e incluso aceites de fritura en la fabricación de resinas alquídicas.

Báez Riveros, Oscar. et al, 2010. Elaboraron el proyecto: **“OBTENCIÓN DE UNA RESINA ALQUÍDICA A PARTIR DE ACEITE DE PALMA CRUDO A ESCALA LABORATORIO”** en la Universidad de América. Bogotá, Colombia. Para la obtención de una resina alquídica a base aceite de palma crudo se utilizó anhídrido ftálico, glicerina y aceite de palma crudo, se determinaron las condiciones de operación para las reacciones de alcoholisis y esterificación y se decidió por una resina específica para obtenerla en un sistema de reacción. Una vez obtenido la resina se analizó la variación en algunas condiciones de operación del reactor y el efecto de la resina alquídica obtenida en la elaboración de un esmalte. La resina alquídica obtenida en el reactor no pudo ser utilizada en la preparación de esmaltes debido a que su formulación tiene un valor de punto de gelificación superior a 1 y un valor de funcionalidad inferior a 2, y esto afecta al secado del esmalte, se recomienda

evaluar la formulación de las resinas y del esmalte para obtener mejores resultados.

Bravo Silva y Cardona Arango (2009). Realizaron un estudio titulado **“OBTENCION DE UNA FORMULACION DE BARNIZ CON BASE EN ACEITE DE SOYA A ESCALA DE LABORATORIO”** en la Universidad EAFIT, Escuela De Ingeniería Departamento De Procesos Medellín. Con el objetivo de obtener una formulación de barniz con aceite de soya a escala de laboratorio mediante diseño de experimentos, se desarrollaron cuatro formulaciones de barniz en las que cuentan con aceite de soya refinado, aceite de linaza, aditivos secantes (octoatos de calcio, manganeso, circonio y cobalto) y pigmento natural como Paprika; el porcentaje de estos componentes varia para cada formulación. De las cuatro formulaciones, la que mejor formación de película, menor tiempo de secado y mejor adherencia presentó fue la formulación 2 (1,5% total de octoatos, 71,8% de Aceite de Soya y 26,8% de aceite de linaza) presento buena formación de película de recubrimiento. Esta formulación se sometió a pruebas de densidad, viscosidad, estabilidad y porcentaje de sólidos donde el barniz formulado presento estabilidad durante un lapso de tres meses, a diferencia del barniz comercial. Al hacer el estudio de margen de beneficio (Profit Margin) se observó que el

proyecto era económicamente rentable, ya que el margen de contribución fue positivo.

Gonzales Andrés, (2009) realizó un ensayo monográfico titulado **“SUSTITUCION DE RESINA MEDIA DE SOYA POR RESINA MEDIA DE CAFÉ EN LA FABRICACION DE PINTURAS ALQUIDICAS”**, para optar el título de Ingeniero Químico Industrial en la Universidad Rafael Landivar – Guatemala; con el objetivo de darle una mejor disposición al desperdicio de café y así mismo justificar la extracción del aceite en la cual se basó en la investigación de Pineda (2004), además en la industria de pinturas esta resina es una alternativa más para la producción de sus pinturas. En la investigación dada se encontró que la sustitución propuesta representa ahorros mensuales. Por lo que técnica y operativamente es factible la sustitución de la resina de café propuesta, ya que brinda mejores resultados que las resinas que hoy por hoy se utilizan en el mercado de pinturas.

Correa Juan y Restrepo Erika (2007) realizaron un trabajo de investigación titulado **“ANALISIS DE ALTERNATIVAS EN LAS CONDICIONES DE PROCESO Y SU EFECTO EN EL TIEMPO DE ESTERIFICACION Y EL CONSUMO ENERGETICO EN LA PRODUCCION DE RESINA ALQUIDICA”** para optar el título de Ingeniero de procesos en la Universidad EAFIT, Medellín - Colombia;

con el objetivo de analizar alternativas en las condiciones de proceso, su efecto en el tiempo de esterificación y el consumo energético en la producción de resinas alquídica. Para ello realizaron un estudio preliminar con el tiempo de calentamiento, la temperatura de cambio de flujo de Nitrógeno en la etapa de calentamiento a través de la masa y la temperatura de adición de xilol en la que se analizó cuáles de estas variables son más significativas sobre el tiempo de esterificación para la realización del diseño de experimentos final, se encontró que el flujo de nitrógeno debe aumentarse a los 160°C, se debe calentar la mezcla de reacción desde la temperatura ambiente hasta 180°C en un tiempo de 2h 10min y la temperatura de adición de xilol no debe ser inferior de 165°C. El balance de energía realizado al reactor permitió observar que el calor suministrado por el aceite térmico es el parámetro de mayor valor. Mientras el trabajo de eje suministra 0,043 W. el aceite térmico suministra 1391,726 W.

2.2 Marco conceptual

2.2.1 Utilización de los aceites en las pinturas

La fabricación de pinturas utiliza aceites vegetales desde hace mucho tiempo. Por muchos años las pinturas para uso doméstico también se fabricaron a base de estos materiales, por ejemplo, el mejor imprimador para proteger el acero estructural se obtenía del

minio dispersado del aceite de linaza, estas pinturas eran de secado lento y a veces producían películas demasiado débiles que se deterioraban fácilmente. En los años cuarenta y cincuenta se desarrollaron resinas o polímeros cuyo rendimiento era superior, tanto en términos de rapidez de secado como de la resistencia al medio ambiente, llamados resinas alquídicas, se fabrican a base de aceites vegetales naturales mezclados químicamente con componentes de una resina de poliéster, que posee grandes ventajas sobre el aceite como aglutinante de las pinturas (Nicks, 1990).

En los aceites el contenido de proporción de ácidos grasos saturados e insaturados determina en gran parte las propiedades de la resina resultante. La función de los aceites vegetales naturales en la tecnología alquídica tiene tres facetas. Proporcionan un mecanismo por el cual la película seca. Así mismo, cambian la solubilidad de los poliésteres, normalmente solubles en costosos solventes de ésteres y acetona, de manera que se disuelvan en solventes más económicos de hidrocarburos, como el xileno. La tercera ventaja es que ayudan a controlar los parámetros de polimerización del poliéster durante el proceso de manufactura (Nicks, 1990).

son los aceites naturales para ello podemos apreciar en el cuadro 2.1 sus constantes físicas y composición de algunos aceites.

CUADRO 2.1

CONSTANTES FÍSICAS Y COMPOSICIÓN DE ACEITES

ACEITE	DENSIDAD 15°C	ÍNDICE DE REFRACCIÓN 20°C	COEFICIENTE SAPONIFICACION	ÍNDICE YODO	VISCOSIDAD ENGLEER 20°C	COMPOSICIÓN EN ACIDOS (%)
MADERA	0,93-0,944	1,503	190-7	149-70	39-41	Saturados,4. Oleico,5. Oleostearico,90
PALMA	0,891-0,899	1,4554-1,456	190-209	50-55		Palmitico,43,5 Oleico, 36,6 linoleico, 9,100 Alinolenico, 0,200
SOJA	0,922-0,934	1,473	192-4	121-38	8-9	Oleico,30 Linoleico,53 Linolenico,5 Grasos sat.,12
LINAZA	0,930	1,480	191-5	182-90	6,8-7,4	Oleico,5 Linoleico.15 Linolenico.15 Isolinolenico.6.
RICINO	0,960-74	1,478-9	175-86	82-88		Ricinoleico,88 Oleico,7 Linolenico,3 Grasas sat.,2
GIRASOL	0,924	1,475	188-94	122-35	13,1-13,2	Linolenico, Oleico, palmitico
COCO	0,928	1,441(60°C)	246-58	8,6-9,4		Laurico,45 Miristico,20 Caprilico,9 Estearico,9 Caproico,2 Palmitico,7 Oleico,2
PESCADO	0,94	1,481	170-190	175-185		Palmitica,18,54 Oleico,12,20 Linoleico, 13,70 Miristico,6,09

FUENTE: (Porras, 1966)

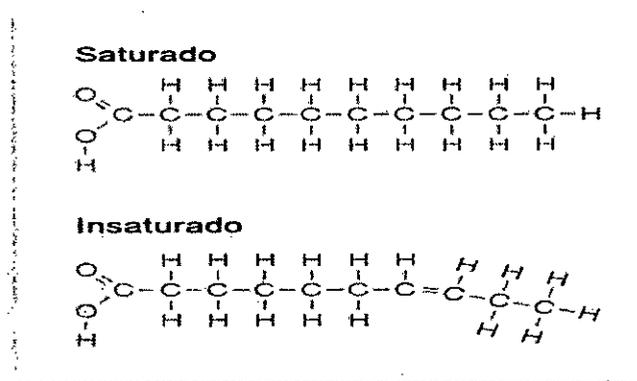
2.2.3 Ácidos grasos

Los ácidos grasos encontrados en la naturaleza contienen entre 8 y 24 átomos de carbono y pueden tener una estructura lineal o ramificada. La mayoría de los aceites existentes, contienen ácidos C_{18} , estos ácidos de 18 carbonos contienen diversos niveles de no saturación o enlaces dobles (Walker, 2002).

Los ácidos grasos determinan las características de los aceites según sean saturados (no tienen dobles enlaces) o insaturados (que tienen uno o más dobles enlaces entre los átomos de carbono) así como se puede apreciar en la figura 2.2 (Calvo, 2014).

FIGURA 2.2

TIPOS DE ÁCIDOS GRASOS



FUENTE: (Dias, 2010).

En la que estudios realizados caben señalar que en cuanto mayor es la insaturación del ácido graso mayor es la capacidad secante de los aceites correspondientes. Los aceites saturados e insaturados que se utilizan comúnmente en las fórmulas de resinas alquídicas son los siguientes que se muestra en el cuadro 2.2 (Calvo, 2014):

CUADRO 2.2

ACEITES SATURADOS E INSATURADOS

ACEITES SATURADOS	ACEITES INSATURADOS
<ul style="list-style-type: none"> - Aceite de Coco - Aceite de Palmiste 	<ul style="list-style-type: none"> - Aceite de Linaza - Aceite de Soya - Aceite de Resina de Trementina - Aceite de Cártamo - Aceite de Girasol - Aceite de pescado

FUENTE: (Nicks, 1990).

Características de los ácidos grasos

Los ácidos saturados en los aceites más comunes son el láurico (C12), el palmítico (C14) y el esteárico (C-18). También tienen ácidos

grasos insaturados más comunes de la mayor parte de los aceites insaturados (NICKS, 1990):

- Ácido oleico con 18 C, ácido cis, 9-octadecenoico.
- Ácido linoleico con 18 C, ácido cis-cis,9-12-octadecadienoico
- Ácido linolénico con 18 C, ácido cis-cis-cis,9-12-15 octadecatrienoico.

Los ácidos grasos insaturados tienen una propiedad fundamental en la industria de pinturas. Esta radica en su capacidad de reaccionar espontáneamente con el oxígeno atmosférico a temperatura ambiente para formar hidroperóxidos. Estos hidroperóxidos se pueden descomponer utilizando los catalizadores adecuados (secantes) para producir radicales libres, los cuales, mediante una serie de complejos mecanismos, pueden conducir a la formación de reticulaciones químicas entre las cadenas de los ácidos grasos y por lo tanto controlan el secado de la película de pintura. La tasa de formación de peróxidos depende del grado de insaturación de los ácidos grasos presentes en el aceite (Nicks, 1990 y Jalani, 1993).

Las insaturaciones de los aceites debido a los ácidos grasos que los forman se pueden determinar por el índice de iodo, cuanto más elevado sea este, mayor será la capacidad de secado. También juega

un papel importante la posición de las insaturaciones: si estas son conjugadas, o sea que afecten a átomos de carbono alternos, aumenta la capacidad secante del aceite (Calvo, 2014).

Clasificación de los aceites

La presencia de enlaces saturados e insaturados según Calvo (2014) permite clasificar los aceites en:

- **Secantes:** son ricos en ácidos grasos insaturados (di y poli, superior al 70%), en proporciones variables de ácidos grasos moninsaturados (aproximadamente 15%) el nivel de ácidos grasos saturados es inferior al 5%. El índice de iodo oscila entre 150 y 200.
- **Semisecantes:** son ricos en ácidos grasos insaturados, contienen aproximadamente el 70% de ácidos grasos biinsaturados. El índice de iodo está comprendido entre 100 y 150.
- **No secantes:** incluyen mezclas ricas en ácidos grasos saturados, en contenidos porcentuales del 90%; la participación de monoinsaturados es baja, inferior al 1.

En el cuadro 2.3 se muestra los diferentes ácidos grasos separados según su secatividad.

CUADRO 2.3

SECATIVIDAD DE UN ÁCIDO GRASO

CARACTERÍSTICAS DE LA SECATIVIDAD	ÁCIDO GRASO	ESTRUCTURA
No secante	Oleico	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$
	Ricinoleico	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_5-\text{CHOH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$
Semisecante	Linoleico	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_4-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$
Secante	Isámico	$\text{CH}_2=\text{CH}-(\text{CH}_2)_4-\text{C}\equiv\text{C}-\text{C}\equiv\text{C}-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$
	Linolenico	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$
Secante rápido	Licanico	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_3-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_4-\text{CO}-(\text{CH}_2)_2-\text{COOH}$
	Eleostearico	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_3-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}=\text{CHCH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$

FUENTE: (Carpena, 2006 y Giudice y Pereyra, 2009)

2.2.4 Composición de algunos aceites en la formulación de pinturas

En el cuadro 2.4 según estudios realizados se puede ver los ácidos grasos que contienen diversos aceites utilizados en la fabricación de resinas para la elaboración de pinturas.

CUADRO 2.4

COMPOSICIÓN PORCENTUAL DE ÁCIDOS GRASOS EN ALGUNOS ACEITES

	Saturado	Oleico	linoleico	linolenico	ricinoleico
Linaza	10	22	16	52	
Cártamo	11	13	75	1	
soya	15	25	51	9	
Girasol	11	51	38		
Oliva	12	83		5	
Ricino	3	7	3		87
Coco	91	7	2		

FUENTE: (Calvo, 2014).

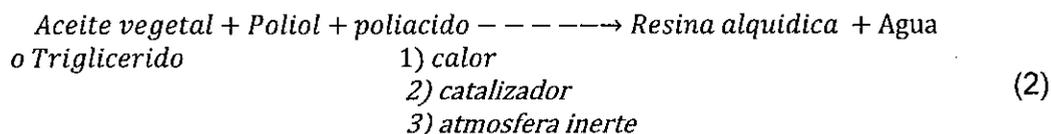
2.2.5 Resinas alquídicas

Las resinas alquídicas o “alquid” es un polímero derivado de la reacción de polioles y poliácidos el cual se aplica exclusivamente a productos modificados con ácidos grasos naturales o sintéticos mientras que los materiales no modificados se denominan comúnmente poliésteres. La parte de la resina de la molécula en película de pintura le confiere características de dureza y de resistencia mientras que el ácido graso regula la flexibilidad, adhesión y solubilidad en disolventes de bajo costo (Giudice y Pereyra, 2009).

Las resinas alquídicas son todavía el ligante de mayor consumo utilizado en el sector de pinturas. Su utilización es básicamente en la fabricación de esmaltes sintéticos, barnices, imprimaciones anticorrosivas, etc. La selección de los reactivos de la formulación define las propiedades físicas, químicas y funcionalidad, ya que estos aportan las variables fundamentales (Calvo, 2014).

2.2.6 Reacciones químicas involucradas en la preparación de resinas alquídicas

Lo que distingue a las resinas alquídicas de otros poliésteres, es la presencia de un monoácido como parte importante de su composición. La reacción básica de la preparación de cualquier alquídico es la esterificación. Por ello la unión que caracteriza a las resinas alquídicas es la unión éster, esta se obtiene por la reacción de un grupo carboxilo (COOH) con un grupo hidroxilo (-OH) con la consiguiente formación de un éster (-COOC-) y liberación de agua; en forma general se representa en la ecuación (2) (Barrios, 1997).

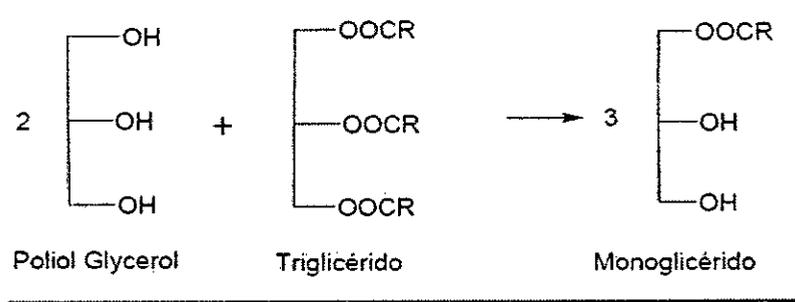


Cuando la resina alquídica se obtiene a partir de aceites vegetales o triglicéridos, puede dividirse en dos reacciones independientes; esto es, una reacción monoglicérida, también llamada de alcoholisis y una reacción de esterificación.

a) Reacción monoglicérida (o de alcoholisis)

La reacción monoglicérida es una alcoholisis parcial de un triglicérido y un glicerol, así como se muestra en la figura 2.3, y tiene varios propósitos. Una de ellas es que la resina alquídica final sea más uniforme en su estructura molecular; es decir, que las moléculas de ácidos grasos sean consistentes en su unión al polialcohol. Otro es que si, por ejemplo, un poliol y anhídrido ftálico se agrega al aceite simultáneamente, se forma cantidades substanciales del compuesto poliol-ftalato, el cual afectaría el desarrollo de la síntesis. Por otro lado, si no se da la reacción de monoglicérido tendría lugar a una serie de estallidos en la que no se daría la reacción entre el poliacido y monoglicérido al cual influenciaría en el control termostático de la reacción química en sí (Barrios, 1997).

FIGURA 2.3
REACCIÓN MONOGLICÉRIDA



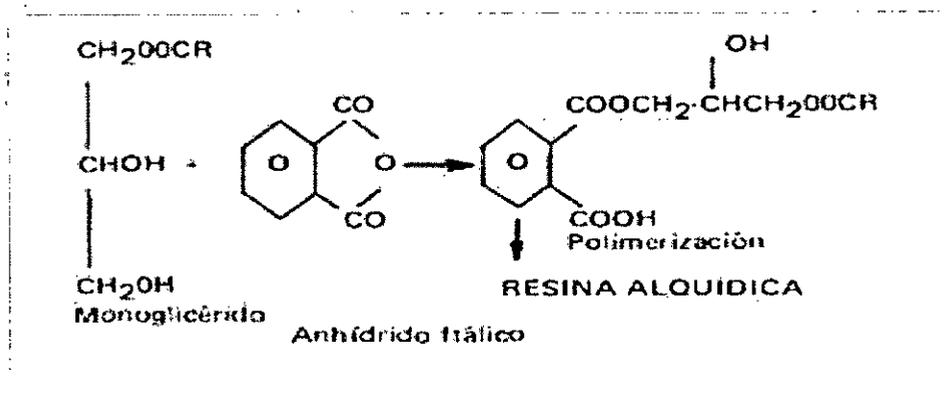
FUENTE: (Olivares, 2015).

b) Reacción de esterificación (o policondensación)

Esta reacción se lleva a cabo después de la reacción monoglicérida. Desde el punto de vista técnico, pero también químico la reacción monoglicérida es la que sirve de preparación para la subsiguiente reacción de esterificación, durante el cual forma el polímero, por esta razón es llamada también reacción alquídica o de polimerización, el cual se puede representar en la figura 2.4 (Barrios, 1997).

FIGURA 2.4

REACCIÓN DE ESTERIFICACIÓN



FUENTE: (Alonso, 2013).

2.2.7 Clasificación de las resinas alquídicas

En la industria de las pinturas generalmente clasifica a las resinas alquídicas sobre la base de contenido de aceite en los rangos que se muestra en el cuadro 2.5. El nivel de aceite influye sobre el mecanismo de curado, la solubilidad de disolventes, forma de aplicación, propiedades químicas y mecánicas de la película, compatibilidad con otros componentes, costo, etc. (Calvo, 2014).

CUADRO 2.5

RESINAS ALQUÍDICAS SEGÚN EL CONTENIDO DE ACEITE

	Cortas	Medias	Largas
Longitud de aceite	<45%	45%-55%	55%-90%

FU

ENTE: (Calvo, 2014).

Resinas largas en aceite

Secan a temperatura ambiente por oxidación y se utilizan en la elaboración de barnices, esmaltes e imprimaciones. Tienen un secado lento, buen brillo, baja dureza, buena flexibilidad y excelente aplicación a brocha.

Resinas medias en aceite

Pueden secar por oxidación a temperatura ambiente o aceleradas a temperaturas medias. Poseen una buena capacidad de secado dando películas con buen brillo y una flexibilidad y dureza aceptables.

Resinas cortas en aceites

Las resinas de contenido de bajo nivel de aceite curan con el oxígeno del aire forzado por el calor (horneado).

2.2.8 Fabricación de Resinas Alquídicas

Para la preparación de resinas alquídicas existen 2 procesos distintos, dependiendo si se utiliza aceites y ácidos grasos.

En el proceso con monoglicérido, se adiciona una mezcla de aceite y glicerina u otros polioles, se calientan hasta alrededor de 230-250°C en presencia de un catalizador de transesterificación. Esta reacción inicial resulta en una mezcla de tri, di, mono- glicéridos y poliol sin reaccionar. En este punto se agrega el anhídrido ftálico. Si se agrega el anhídrido ftálico antes ocurre la gelación de la resina ya que es insoluble en aceite, pero soluble en glicerina. La mezcla se calienta a aproximadamente 200-250°C y se remueve el agua para llevar la reacción al grado deseado de característica final, determinado por el valor ácido, el xilol se usa generalmente para remover azeotrópicamente el agua. La reacción dada se lleva a cabo muy por arriba del punto de ebullición del solvente, solo se utiliza una muy pequeña cantidad (Walker, 2002).

El proceso con ácido graso se tiene que usar para preparar alquídicas sin glicerina. Este es un proceso de un paso en el cual se combinan juntos los ácidos grasos, los ácidos dibásicos y el poliol, y se remueve el agua de igual forma que la segunda parte del proceso

con monoglicéridos. En el mercado los ácidos grasos (excepto por el TOFA) son más caros que los aceites (Walker, 2002).

2.2.9 Ingredientes de las resinas alquídicas, características y las propiedades que imparten al polímero final

Dependiendo del tipo de ácido, del poliol y de los aceites y ácidos grasos utilizados, las características de la resina alquídica varían de forma sustancial en cuanto a sus características finales.

a) Aceites y ácidos grasos

Están constituidos por ésteres mixtos de diversos ácidos grasos y glicerina. En cuanto a la influencia de los aceites en las resinas para forzar un film, solo una propiedad es interesante: su secatividad, es decir, la facultad de polimerizar, que a su vez depende del número de dobles enlaces del ácido graso, de la conjugación de los mismos y del porcentaje de cada ácido presente en el aceite (Porrás, 1966).

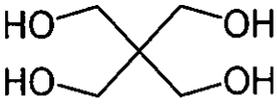
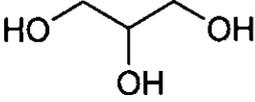
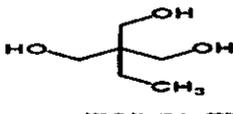
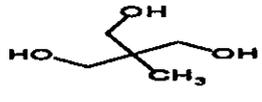
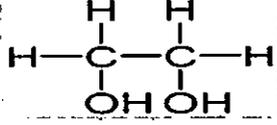
b) Polioles

Los más importantes polioles son: glicerina, pentaeritritol, glicoles.

- **PENTAERITRITOL:** Es uno de los polioles más importantes; los cuatro grupos hidroxilo en su estructura lo hacen versátil, lo que permite elevar el peso molecular y obtener esmaltes con un tiempo de secado menor y mayor dureza, flexibilidad, retención de color y brillo, resistencia al amarilleo y durabilidad a la intemperie que las basadas en glicerina. Para la elaboración de una resina con Pentaerititol requiere más cuidado y control ya que puede haber riesgo de gelación (Giudice y Pereyra, 2009).
- **GLICERINA:** La glicerina, de origen natural, con tres grupos funcionales es quizás el más utilizado pese a que otros polioles un mayor número y mayor reactividad que se encuentra en todos los cuerpos grasos como base de su composición (Giudice y Pereyra, 2009).

CUADRO 2.6

POLIOLES EMPLEADOS PARA LA SÍNTESIS DE RESINAS
ALQUÍDICAS

NOMBRE COMÚN	PESO MOLECULAR	PESO EQUIVALENTE	FORMULA QUIMICA
Pentaeritrol	136	34	
Glicerina	92	31	
Trimetilol propano	164	44-7	
Trimetilol etano	120	40	
Etilenglicol	62	31	

FUENTE: (Giudice y Pereyra, 2009)..

c) Catalizador

La presencia de pequeñas cantidades de catalizador, hasta de un 10%mol del total del ácido dibasico en la formulación de la resina, acelera el crecimiento de la viscosidad durante el proceso

de manufactura de la resina. Además, las resinas generalmente se secan más rápidamente, y producen películas más fuertes con mejoras en su color, adhesión, resistencia al agua, resistencia a los álcalis, y durabilidad en la intemperie. Sin embargo, el proceso de cocción debe monitorearse y controlarse con mayor cuidado, particularmente cuando la resina se acerca al punto final deseado, para prevenir la gelación (Giudice y Pereyra, 2009).

d) Poliácidos

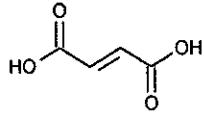
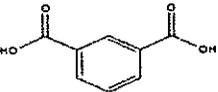
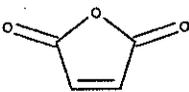
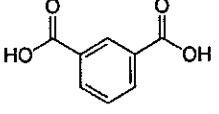
Los poliácidos que han tenido un empleo realmente industrial son: anhídrido ftálico, anhídrido maleico, ácido adípico, sebácico y succínico.

- **Anhídrido ftálico ($C_6H_4(CO)_2$):** Es el ácido polibásico más importante en la preparación de resinas alquídicas debido a su bajo costo y las excelentes propiedades que le confiere la resina. Los dos grupos carboxilo del anhídrido ftálico se encuentran en la posición orto uno del otro, es decir, contiguos y que tienden a formar cadenas cíclicas que como consecuencia dan pesos moleculares limitados. Los correspondientes diácidos cuyos grupos funcionales no son contiguos (meta y para), como el isoftálico y terftálico, permiten la obtención de moléculas de peso molecular elevado y viscosidades más altas, mejores características de

secado, y proporcionan películas más duras (Porras, 1966 y Calvo, 2014).

CUADRO 2.7

POLIÁCIDOS EMPLEADOS PARA LA SÍNTESIS DE RESINAS ALQUÍDICAS

Ácido isoftálico	
Anhídrido ftálico	
Anhídrido maleico	
Ácido fumarico	

FUENTE: (Giudice y Pereyra, 2009).

2.2.10 Variables del proceso durante la fabricación de la resina

Las variables temperatura de reacción, adición de catalizador, adición de solvente azeotrópico (xilol), flujo de gas inerte en la mezcla de reacción, velocidad de reacción, tiempo de calentamiento Y orden

de adición de los reactivos; contribuyen a acelerar el proceso de deshidratación de la resina, es decir, la correcta eliminación del agua producida en la reacción de esterificación promueve la formación del éster (la resina alquídica).

Temperatura de esterificación

La temperatura de reacción es distinta para cada fórmula, el aumento de la temperatura contribuye a la eliminación del agua en la primera etapa de reacción para eso es necesario adicionar un solvente azeotrópico y gas inerte a la mezcla de reacción. La selección de la temperatura de reacción adecuada al proceso de esterificación requiere de un estudio detallado de modo que esta no sea tan baja que impida la producción de resina a un tiempo razonable y que no sea tan elevada que cause descomposición de la resina, decoloración y/o pérdida excesiva de material volátil como el xilol y poliácidos (Correa y Restrepo, 2007).

Orden de adición

En la fabricación de alquídicas a partir de aceites glicéridos, se adiciona primero la glicerina y el aceite para formar una estructura de monoglicérido por alcoholisis del aceite glicérido con poliol adicionado. La alcoholisis convierte las fases insolubles del poliol y del glicérido en una sola fase homogénea de monoglicérido. Este es

un solvente para que el poliácido adicionado en el siguiente paso que es la esterificación del monoglicérido (Correa y Restrepo, 2007).

Gas inerte

El uso de gas inerte es esencial para la producción satisfactoria de resinas alquídicas. A través del empleo de gas inerte con solvente azeotrópico (xilol) se puede obtener una resina que tendrá propiedades con valor ácido adecuado, buen color, rápido secado al aire. Los estudios han demostrado que tanto el nitrógeno como el dióxido de carbono da resultados satisfactorios. (Carpena, 2006 y Correa y Restrepo, 2007).

Agitación

Es un factor altamente importante en la alcoholisis y el procesamiento de resinas alquídicas. Una agitación completa y controlada es necesaria debido a la inmiscibilidad de varios ingredientes y debido a que la velocidad de la reacción química depende del movimiento de todas las moléculas. La agitación puede ser llevada a cabo mediante el uso de una paleta o una turbina.

La falta de agitación conlleva a conocimientos anormalmente largos y a resinas de inferior calidad. La agitación puede ser llevada a cabo por medios mecánicos, pero también a través de la inyección de gases (burbujeo de un gas inerte a través de la mezcla de reacción),

el burbujeo ayuda a liberar subproductos de la reacción (agua) y algunos contaminantes como el aire, los cuales promueven el desarrollo de color en las resinas alquídicas debido a oxidantes laterales (Correa y Restrepo, 2007).

Adición de solvente

El principal efecto del solvente en el sistema es elevar la presión de vapor de los componentes volátiles a un valor tal que conlleve a la aceleración de la velocidad de eliminación de agua en el reactor (Correa y Restrepo, 2007).

Se utiliza xilol como solvente azeotrópico por las siguientes razones:

- El xilol y el agua son insolubles por lo que la separación de la fase acuosa de la orgánica ocurre rápidamente, permitiendo un reciclo de xilol.
- El xilol solubiliza el anhídrido ftálico que se sublima y se condensa en las partes frías del reactor, permitiendo luego que reaccione en el sistema al ser recirculado nuevamente.
- No es necesario destilar el xilol de la mezcla de reacción ya que puede formar parte del producto final.

- El uso de este solvente reduce el tiempo de esterificación de un 30 a un 50%.

Efecto y selección del catalizador

En orden de convertir aceites(triglicéridos) a mono y digliceridos, un catalizador es deseable. Los siguientes materiales son satisfactorios para varias formulaciones: oxido de plomo, calcio, bario y cinc; hidróxido de calcio, bario y sodio; naffenatos de plomo, calcio, sodio, cinc, bario, litio y cerio; resinatos de plomo, cinc, calcio y bario. El tipo de catalizador empleado, así como la cantidad del mismo tienen un efecto importante en la velocidad de conversión de monogliceridos, la cantidad de catalizador a usar esta usualmente basado en la cantidad de polialcohol (Correa y Restrepo, 2007).

2.2.11 Análisis fisicoquímicos de los aceites

Índice de Acidez

El índice de acidez se define como el número de miligramos de KOH que se requieren para neutralizar los ácidos grasos libres contenidos en 1 gramo de aceite (Zamora, 2015).

En la determinación se emplea como disolvente un alcohol etílico, debe hacerse una buena agitación para garantizar la solubilización de todos los ácidos grasos libres y una buena distribución del indicador antes de realizar la valoración, el cambio de color se observa en la

fase alcohólica, que puede ser representada por la ecuación (3). La acidez tiene importancia en los aceites comestibles, porque no puede contener ácidos grasos libres más allá de un límite dado (Medina, 2010 y NTC 218, 1999).

- **Reacciones químicas**



Fórmula para determinar el índice de acidez:

$$IA = \frac{PM_{a.graso} \times v \times N}{m}$$

$PM_{a.graso}$ = masa molecular del ácido graso

v = volumen de solución de hidróxido de sodio empleado en el ensayo en ml

N = normalidad de la solución de hidróxido de sodio empleado en el ensayo

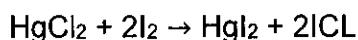
Índice de iodo

Es la medida de insaturaciones presentes en los ácidos grasos que conforman un triglicérido, y por tanto está también relacionado con el punto de fusión o dureza y densidad de la materia grasa es expresado en términos del número de centigramos de iodo por gramo de muestra

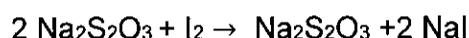
(porcentaje de iodo por peso de iodo absorbido), su determinación es útil para para caracterizar diferentes aceites y para describir si están o no mezclados. Su importancia radica en que es una propiedad química relacionada con la insaturación, con el Índice de Refracción y con la densidad: a mayor índice de yodo, mayor índice de refracción y mayor densidad (Medina, 2010 y NTC 283, 2002).

Reacciones Implicadas en el índice de yodo:

- **Reactivo de wijs**



- **Reacción del tiosulfato de sodio con el yodo**



Fórmula para determinar el índice de iodo:

$$\text{INDICE DE iodo} = \frac{(B - A) \times N \times 12.69}{W}$$

B = ml, usados de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ para la titulación del blanco

A = ml, usados de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ para la titulación de la muestra

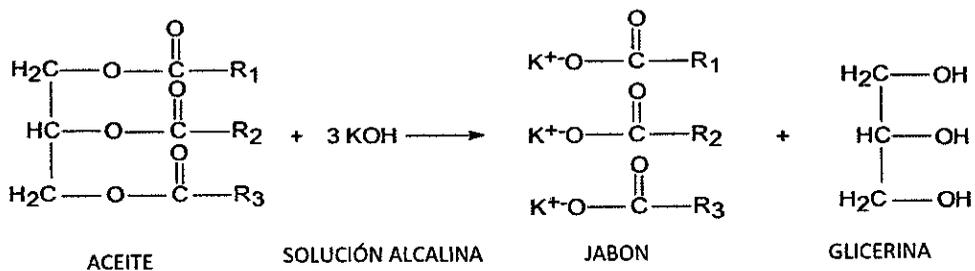
12,69 = constante

W = peso de la muestra en g.

Numero de saponificación

Según la norma respectiva se define el índice de saponificación como el número de miligramos de hidróxido de potasio que se requieren para saponificar 1g de aceite (Zamora, 2015). En este método se hace saponificar una cantidad en exceso de hidróxido de potasio con cada uno de los ácidos grasos presentes en el triglicérido, titulándose luego, el exceso de KOH con un ácido fuerte de concentración conocida, la reacción que se forma se puede apreciar en la figura 2.5 (De Lo Santos, 2012 y NTC 335,1998).

FIGURA 2.5
REACCIONES IMPLICADAS EN EL ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN



FUENTE: (Marambio, 2012).

- Fórmula para determinar el número de saponificación:

$$N^{\circ} \text{ DE SAPONIFICACION} = \frac{(B - A) \times N \times 56.1}{W}$$

B = volumen gastado en la prueba en blanco

A = volumen gastado en la muestra problema

N = normalidad del H_2SO_4

W = peso de la muestra en g.

2.2.12 Velocidad de reacción

La velocidad de reacción es la cantidad de sustancia que reacciona en una determinada unidad de tiempo. Esta velocidad no es constante. Al principio la concentración de reactivos es mayor, y la probabilidad de que se den choques entre las moléculas de reactivo, por lo que la velocidad será mayor, a medida que la reacción avanza, la concentración ira disminuyendo y con ello también la velocidad (Caneda, 1978).

Ecuación de velocidad y orden de reacción:

$$v = k [A]^m [B]^n$$

Los exponentes m y n son el orden de la reacción con respecto al reactivo A y el orden de la reacción con respecto al reactivo B respectivamente (Caneda, 1978).

El orden total de la reacción es = m + n

- **Factores que afectan a la velocidad de una reacción química**

Temperatura

Si aumentamos la temperatura, también aumenta la velocidad a la que se mueven las partículas y, por tanto, aumentará el número de colisiones. El resultado es una mayor velocidad en la reacción.

Grado de pulverización de los reactivos

La reducción de tamaño aumenta enormemente la velocidad de reacción, ya que facilita el contacto entre los reactivos y, por tanto, la colisión entre las partículas.

Naturaleza química de los reactivos que intervienen en la reacción

La naturaleza de los reactivos está relacionada con la energía de activación.

- Muy alta, y entonces será muy lenta.
- Muy baja, y entonces será muy rápida.

Concentración de los reactivos

La concentración de los reactivos está relacionada con la velocidad, cuanto mayor sea su concentración, más alta será la velocidad de la reacción en la que participen, al haber más partículas en el mismo espacio, aumentará el número de colisiones.

Catalizadores

Los catalizadores son sustancias que facilitan la reacción modificando el mecanismo por el que se desarrolla. En ningún caso el catalizador provoca la reacción química; no varía su calor de reacción.

El orden de reacción se determina experimentalmente y puede ser un número fraccionario o negativo.

- **Tratamiento de datos cinéticos**

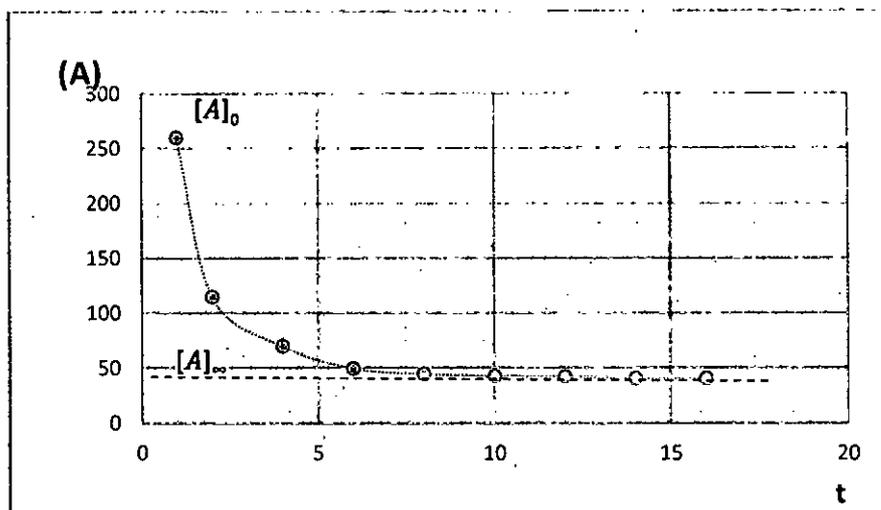
Método integral

Consiste en integrar la expresión diferencial de la velocidad de reacción $v = \frac{d[C]}{dt} = k[A][B]$, esta ecuación relaciona la concentración con el tiempo de reacción (Caneda, 1978).

Al determinar la concentración de un reactivo en distintos intervalos de tiempo, éstos pueden ser representados de manera gráfica en el gráfico 2.1:

GRAFICO 2.1

CONCENTRACIÓN DE UN REACTIVO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO



FUENTE : (Caneda, 1978).

En el instante $t=0$ la concentración del reactivo es $[A]_0$.

La concentración $[A]_\infty$ corresponde a un valor de tiempo infinito.

Por definición la velocidad de reacción es: $v = \frac{-d[A]}{dt}$, negativo por representar A un reactivo.

Por tanto, la pendiente de la curva en cada punto con el signo cambiado es la velocidad de reacción correspondiente a ese instante (Caneda, 1978).

- **Reacciones de un solo reactivo y de orden n**

Si la sustancia A sufre una transformación química en orden n su

ecuación de velocidad será: $\frac{-d[A]}{dt} = k[A]^n$

Si consideramos que:

$$[A] = [A]_0 - X$$

Donde x representa la disminución de $[A]_0$ hasta llegar a $[A]$ en el tiempo t se puede representar

$$v = \frac{-d[A]_0 - x}{dt} = \frac{dx}{dt} = k[[A]_0 - x]^n$$

Como $[A]_0 = \text{constante}$, $\frac{-d[A]_0 - x}{dt} = \frac{dx}{dt}$

Integrando estas expresiones de $\frac{dx}{dt}$ para diferentes valores de n, se obtienen los siguientes valores:

$$n = 1; k = \frac{1}{t} \ln \frac{[A]_0}{[A]_0 - x}$$

$$n = 2; k = \frac{1}{t} \left(\frac{1}{[A]_0 - x} - \frac{1}{[A]_0} \right)$$

$$n = 3 \text{ o mas }; k = \frac{1}{t(n-1)} \left(([A]_0 - x)^{1-n} - ([A]_0)^{1-n} \right)$$

(Caneda, 1978).

2.3 Definición de términos

- **Alcoholisis:** Es una reacción química que se produce entre un alcohol y un compuesto orgánico mediante la cual se consigue la ruptura de un enlace carboxílico. La molécula de alcohol se descompone para formar un nuevo compuesto de forma similar a la reacción de hidrólisis como por ejemplo la reacción entre un éster y un alcohol.
- **Constante de velocidad de reacción (K_v):** Nos indica la proporcionalidad entre la velocidad de reacción y la concentración y es dependiente de la temperatura.
- **Esterificación:** Se denomina esterificación al proceso por el cual se sintetiza un éster el cual es un compuesto derivado formalmente de la reacción química entre un ácido carboxílico y un alcohol.
- **Orden de reacción:** Nos representa la dependencia de la reacción con la concentración y puede ser número entero, fraccionario o cero.

- **Poliácido:** Los poliácidos son un resultado de la unión de dos o más moléculas de ácido con pérdida de una molécula de agua en cada unión .
- **Polialcohol:** Los polialcoholes, polioles o “alditales”, son sustancias cuya estructura consiste en una cadena carbonada con un grupo OH sobre cada uno de los carbonos. Los también llamados alcoholes de azúcar son utilizados como edulcorantes bajos en calorías.
- **Resinas alquídicas:** Una resina alquídica es un material polimérico derivado de la reacción de un poliol y un poliácido, y modificada con aceites y ácidos grasos naturales los principalmente insaturados.
- **Triglicéridos:** Son los constituyentes principales de los aceites vegetales y las grasas animales, están constituidos por tres moléculas de ácidos grasos unidas a una molécula de glicerol.
- **Velocidad de reacción:** Nos expresa el cambio en el avance de reacción con el tiempo.

III. VARIABLES E HIPÓTESIS

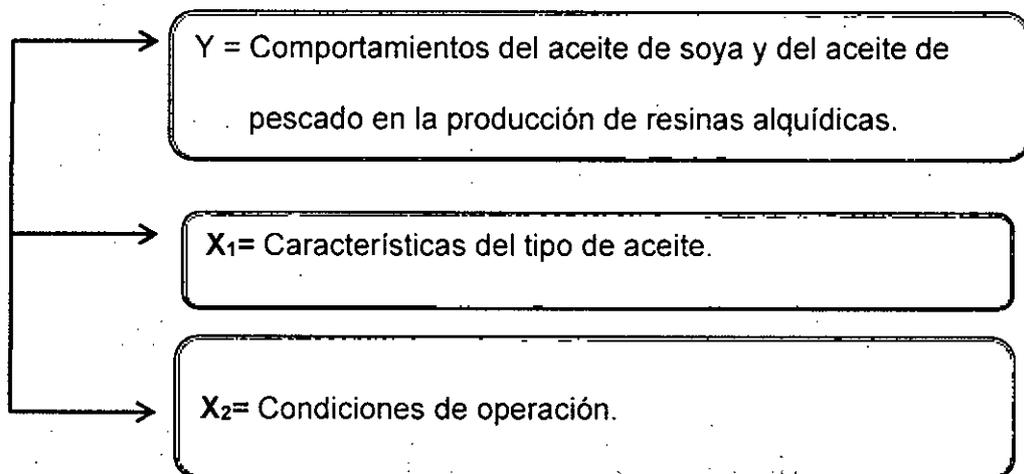
3.1 Variables de la investigación

El presente trabajo es Por su naturaleza, todas las variables identificadas son del tipo cualitativas y cuantitativas. Por su dependencia Y es dependiente, y las variables X1, X2 son independientes.

Es decir: $Y=f(X1, X2)$. La figura 3.1 muestra la relación entre las variables.

FIGURA 3.1

RELACIÓN DE LAS VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN



3.2 Operacionalización de variables

**CUADRO 3.1
OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES**

VARIABLES DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	METODO
Y=Comportamientos del aceite de soya y del aceite de pescado en la producción de resinas alquídicas.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Valor acido ✓ Tiempo ✓ Viscosidad 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ mg KOH/g. De muestra ✓ segundos ✓ ku 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Ensayos en el laboratorio.
VARIABLES INDEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	METODO
X ₁ = Características del tipo de aceite.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Índice de yodo ✓ Índice de acidez ✓ Índice de saponificación 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ g lodo/100 g de aceite. ✓ mg KOH / g. de aceite ✓ mg de KOH / g de aceite 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ NTC 283 ✓ NTC 218 ✓ NTC 335
X ₂ = Condiciones de operación.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Temperatura ✓ Cantidad de xilol ✓ Tipo de aceite 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ °C ✓ ml ✓ soya o pescado 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Ensayos en el laboratorio.

3.3 Hipótesis general e hipótesis específicas

Hipótesis General

Los comportamientos del aceite de soya y del aceite de pescado a distintas condiciones de operación nos permitirán conocer la constante de velocidad, orden de la reacción, viscosidad y el porcentaje de conversión.

Hipótesis Específicas

- a) Las características fisicoquímicas identificadas en los aceites son el índice de yodo, índice de saponificación, índice de acidez.

- b) Las condiciones de operación para la producción de resinas alquídicas dependen de la caracterización y tipo de aceite.

IV. METODOLOGÍA

4.1 Tipo de investigación

La presente investigación realizada es de tipo experimental, descriptivo y comparativo porque analizaremos la influencia de los aceites en el proceso de fabricación de las resinas.

4.2 Diseño de investigación

Las variables de proceso a tomar en cuenta para nuestro estudio serán:

- Tipo de aceite
- Cantidad de xilol de reflujo
- Temperatura de esterificación

CUADRO 4.1
VARIABLES DEL PROCESO

TIPO DE ACEITE		CANTIDAD DE XILOL (g.)		TEMPERATURA(°C)	
SOYA	PESCADO	$X_1 = 40$	$X_2 = 60$	$T_1 = 205$	$T_2 = 220$

Se realizó un diseño de experimentos factorial a 2 niveles y 3 factores con las variables seleccionadas a variar durante la etapa de reacción, lo cual según se calculó de la siguiente manera:

N° de corridas experimentales $=2^3 = 8$. corridas o ensayos.

En el cuadro 4.2 se muestra el orden de los ensayos realizados arrojados por el programa Minitab.

CUADRO 4.2
MATRIZ DE EXPERIMENTOS

N° de Ensayo	Temperatura (°C)	Cantidad de Xilol (g.)	Tipo de Aceite
1	205	40	soya
2	220	40	soya
3	205	60	soya
4	220	60	soya
5	205	40	pescado
6	220	40	pescado
7	205	60	pescado
8	220	60	pescado

FUENTE: Elaborado por el programa Minitab 17

Para estudiar la influencia de los aceites de soya y pescado en la elaboración de una resina alquídica, se analizará según los experimentos realizados la variable respuesta:

- ✓ Constante de velocidad
- ✓ N° de orden (n)
- ✓ Grado de conversión
- ✓ Viscosidad

Los experimentos se realizaron a nivel laboratorio para determinar los efectos de las variables mencionadas en el avance de reacción en el proceso de elaboración de la resina alquídica.

Este proceso se compone básicamente de 3 Etapas.

Etapas 1: caracterización de los aceites de soya y pescado.

En la primera etapa de la investigación se realizó la caracterización de los aceites de soya y pescado, se evaluó el índice de yodo e índice de saponificación.

Etapas 2: obtención de monoglicéridos.

En la segunda etapa se desarrolla el proceso de elaboración de los monoglicéridos conocido como etapa de alcoholisis.

Etapas 3: proceso de policondensación o esterificación

En la tercera etapa de la investigación se realizó el proceso de la policondensación o esterificación a temperatura constante en la cual se analizaron los parámetros de viscosidad y valor ácido para finalmente evaluar las características físicas y parámetros.

FIGURA 4.1
DIAGRAMA DEL PROCESO

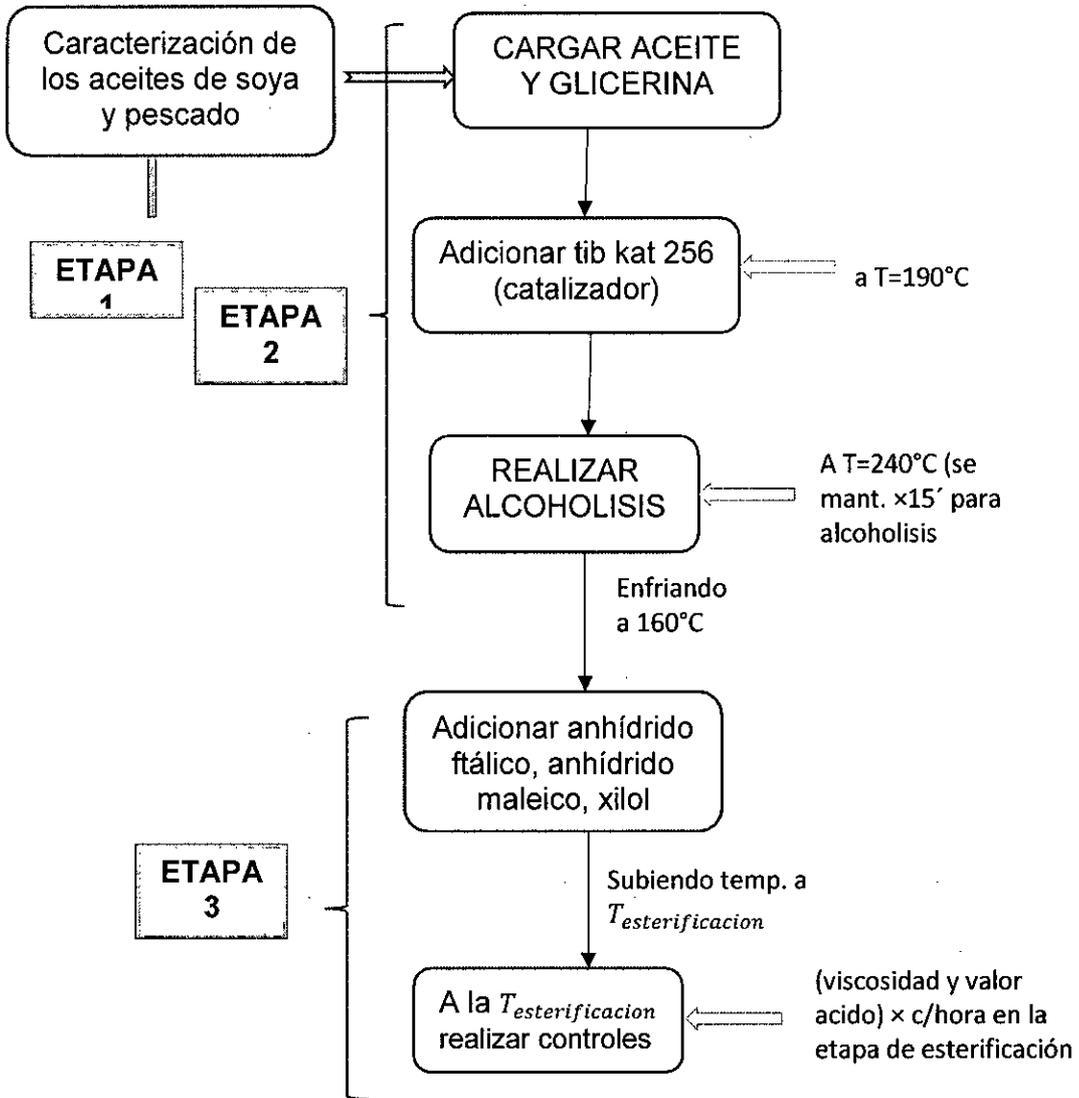
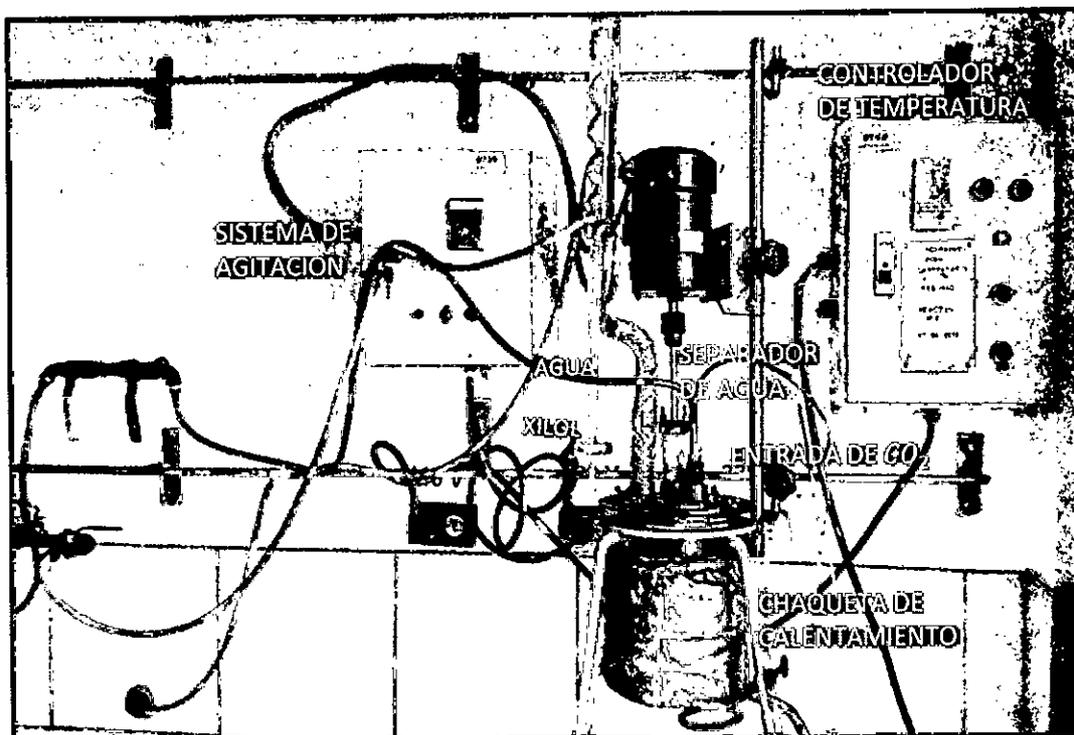


FIGURA 4.2
REACTOR BACHT A NIVEL LABORATORIO



Nota: Foto tomada en el Laboratorio de Investigación y Desarrollo de resinas, InterPaints.

4.3 Población y Muestra

El criterio de población no fue aplicable para la presente investigación, pero si es aplicable el criterio de muestra experimental.

Muestra Experimental:

- Cualitativamente: La muestra está representada por los aceites utilizados en las resinas alquídicas para ello el aceite de soya fue proveniente de la empresa ADM SAO

Perú y el aceite de pescado fue proveniente de la empresa Doil Quality s.a.c.

- Cuantitativamente: Se utilizó la cantidad de 476,20 g. de aceite de soya y 476,20 g. de aceite de pescado para cada ensayo realizado; para los 4 ensayos realizados con el aceite de soya se utilizó 1904,80 g. y para los 4 ensayos realizados con el aceite de pescado se utilizó 1904,80 g.

4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

ETAPA N°1

Técnica

- Índice de yodo
- Índice de saponificación

Instrumentos:

- Fiola de 50ml
- Fiola de 25 ml
- Vagueta
- Pipetas
- Vasos de precipitado
- Matraz Erlenmeyer de 500ml
- Probeta de 50 ml

Insumos:

- Ácido acético glacial
- Agua destilada
- Tetracloruro de carbono
- Solución de ioduro de potasio (150g/l)
- Tiosulfato de sodio 0,1N
- Solución indicadora de almidón
- Solución de WIJS.
- Solución de hidróxido de potasio 0,5N
- Fenolftaleína al 0,1%
- Solución neutra

ETAPA N°2**Reacción 1:**

- Reacción de Monoglicéridos

Instrumentos:

- Reactor de metal, 2kg de capacidad (reactor CSTR)
- Estufa
- Balanza analítica al 0,001g.

Insumos:

- Aceite de soya
- Aceite de pescado
- Glicerina
- Tib kat 256

ETAPA N°3

Reacción 2:

- Reacción de poli condensación o Esterificación

Instrumentos:

- Reactor de metal, 2kg de capacidad (reactor Batch)
- Bureta manual
- Colorímetro de Gardner (BYK TKD8-02)
- Viscosímetro de Gardner (BYK, astm d1725)
- Estufa
- Balanza analítica al 0,001g
- Bureta de 50mL con pinza de Mohr
- Tubos de ensayo Gardner
- Condensador de reflujo

Insumos o Reactivos

- Anhídrido ftálico
- Aguarrás
- xilol
- Fenolftaleína al 1%
- Solución neutra

4.5 Procedimientos de recolección de datos

Todas las experiencias fueron llevadas a cabo en un reactor batch, Los dispositivos para el sistema de control de prueba constan de un indicador de temperatura, una columna de condensación de reflujo y un sistema de agitación.

Durante la etapa experimental se controlaron las siguientes variables:

- ✓ Temperatura
- ✓ Valor ácido
- ✓ Viscosidad

4.5.1 Etapas que comprenden la prueba experimental

El control de prueba y operación experimental se ha planificado y desarrollado de la siguiente forma:

❖ Preparación de la resina en el reactor

La resina se realizó en un reactor batch provisto de un controlador de temperatura y agitación. En primer lugar, se ha obtenido la reacción de monoglicéridos para luego realizar la resina o reacción de esterificación en la cual se estudió la influencia de los dos aceites, de

soya y pescado en la cual se desarrolló con una misma fórmula y solo se varió 3 factores: temperatura, cantidad de xilol y tipo de aceite.

❖ **Temperatura de reacción**

Por conocimiento se sabe que cuando la temperatura se aumenta en la reacción favorece a elevar la constante de velocidad, por consiguiente, aumentar la velocidad de reacción.

Debido a esta experimentación la reacción se efectúa a 205-220°C, se hace dicha variación para poder diferencia la reacción entre las dos resinas con dos aceites distintos.

❖ **Cantidad de solvente**

La cantidad de solvente en la reacción de esterificación nos indica la cantidad de reflujo en la cual nos ayuda en la variación de valor ácido.

Para nuestras pruebas experimentales se tomó dos cantidades de xilol de 40- 60ml.

❖ **Tipo de aceite**

Para la realizar la influencia del aceite en el proceso de la fabricación de la resina se desarrolló con dos tipos de aceite: soya y pescado por la cual en el proceso de experimentación se obtendrá cual es más reactivo que el otro.

4.5.2 Procedimiento experimental

Primero se caracterizó los aceites de soya y pescado, para ello se realizó 2 análisis que son los más importantes para el desarrollo de la resina, que fueron el índice de yodo y saponificación.

Luego de caracterizar los aceites a utilizar se realizó el proceso de fabricación de la resina.

❖ Caracterización de los aceites

✦ Índice de iodo

- En un Erlenmeyer pesar una cantidad de muestra de acuerdo a la tabla adjunta (el peso es de suma importancia, ceñirse estrictamente a la tabla de pesos).
- Agregar 20 ml de tetracloruro de carbono CCl_4 , colocar la misma cantidad de CCl_4 en otro Erlenmeyer para el ensayo en blanco.
- Agregar 25 ml de solución de wijs a cada uno de los erlenmeyer, tapar los frascos con el fin de agitar bien, coloque los frascos en un lugar oscuro por 1 hora.
- Agregar 20 ml de KI (150g./ lt) y 100 ml de H₂O destilada.
- Titular con solución de tiosulfato de sodio ($Na_2S_2O_3$) 0,1N hasta que se torne un color amarillo pálido.

- Agregar 1-2 ml de solución indicadora de almidón hasta formar un color azul intenso, se adiciona unas cuantas gotas de tiosulfato de sodio hasta que el color azul desaparezca hasta incoloro.
- Repetir el procedimiento al Blanco.

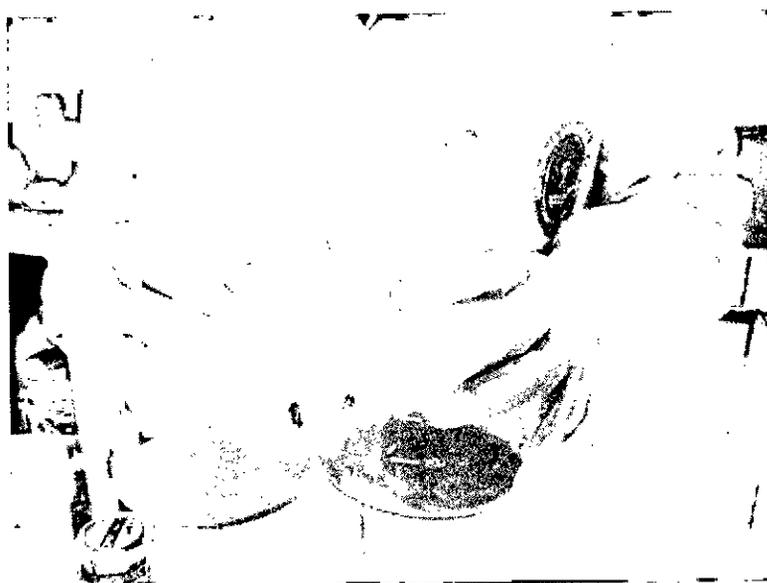
CUADRO 4.3
PESOS DE MUESTRAS

INDICE DE YODO	ACEITES NATURALES Y ACIDOS GRASOS DE 100 A 150% EXCESO DE REACTIVO	
Menos de 3	10	
3	8,4613	10,5760
5	5,0710	6,4360
10	2,5384	3,1731
20	0,8461	1,5865
40	0,6346	0,7935
60	0,4231	0,5288
80	0,3175	0,3969
90	0,2822	0,3528
100	0,2540	0,3175
110	0,2309	0,2886
120	0,2170	0,26646
130	0,1954	0,2442
140	0,1884	0,2268
150	0,1693	0,2116
160	0,1587	0,1984
170	0,1494	0,1868

180	0,1411	0,1764
190	0,1337	0,1671
200	0,1270	0,1587

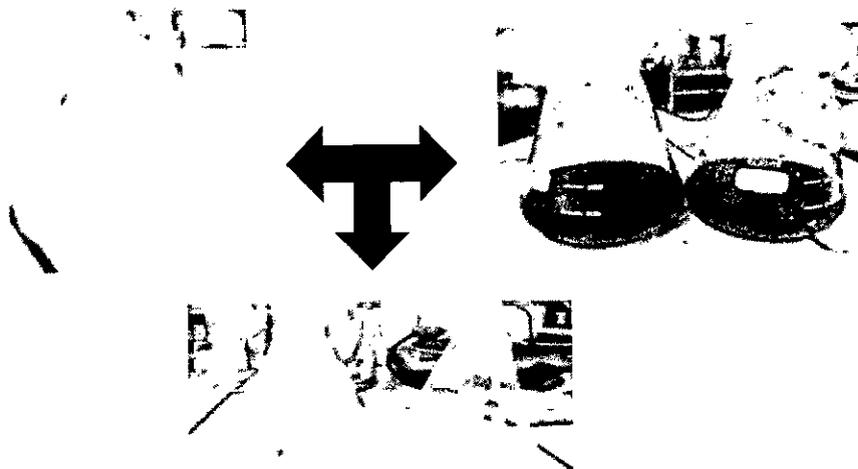
FIGURA 4.3

PRIMERA ETAPA: REACCIÓN CON LA SOLUCIÓN DE WIJS Y EL TETRACLORURO DE CARBONO



Nota: Foto tomada en el Laboratorio de Investigación y Desarrollo de resinas, InterPaints.

FIGURA 4.4
SEGUNDA ETAPA: REACCIÓN CON EL TIOSULFATO DE SODIO Y ALMIDÓN



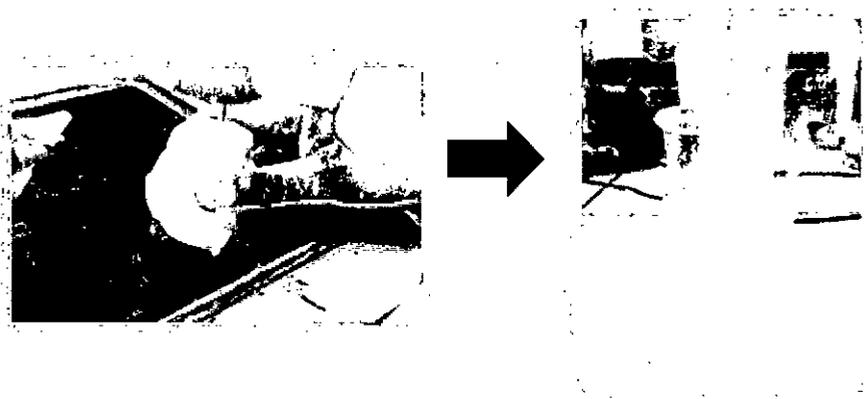
Nota: Foto tomada en el Laboratorio de Investigación y Desarrollo de resinas, InterPaints.

✦ **Índice de saponificación**

- Pesar en un matraz aproximadamente de 2-2,5g de muestra de aceite (se efectúan 2 muestras y 1 ensayo en blanco)
- Agregar 25 ml de KOH 0,5N
- Se colocan los 3 matraces Erlenmeyer en baño maría agitando vigorosamente por una hora.
- Dejar enfriar y agregar dos gotas de fenolftaleína (se tornará color rosado o rojizo)

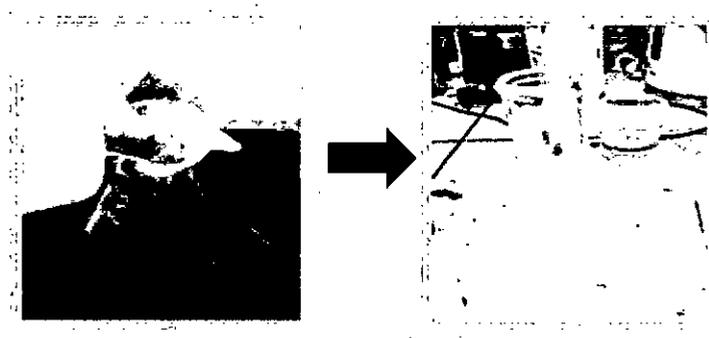
- Titular con H_2SO_4 0,5N, hasta decoloración (queda de un color amarillo lechoso las dos muestras y blanco lechoso el ensayo en blanco).

FIGURA 4.5
REACCIÓN CON EL KOH



Nota: Foto tomada en el Laboratorio de Investigación y Desarrollo de resinas, InterPaints.

FIGURA 4.6
REACCIÓN FINAL CON EL H_2SO_4



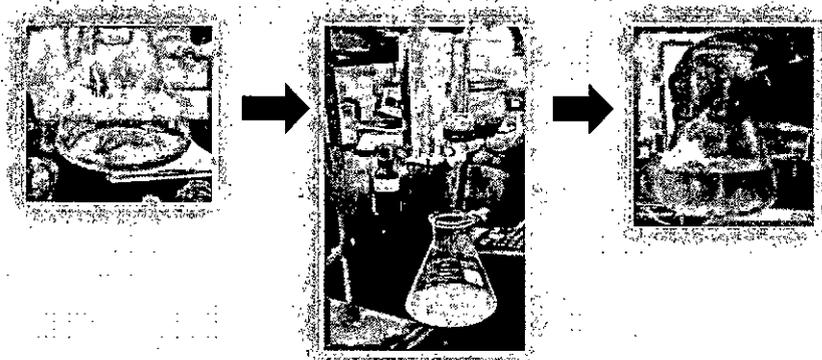
Nota: Foto tomada en el Laboratorio de Investigación y Desarrollo de resinas, InterPaints.

Índice de acidez

- Pesar aproximadamente entre 2-3 gramos de aceite.
- Disolver la mezcla en un matraz con 50ml de alcohol etílico.
- Colocar en la bureta la solución de hidróxido de potasio 0,1N.
- Agregar gotas de fenolftaleína a los matraces hasta color rosa claro.

FIGURA 4.7

REACCION DEL ACEITE CON EL HIDROXIDO DE POTASIO



Nota: Foto tomada en el Laboratorio de Investigación y Desarrollo de resinas, InterPaints.

❖ **Proceso de fabricación de la resina**

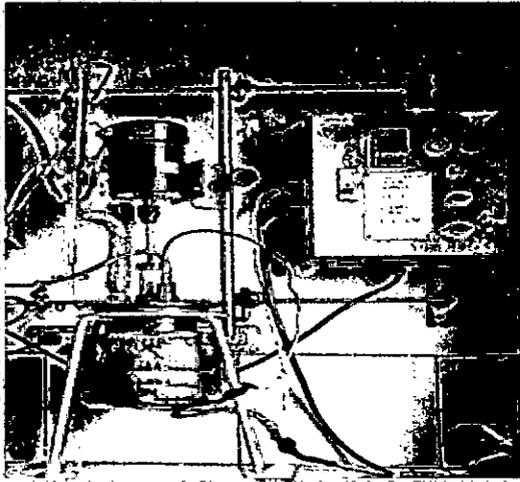
⚡ **Proceso de Fabricación de las Resinas Alquídicas**

- Cargar el aceite a temperatura ambiente. Iniciar agitación y poner gas a superficie (GAS).
- Iniciar el calentamiento, subir temperatura a 240 °C. Al llegar a 150°C agregar el pentaeritritol, continuar el calentamiento.
- A 190 °C agregar el catalizador (TIB KAT 256)
- Al llegar a 240 °C mantener esta temperatura y 15 minutos después extraer muestra para la prueba de ALCOHÓLISIS (con Anhídrido Ftálico). Repetir esta prueba si es necesario hasta que la prueba sea positiva.
- Obtenida la alcoholísis, enfriar a 170 °C y a esta temperatura cargar el anhídrido ftálico. A continuación agregar el xilol de reflujo (la temperatura debe haber descendido a menos de 150 °C), agregar lentamente el xilol. Continuar con la agitación y poner gas a fondo (GAF).
- Calentar a 205 y 220 °C, y mantener a esta temperatura para iniciar controles de valor ácido y viscosidad, estas pruebas se deben realizar a intervalos regulares.
- La resina se lleva a 205 y 220°C a la cual se toma muestra cada hora para poder valorar el valor ácido y viscosidad y así estudiar el avance de la reacción.

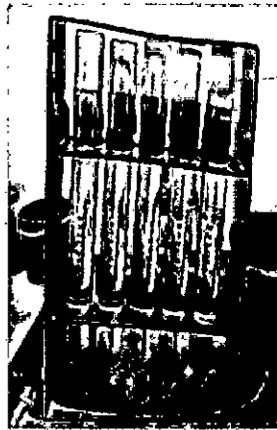
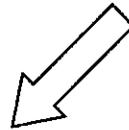
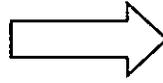
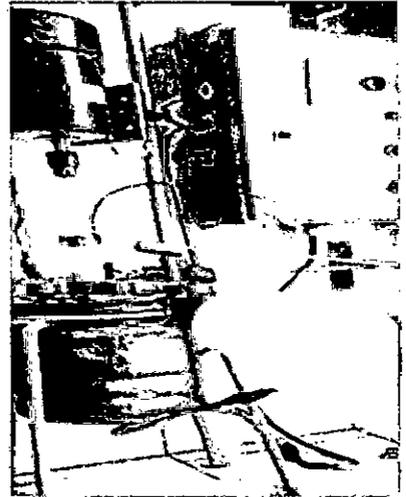
FIGURA 4.8

PROCESO DE ELABORACIÓN DE LA RESINA

Armado del reactor



Controles en la etapa de esterificación



Viscosidad

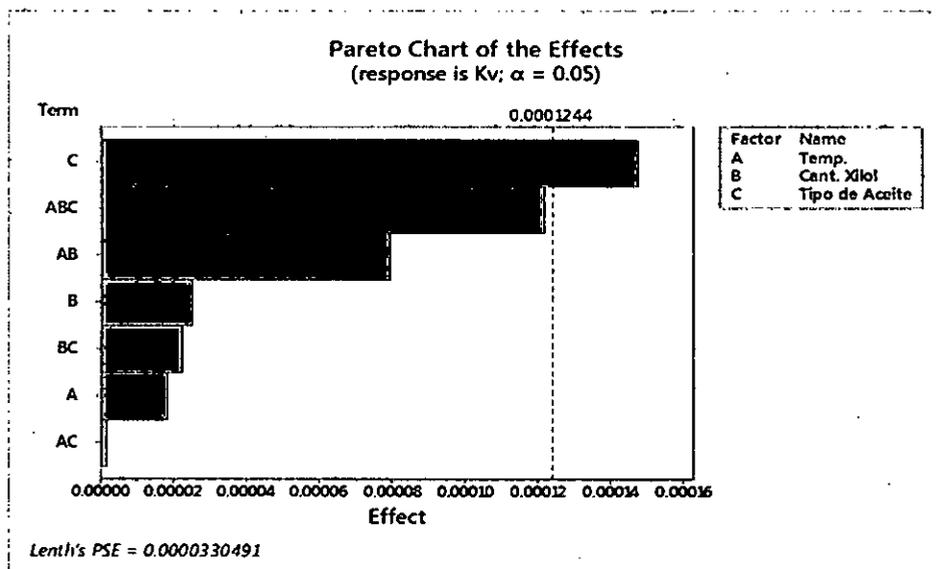


Valor acido

Nota: Foto tomada en el Laboratorio de Investigación y Desarrollo de resinas, InterPaints.

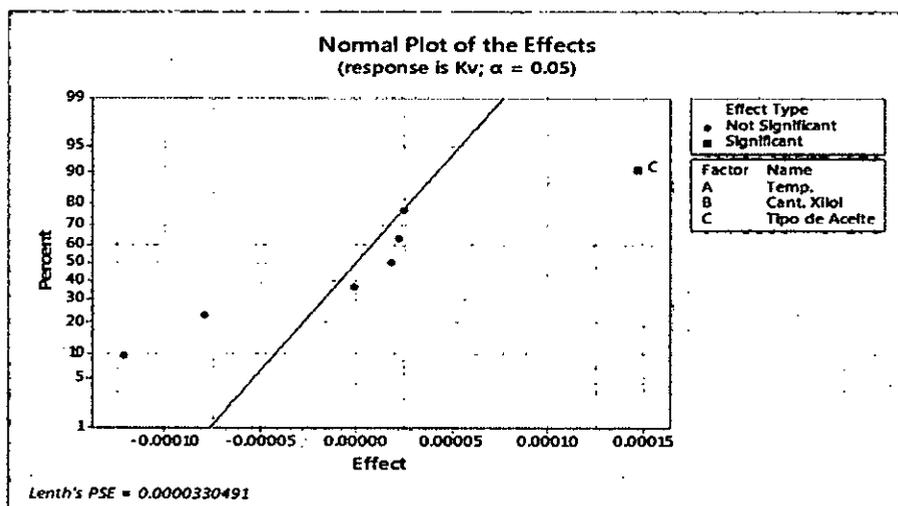
4.6 Procesamiento estadístico y análisis de datos

GRAFICO 4.1
DIAGRAMA DE EFECTO PARETO



FUENTE: Minitab

GRAFICO 4.2
DIAGRAMA DE EFECTO NORMAL



FUENTE: Minitab

➤ **Análisis de los diagramas de minitab:**

- Según el programa se demostró que de los 3 parámetros analizados C (el tipo de aceite) es el que influye más; el cual también se vio reflejado en los resultados experimentales en el laboratorio.
- Después del tipo de aceite, el que influye después es el cambio de los 3 parámetros juntos ABC (tipo de aceite, temperatura, cant. de xilol).
- La temperatura y cantidad de xilol (AB) también nos influirán después de los anteriores.
- B, BC, A y AC; Esta combinación de parámetros tienen una influencia menos en la producción de resinas alquídicas.

V. RESULTADOS

5.1 Caracterización del aceite

➤ Índice de yodo

CUADRO 5.1
RESULTADOS DE INDICE DE YODO

Tipo de aceite	W_{inicial}	Gasto sin almidón (ml) de $Na_2S_2O_3$	Gasto con almidón (ml) de $Na_2S_2O_3$	Gasto utilizado Total de $Na_2S_2O_3$
Soya	0,25	17,16	0,6	17,76
	0,24	16,7	0,8	17,5
Pescado	0,15	19,6	1	20,6
	0,17	18,5	0,9	19,4
Blanco	0	39,3	2,8	42,1
	0	39	2,6	41,6

- Calculando el valor experimental de índice de yodo, reemplazando en la formula los datos:

$$INDICE DE yodo = \frac{(B - A) \times N \times 12,69}{W}$$

Promedio gastado del blanco: 41,85ml

$$\text{índice de yodo soya 1} = \frac{(41,85 - 17,76) \times 0,1 \times 1,078 \times 12,69}{0,25} = 131,82$$

$$\text{índice de yodo soya 2} = \frac{(41,85 - 17,5) \times 0,1 \times 1,078 \times 12,69}{0,24} = 138,79$$

$$\text{índice de yodo pescado1} = \frac{(41,85 - 20,6) \times 0,1 \times 1,078 \times 12,69}{0,16} = 181,68$$

$$\text{índice de yodo pescado2} = \frac{(41,85 - 19,4) \times 0,1 \times 1,078 \times 12,69}{0,17} = 177,68$$

✦ Índice de yodo promedio para el aceite de soya: 135.31 gl/100 g de aceite.

✦ Índice de yodo promedio para el aceite de pescado: 179,68 gl/100 g de aceite.

➤ **Índice de Saponificación**

CUADRO 5.2

ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN

Tipo de aceite	W inicial	Gasto H_2SO_4 (ml)
Soya	2,13	13,9
	2,25	13,2
Pescado	0,15	19,7
	0,17	19,5
Blanco	0	20,00
	0	21,00

➤ Calculando el valor experimental de índice de saponificación, reemplazando en la fórmula los datos:

$$N^{\circ} \text{ DE SAPONIFICACIÓN} = \frac{(B - A) \times N \times 56,1}{W}$$

$$\text{índice de sap. soya1} = \frac{(20,55 - 13,9) \times 0,5 \times 1,081 \times 56,1}{2,13} = 94,404$$

$$\text{índice de sap. soya2} = \frac{(20,55 - 13,2) \times 0,5 \times 1,081 \times 56,1}{2,25} = 98,777$$

$$\text{índice de sap. pescado 1} = \frac{(20,55 - 19,7) \times 0,5 \times 1,081 \times 56,1}{0,15} = 171,82$$

$$\text{índice de sap. pescado 2} = \frac{(20,55 - 19,5) \times 0,5 \times 1,081 \times 56,1}{0,17} = 187,28$$

- ✦ Índice de saponificación prom. para el aceite de soya: 96,58 mg KOH/g. de aceite.
- ✦ Índice de saponificación prom. para el aceite de pescado: 179,55 mg KOH / g. de aceite.

➤ Índice de acidez

CUADRO 5.3
ÍNDICE DE ACIDEZ

Tipo de aceite	W inicial	Gasto KOH (ml)
Soya	2,20	3,4
	2,38	3,2
Pescado	2,50	4,1
	2,35	4,2

- Calculando el valor experimental de índice de acidez, reemplazando en la fórmula los datos:

$$\text{índice de acidez} = \frac{(G) \times N \times 56,1}{W}$$

$$\text{índice de acidez soya1} = \frac{3,4 \times 0,1 \times 1,017 \times 56,1}{2,20} = 8,1$$

$$\text{índice de acidez soya2} = \frac{3,2 \times 0,1 \times 1,017 \times 56,1}{2,38} = 7,67$$

$$\text{índice de acidez pescado 1} = \frac{4,1 \times 0,1 \times 1,017 \times 56,1}{2,50} = 9,35$$

$$\text{índice de acidez pescado 2} = \frac{4,2 \times 0,1 \times 1,017 \times 56,1}{2,35} = 10,19$$

- ✦ Índice de acidez prom, para el aceite de soya: 7,88 mg KOH / g. de aceite.

- ✦ Índice de acidez prom para el aceite de pescado: 9,77 mg KOH / g. de aceite.

5.2 Formulación de la resina

CUADRO 5.4
FORMULACIÓN DE LA RESINA

Materia prima a T = 205 Y 220 °C	CANTIDAD	Materia prima a T = 205 Y 220 °C	CANTIDAD
Aceite De Soya	476,20 g	Aceite De Pescado	476,20 g
Glicerina	158,70 g	Glicerina	158,70 g
Tib kat 256	0,51 g	Tib kat 256	0,51 g
Anhídrido ftálico	260,90 g	Anhídrido ftálico	260,90 g
Anhídrido maleico	15 g	Anhídrido maleico	15 g
Xilol	40, 60 g.	Xilol	40, 60 g.
Aguarrás	879,62 g	Aguarrás	879,62 g

➤ Análisis de la Formulación De La Resina

- cantidad de agua:

$$\text{cantidad de agua} = \frac{w_{A.F}}{PM\ AF} \times \overline{PM}_{H_2O} = \frac{260.90}{148.2} = 1,76 \times 18 = 31,69 \text{ g.}$$

- Cantidad de resina solida:

Aceite	476,20	
Glicerina	158,70	
Tib kat	0,51	
Anhidrido ftálico	260,90	
Anhidrido maleico	<u>15</u>	
	911,31	–
Cantidad de agua	<u>31,69</u>	
Resina solida	879,62	

- % de aceite contenido en la resina

$$\% \text{ aceite} = \frac{476,20}{879,62} = 54,14 \%$$

- A 50% de aguarrás

$$879,62 \rightarrow 50 \% \text{ solidos}$$

$$x \rightarrow 50\% \text{ solvente (Aguarras)}$$

$$x = 879,62 \text{ ml de aguarras}$$

- Cantidad de %OH presentes en la formulación de la resina:

- $neq \text{ glicerina} = \frac{158,70}{30,60} = 5,19$
- $neq \text{ anh ftalico} = \frac{260,9}{74,1} = 3,51$
- $neq \text{ anh maleico} = \frac{15}{49,03} = 0,31$

$$\% \text{ exeso} = \frac{N^{\circ}eq[OH]}{N^{\circ}eq[COOH]} = \frac{5,19}{3,82} = 1,36$$

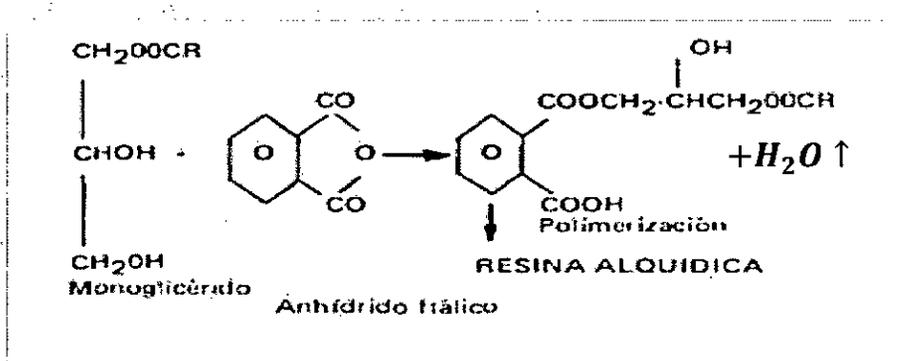
Existe un 36% de exceso de OH

- Los controles fueron tomados a 50% de aguarrás.

5.3 Comportamientos del aceite de soya y del aceite de pescado a distintas condiciones de operación en la producción de resinas alquídicas

En el proceso de fabricación de la resina se forman 2 reacciones importantes, en la que en nuestro estudio es a partir de los monoglicéridos:

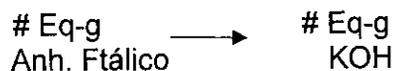
FIGURA 5.1
OBTENCIÓN DE LA RESINA



FUENTE: (Alonso, 2013).

El anhídrido ftálico que no ha reaccionado o sea el anhídrido ftálico que se encuentra en el reactor se mide por el valor ácido calculado durante el proceso, para esto se titulaba con hidróxido de potasio (KOH).

De la titulación:



$$V.A \propto \left(\frac{mgKOH}{g,mstra} \right)$$

$$[Anh \text{ Ftalico}]_{rctor} = \frac{VA \times 10^{-3} gr.KOH}{gr.muestra} \times \frac{1eq-grKOH}{56,11gr.KOH} \times \frac{1eq-grAnh.Ftalico}{1eq-grKOH} \times \frac{74,1gr.Anh.Ftalico}{1eq-grAnh.Ftalico} \times (masa_i - [Anh.Ftalico]_{rx}) gr.muestra$$

$$[Anh \text{ Ftalico}]_{rctor} = \frac{VA \times 10^{-3} \times 74,1gr. Anh. Ftalico \times (masa_i - [Anh. Ftalico]_{rx})}{56,11}$$

$$[Anh. Ftalico]_{rx} = [Anh. Ftalico]_i - [Anh Ftalico]_{rctor}$$

$$\% \text{ Conversión} = \frac{[Anh.Ftalico]_{rx}}{[Anh.Ftalico]_i}$$

La cantidad de agua de reacción será:

$$W_{agua} = \frac{[Anh.Ftalico]_{rx}}{PM_{Anh.Ftalico}} \times PM_{agua}$$

La constante de velocidad será:

$$\text{Para } n = 0; k = \frac{C_{A0} - C_A}{t}$$

$$\text{Para } n = 1; k = \frac{1}{t} \ln \frac{C_{A0}}{C_A}$$

$$\text{Para } n = 2; k = \frac{1}{t} \left(\frac{1}{C_A} - \frac{1}{C_{A0}} \right)$$

$$\text{Para } n = 3; k = \frac{1}{2t} \left(\frac{1}{(C_A)^2} - \frac{1}{(C_{A0})^2} \right)$$

➤ **Ensayo 1:**

Tipo de aceite: Aceite de soya

Proceso a: $T_1 = 205^\circ\text{C}$ y $X_1 = 40\text{ g}$.

CUADRO 5.5

PARÁMETROS Y CÁLCULOS EN EL PROCESO DEL ENSAYO 1

TEMP (°C)	Hora	Visc. G-H	V.A	$t(h)$	[Anh. Ftalico] _{recto}	%Conv.	W_{agua}
132	8:25		207,7	0	260,9	0	0
180	8:35		116	0,17	145,73	44,14	13,99
190	8:45		104,3	0,34	115,17	55,86	17,70
205	9:05		89,84	0,67	95,58	63,37	20,08
205	10:15	$A_3^8 - A_2$	59,3	1,84	61,55	76,41	24,21
205	11:05	A_2	49,6	2,67	49,26	81,12	25,71
205	12:05	$A_2^5 - A_1$	40,5	3,67	39,56	84,84	26,88
205	13:18	$A_1^4 - A$	31,8	4,89	30,66	88,25	27,96
205	14:10	$A_1^4 - A$	24,9	5,76	23,71	90,91	28,81
205	15:05	$A_1^5 - A$	20,2	6,68	19,05	92,70	29,37
205	16:05	$A_1^6 - A$	13,93	7,68	13,05	95,00	30,10
205	17:05	$A_1^8 - A$	12,7	8,68	11,80	95,48	30,26
205	18:05	$A_1^8 - A$	10,3	9,68	9,55	96,34	30,53
205	19:05	$A_1^8 - A$	5,7	10,68	5,27	97,98	31,05

GRAFICO 5.1

CONSUMO DEL ANHÍDRIDO FTÁLICO EN EL PROCESO (ENSAYO 1)

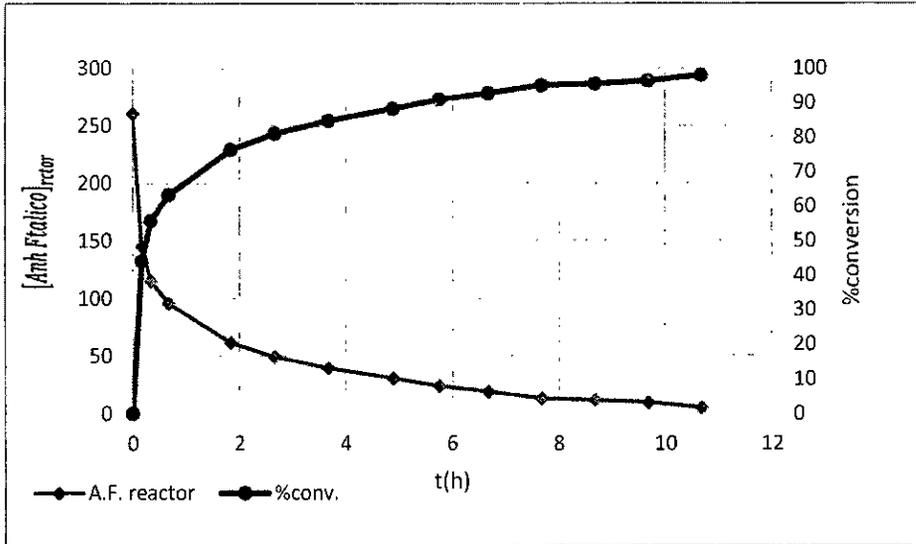
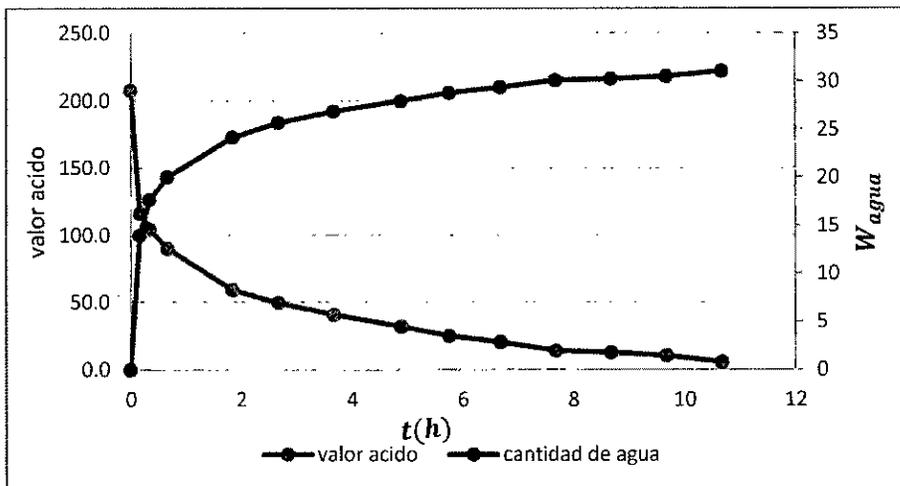


GRAFICO 5.2

VARIACIÓN DEL VALOR ÁCIDO EN EL PROCESO (ENSAYO 1)



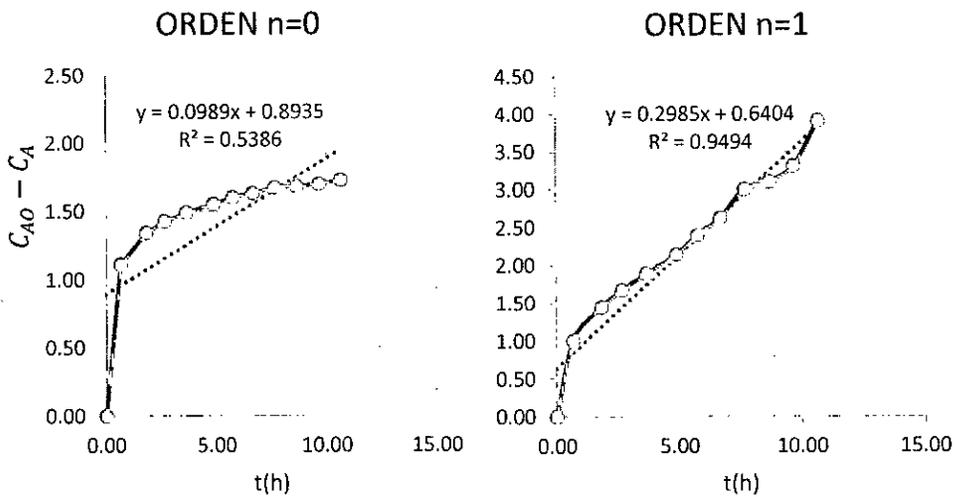
CUADRO 5.6

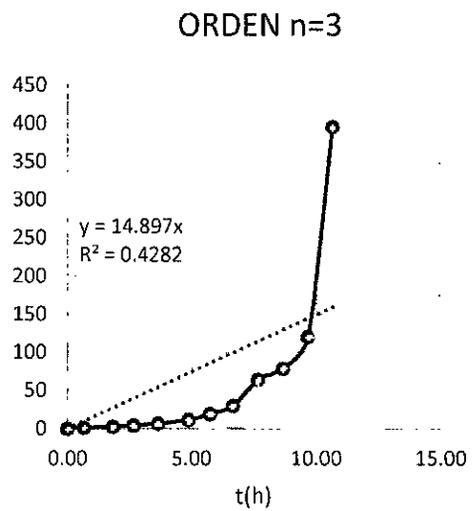
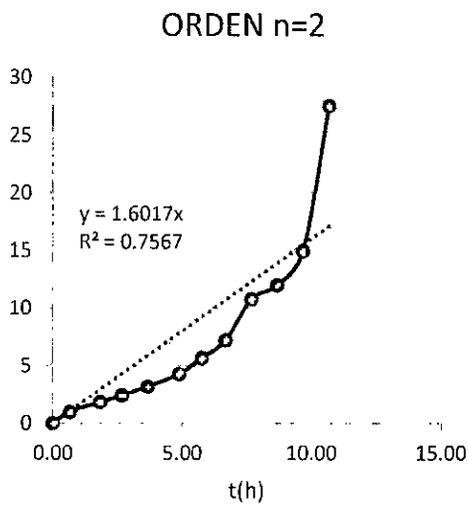
DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS CINÉTICOS (ENSAYO 1)

	t(h)	$C_{Anh.Flico}(\frac{mol}{l})$	(n=0)	(n=1)	n=2	n=3
132	0.00	1.76	0.00	0.00	0	0
205	0.67	0.64	1.12	1.00	0.98253618	1.04080236
205	1.84	0.42	1.35	1.44	1.83965194	2.73714398
205	2.67	0.33	1.43	1.67	2.44075839	4.36508384
205	3.67	0.27	1.49	1.89	3.17806995	6.85531522
205	4.89	0.21	1.55	2.14	4.26630943	11.5241057
205	5.76	0.16	1.60	2.40	5.68219775	19.3713656
205	6.68	0.13	1.63	2.62	7.21138264	30.0983284
205	7.68	0.09	1.67	3.00	10.787069	64.3078476
205	8.68	0.08	1.68	3.10	11.9930257	78.728776
205	9.68	0.06	1.70	3.31	14.9475114	120.204739
205	10.68	0.04	1.72	3.90	27.5588181	395.398565

GRAFICO 5.3

DETERMINACIÓN DEL N° DE ORDEN Y K_V (ENSAYO 1)





Según las gráficas:

n	K_V	K_V	R^2
0	0,099 l.mol.h ⁻¹	$2,747 \times 10^{-5}$ l.mol.s ⁻¹	0,539
1	0,299 h ⁻¹	$8,292 \times 10^{-5}$ s ⁻¹	0,949
2	1,602 l.(mol.h) ⁻¹	$4,449 \times 10^{-4}$ l.(mol.s) ⁻¹	0,757
3	14,897 l ² .mol ⁻² .h ⁻¹	$4,138 \times 10^{-3}$ l ² .mol ⁻² .s ⁻¹	0,428

➤ **Ensayo 2:**

Tipo de aceite: Aceite de soya

Proceso a: $T_2 = 220^\circ\text{C}$ y $X_1 = 40 \text{ g}$.

CUADRO 5.7

PARÁMETROS Y CÁLCULOS EN EL PROCESO DEL ENSAYO 2

TEMP (°C)	Hora	Visc. G-H	V.A	$t(h)$	[Anh. Ftalico] _{rcto}	%Conver,	W_{agua}
140	10:09		207,67	0	260,9	0	0
181	10:22		115	0,22	144,10	45	14,19
190	10:28		106,4	0,32	117,26	55	17,45
200	10:55		90	0,77	96,00	63	20,03
210	11:10		75	1,02	77,89	70	22,23
220	11:25	$A_2^3 - A_1$	62,2	1,27	63,11	76	24,02
220	12:00	$A_2^3 - A_1$	53	1,85	52,74	80	25,28
220	13:00	$A_2^5 - A_1$	43,2	2,85	42,40	84	26,54
220	14:00	$A_1^3 - A$	38,7	3,85	37,45	86	27,14
220	15:00	$A_1^5 - A$	35,6	4,85	34,22	87	27,53
220	16:00	$A_1^5 - A$	32,9	5,85	31,48	88	27,86
220	17:00	$A_1^8 - A$	31	6,85	29,55	89	28,10
220	18:20	$C^5 - D$	24,6	8,18	23,39	91	28,85
220	19:45	$F^7 - G$	19,4	9,48	18,29	93	29,47
220	20:45	$H^5 - I$	15	10,48	14,04	95	29,98
220	21:45	$K^5 - L$	10	11,48	9,30	96	30,56
220	22:45	$L^2 - M$	9,9	12,48	9,15	96	30,58
220	23:45	$P^1 - Q$	7,2	13,48	6,65	97	30,88
220	0:45	$T^5 - U$	3,52	14,48	3,24	99	31,29

GRAFICO 5.4
CONSUMO DEL ANHÍDRIDO FTÁLICO EN EL PROCESO (ENSAYO 2)

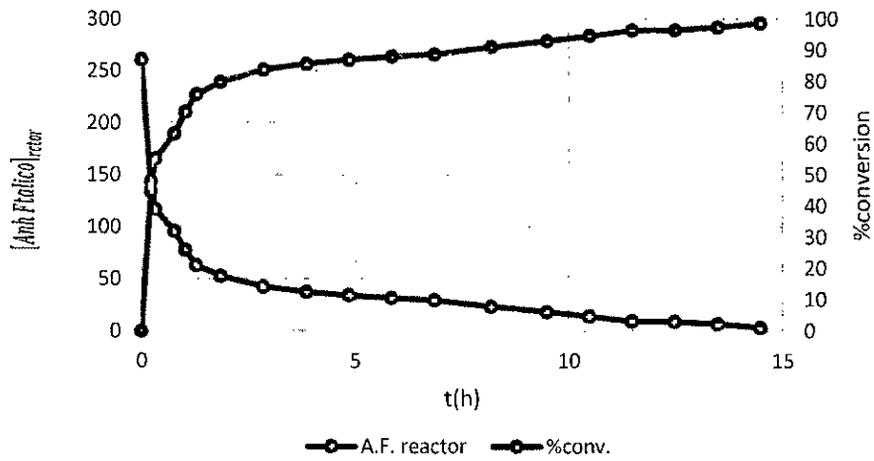
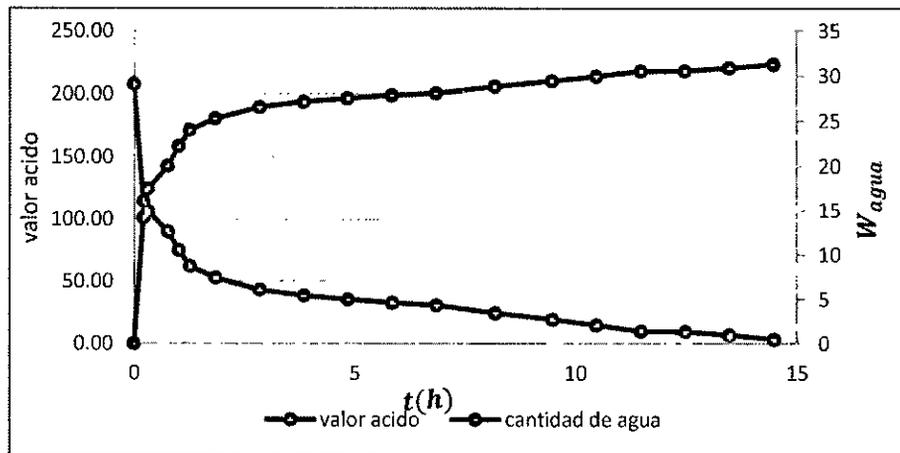


GRAFICO 5.5
VARIACIÓN DEL VALOR ÁCIDO EN EL PROCESO (ENSAYO 2)



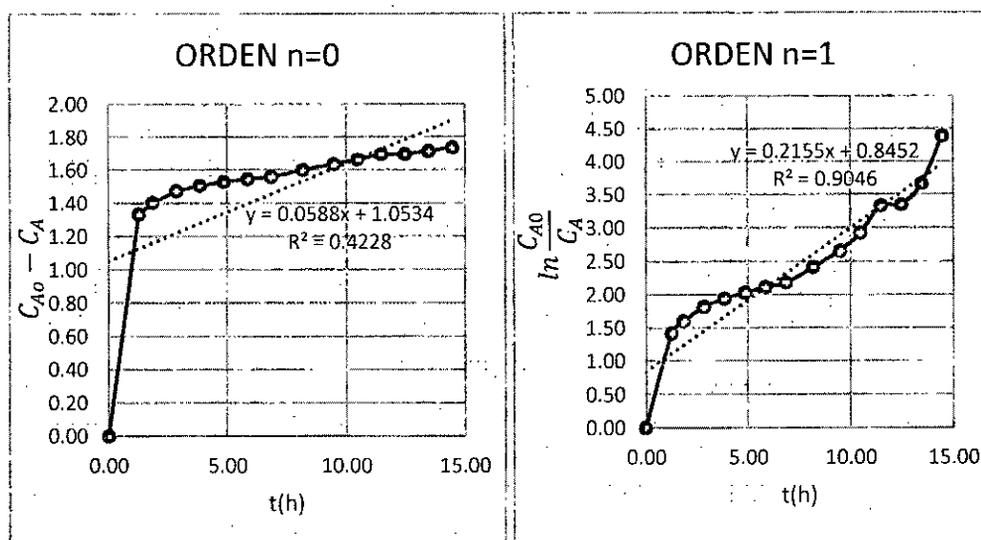
CUADRO 5.8

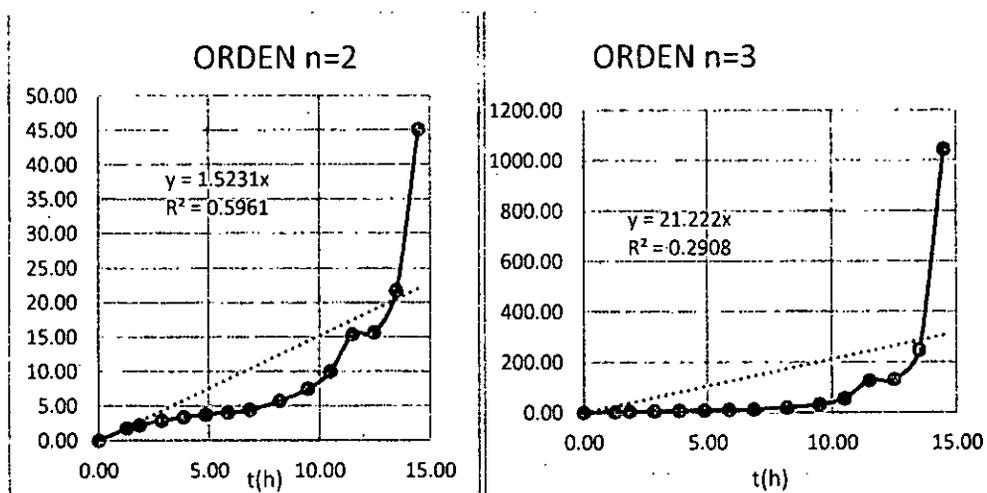
DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS CINÉTICOS (ENSAYO 2)

T(°C)	t(h)	$C_{A,F}(\frac{mol}{l})$	n=0	n=1	n=2	n=3
			$C_{A_0} - C_A$	$\ln \frac{C_{A_0}}{C_A}$	$\frac{1}{C_A} - \frac{1}{C_{A_0}}$	$\frac{1}{2} \left(\frac{1}{C_A^2} - \frac{1}{C_{A_0}^2} \right)$
140	0,00	1,76	0,00	0,00	0,00	0,00
220	1,27	0,43	1,33	1,42	1,78	2,60
220	1,85	0,36	1,40	1,60	2,24	3,79
220	2,85	0,29	1,47	1,82	2,93	5,95
220	3,85	0,25	1,51	1,94	3,39	7,67
220	4,85	0,23	1,53	2,03	3,76	9,22
220	5,85	0,21	1,55	2,11	4,14	10,92
220	6,85	0,20	1,56	2,18	4,45	12,41
220	8,18	0,16	1,60	2,41	5,77	19,91
220	9,48	0,12	1,64	2,66	7,54	32,67
220	10,48	0,09	1,67	2,92	9,99	55,56
220	11,48	0,06	1,70	3,33	15,36	126,72
220	12,48	0,06	1,70	3,35	15,63	131,06
220	13,48	0,04	1,72	3,67	21,71	248,04
220	14,48	0,02	1,74	4,39	45,17	1045,72

GRAFICO 5. 6

DETERMINACIÓN DEL N° DE ORDEN Y K_V (ENSAYO 2)





Según las gráficas:

n	K_V	K_V	R^2
0	0,059 $l.mol.h^{-1}$	$1,633 \times 10^{-5}$ $l.mol.s^{-1}$	0,423
1	0,216 h^{-1}	$5,986 \times 10^{-5}$ s^{-1}	0,905
2	1,523 $l.(mol.h)^{-1}$	$4,231 \times 10^{-4}$ $l.(mol.s)^{-1}$	0,596
3	21,220 $l^2.mol^{-2}.h^{-1}$	$5,894 \times 10^{-3}$ $l^2.mol^{-2}.s^{-1}$	0,291

➤ **Ensayo 3:**

Tipo de aceite: Aceite de soya

Proceso a: $T_1 = 205^\circ C$ y $X_2 = 60 g$.

CUADRO 5.9

PARÁMETROS Y CÁLCULOS EN EL PROCESO DEL ENSAYO 3

TEMP (°C)	Hora	Visc. G-H	V.A	t(h)	[Anh. Ftalico] _{rcto}	%Conver.	W_{agua}
126	8:57		203,4	0	260,9	0	0
180	9:14		106	0,28	135,97	48	15,17
190	9:22		101,3	0,41	113,23	57	17,94
205	9:50		79,4	0,78	86,36	67	21,20
205	10:50		58,6	1,78	61,66	76	24,20
205	11:50	A_3	51,4	2,78	52,41	80	25,32

205	12:50	$A_3^5 - A_2$	46,8	3,78	47,15	82	25,96
205	13:50	$A_2^2 - A_1$	42	4,78	42,02	84	26,58
205	14:50	$A_2^4 - A_1$	39,7	5,78	39,45	85	26,90
205	15:50	$A_2^4 - A_1$	37	6,78	36,64	86	27,24
205	16:50	$A_2^5 - A_1$	35,2	7,78	34,73	87	27,47
205	17:50	$A_1^3 - A$	30	8,78	29,52	89	28,10
205	18:50	$A_1^5 - A$	25,6	9,78	25,02	90	28,65
205	19:50	$A_1^5 - A$	21	10,78	20,40	92	29,21
205	20:50	$A_1^7 - A$	18	11,78	17,37	93	29,58
205	21:50	$A_1^8 - A$	16	12,78	15,38	94	29,82
205	22:50	$A_1^8 - A$	14	13,78	13,42	95	30,06
205	23:50	A	12,6	14,78	12,04	95	30,23
205	0:50	$A^2 - B$	9,4	15,78	8,97	97	30,60

GRAFICO 5.7

CONSUMO DEL ANHÍDRIDO FTÁLICO EN EL PROCESO (ENSAYO 3)

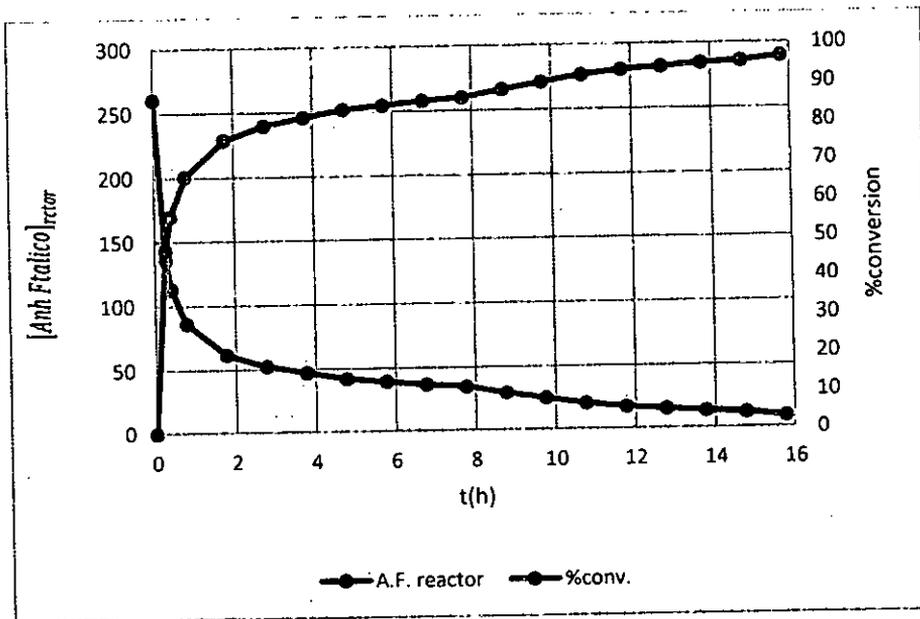
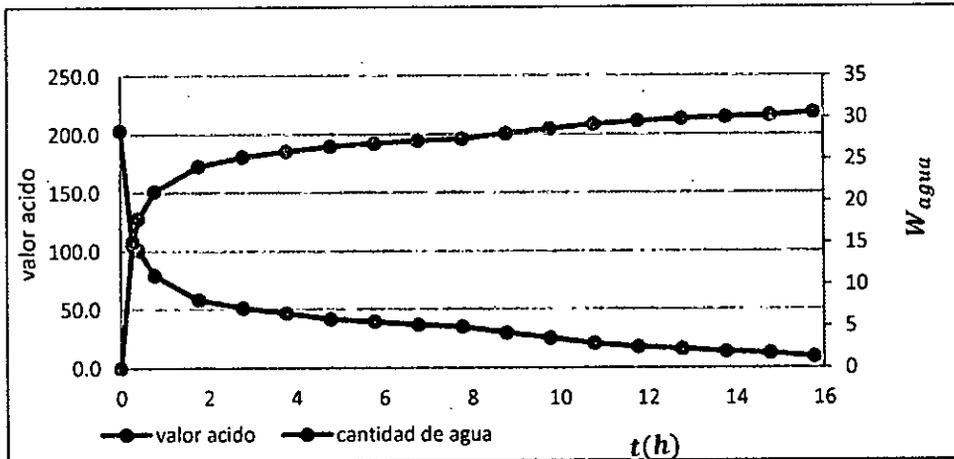


GRAFICO 5.8

VARIACIÓN DEL VALOR ÁCIDO EN EL PROCESO (ENSAYO 3)



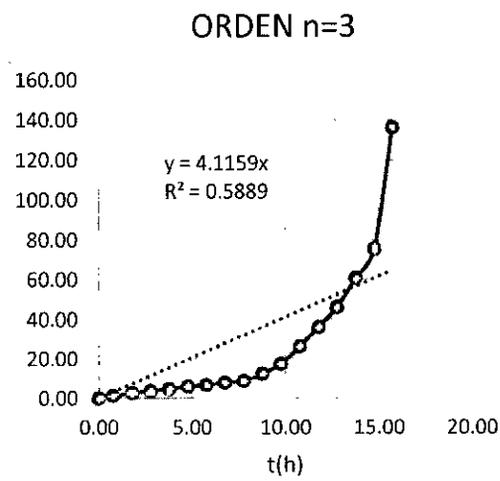
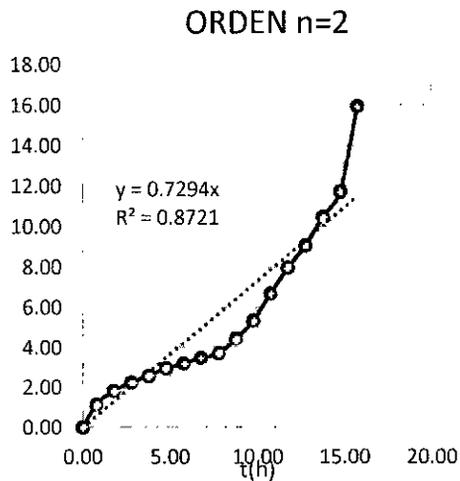
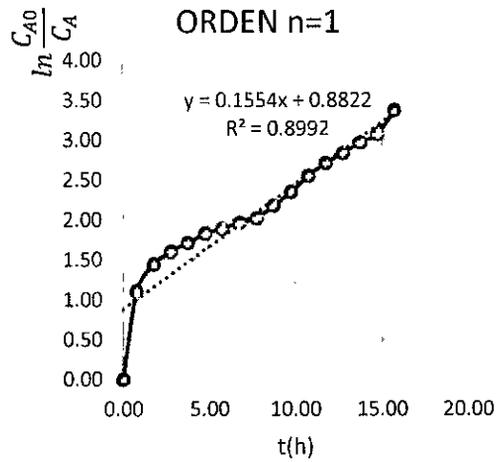
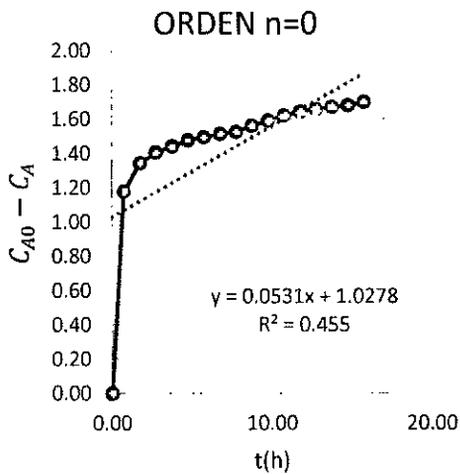
CUADRO 5.10

DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS CINÉTICOS (ENSAYO 3)

T(°C)	t(h)	$C_{A.F}(\frac{mol}{l})$	n=0	n=1	n=2	n=3
			$C_{A0} - C_A$	$\ln \frac{C_{A0}}{C_A}$	$\frac{1}{C_A}$	$\frac{1}{2} \left(\frac{1}{C_A^2} - \frac{1}{C_{A0}^2} \right)$
126	0	1,76	0,00	0,00	0,00	0,00
205	0,78	0,58	1,18	1,11	1,15	1,31
205	1,78	0,42	1,34	1,44	1,84	2,73
205	2,78	0,35	1,41	1,61	2,26	3,84
205	3,78	0,32	1,44	1,71	2,58	4,78
205	4,78	0,28	1,48	1,83	2,96	6,06
205	5,78	0,27	1,49	1,89	3,19	6,90
205	6,78	0,25	1,51	1,96	3,48	8,02
205	7,78	0,23	1,53	2,02	3,70	8,94
205	8,78	0,20	1,56	2,18	4,45	12,44
205	9,78	0,17	1,59	2,34	5,36	17,39
205	10,78	0,14	1,62	2,55	6,70	26,24
205	11,78	0,12	1,64	2,71	7,96	36,23
205	12,78	0,10	1,66	2,83	9,07	46,28
205	13,78	0,09	1,67	2,97	10,48	60,83
205	14,78	0,08	1,68	3,08	11,74	75,54
205	15,78	0,06	1,70	3,37	15,96	136,37

GRAFICO 5.9

DETERMINACIÓN DEL N° DE ORDEN Y K_V (ENSAYO 3)



Según las gráficas:

n	K_V	K_V	R^2
0	0,053 $l.mol.h^{-1}$	$1,475 \times 10^{-5}$ $l.mol.s^{-1}$	0,455
1	0,155 h^{-1}	$4,317 \times 10^{-5}$ s^{-1}	0,899
2	0,729 $l.(mol.h)^{-1}$	$2,026 \times 10^{-4}$ $l.(mol.s)^{-1}$	0,872
3	4,116 $l^2.mol^{-2}.h^{-1}$	$1,143 \times 10^{-3}$ $l^2.mol^{-2}.s^{-1}$	0,589

➤ **Ensayo 4:**

Tipo de aceite: Aceite de soya

Proceso a: $T_2 = 220^\circ\text{C}$ y $X_2 = 60 \text{ g}$.

CUADRO 5.11

PARÁMETROS Y CÁLCULOS EN EL PROCESO DEL ENSAYO 4

TEMP (°C)	Hora	Visc. G-H	V.A	$t(h)$	[Anh. Ftalico] _{recto}	%Conver,	W_{agua}
126	9:25		0	0	260,9	0	0
173	9:38		110	0,22	141,10	45,92	14,55
190	9:50		100	0,42	112,45	56,90	18,03
200	10:20		79,6	0,92	86,50	66,85	21,18
210	10:43		56,9	1,30	59,88	77,05	24,42
220	11:15	$A_1^8 - A$	40	1,83	40,69	84,40	26,75
220	12:55	$B^8 - C$	25,9	3,50	25,69	90,15	28,57
220	13:55	$C^1 - D$	22,5	4,50	21,87	91,62	29,03
220	14:55	$C^5 - D$	18,1	5,50	17,50	93,29	29,56
220	15:55	$F^7 - G$	16	6,50	15,38	94,10	29,82
220	17:05	$L^2 - M$	10	7,67	9,58	96,33	30,52
220	18:05	$R^5 - S$	5,5	8,67	5,23	98,00	31,05
220	18:40	$S^2 - T$	4,2	9,25	3,97	98,48	31,21

GRAFICO 5.10
CONSUMO DEL ANHÍDRIDO FTÁLICO EN EL PROCESO (ENSAYO 4)

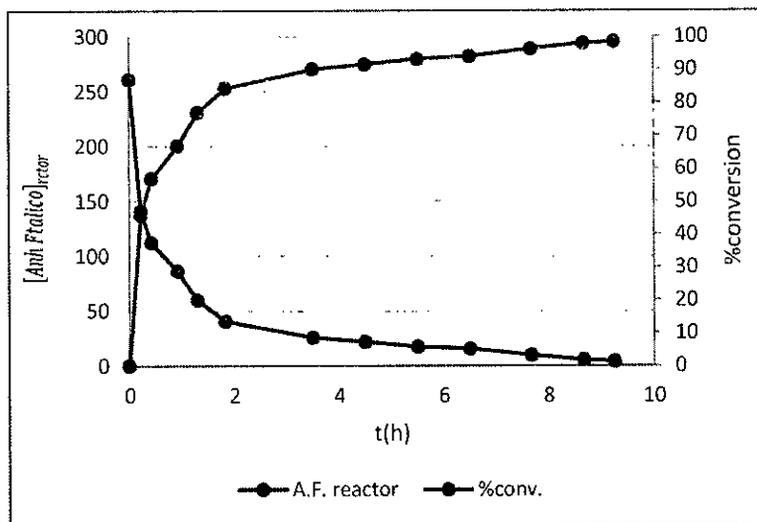
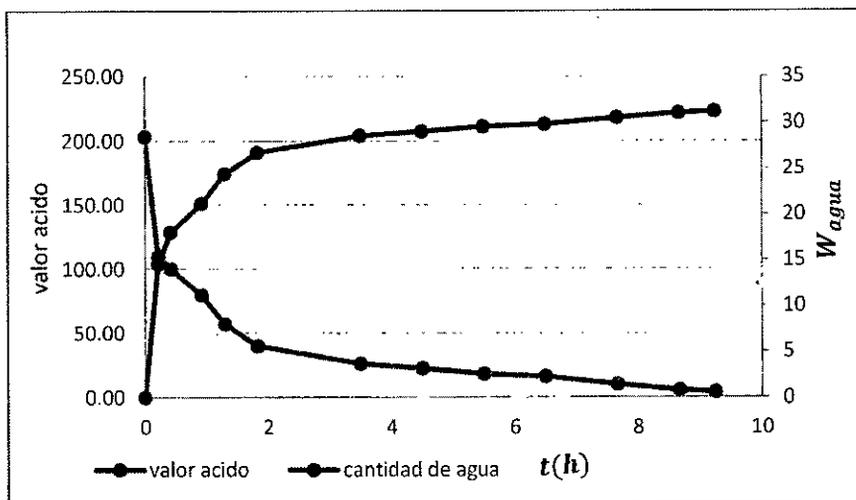


GRAFICO 5.11
VARIACIÓN DEL VALOR ÁCIDO EN EL PROCESO (ENSAYO 4)



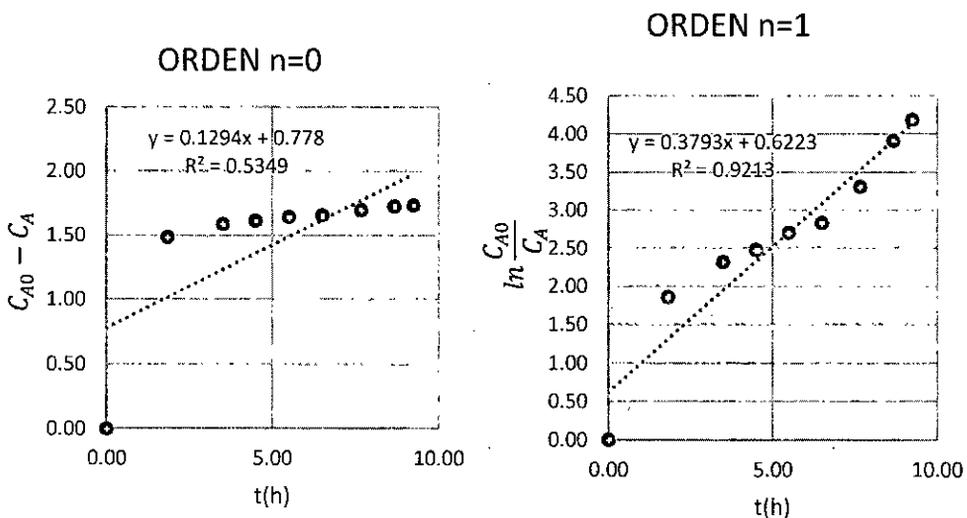
CUADRO 5.12

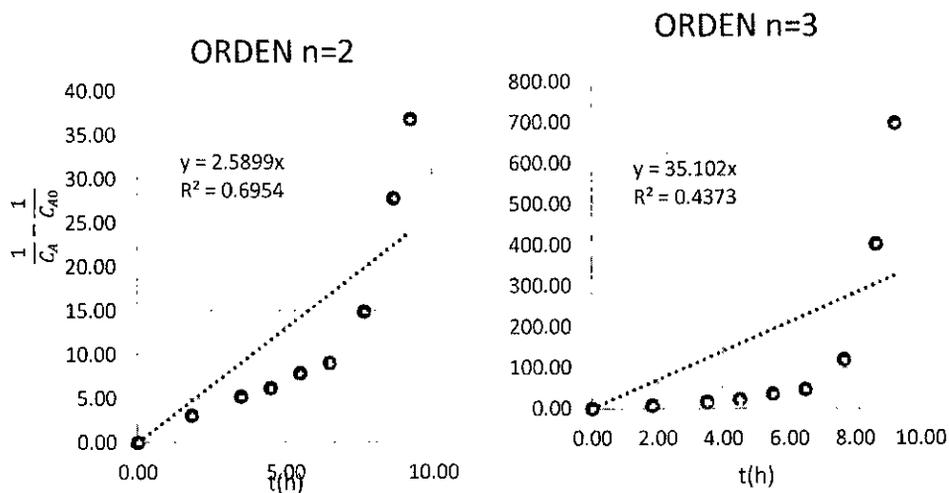
DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS CINÉTICOS (ENSAYO 4)

T(°C)	t(h)	$C_{A,F}(\frac{mol}{l})$	n=0	n=1	n=2	n=3
			$C_{A0} - C_A$	$\ln \frac{C_{A0}}{C_A}$	$\frac{1}{C_A} - \frac{1}{C_{A0}}$	$\frac{1}{2} \left(\frac{1}{C_A^2} - \frac{1}{C_{A0}^2} \right)$
126	0,00	1,76	0,00	0,00	0,00	0,00
220	1,83	0,27	1,49	1,86	3,07	6,47
220	3,50	0,17	1,59	2,32	5,20	16,48
220	4,50	0,15	1,61	2,48	6,21	22,79
220	5,50	0,12	1,64	2,70	7,90	35,68
220	6,50	0,10	1,66	2,83	9,07	46,26
220	7,67	0,06	1,70	3,30	14,89	119,37
220	8,67	0,04	1,73	3,91	27,77	401,38
220	9,25	0,03	1,73	4,19	36,77	696,82

GRAFICO 5.12

DETERMINACIÓN DEL N° DE ORDEN Y K_V (ENSAYO #4)





Según las gráficas:

n	K_V	K_V	R^2
0	0,129 l.mol.h^{-1}	$3,594 \times 10^{-5}$ l.mol.s^{-1}	0,535
1	0,379 h^{-1}	$1,054 \times 10^{-4}$ s^{-1}	0,921
2	2,590 l. (mol.h)^{-1}	$7,194 \times 10^{-4}$ l. (mol.s)^{-1}	0,695
3	35,102 $\text{l}^2.\text{mol}^{-2}.\text{h}^{-1}$	$9,751 \times 10^{-3}$ $\text{l}^2.\text{mol}^{-2}.\text{s}^{-1}$	0,437

➤ **Ensayo 5:**

Tipo de aceite: Aceite de pescado

Proceso a: $T_1 = 205^\circ\text{C}$ y $X_1 = 40 \text{ g}$.

CUADRO 5.13

PARÁMETROS Y CÁLCULOS EN EL PROCESO DEL ENSAYO #5

TEMP (°C)	Hora	Visc. G-H	V.A	$t(\text{h})$	$[\text{Anh. Ftalico}]_{\text{rcto}}$	%Conver.	W_{agua}
126	8:32		207,7	0	260,9	0,0	0
180	8:47		112	0,25	140,71	46,1	14,60

194	8:57		102	0,42	111,95	57,1	18,09
205	9:20		77,4	0,80	82,01	68,6	21,73
		$A_1^5 - A$					
205	10:20		55,5	1,80	56,61	78,3	24,81
		$A^2 - B$					
205	11:20		44,6	2,80	44,00	83,1	26,34
		$C^8 - D$					
205	13:00		32,3	4,47	31,33	88,0	27,88
		$D^3 - E$					
205	14:20		24,1	5,80	22,97	91,2	28,90
		$E^2 - F$					
205	15:20		17,9	6,80	16,86	93,5	29,64
		$G^6 - H$					
205	16:20		13,8	7,80	12,89	95,1	30,12
		$H^1 - I$					
205	17:20		9,6	8,80	8,92	96,6	30,61
		$J^5 - K$					
205	18:20		6,5	9,80	6,00	97,7	30,96

GRAFICO 5.13

CONSUMO DEL ANHÍDRIDO FTÁLICO EN EL PROCESO (ENSAYO 5)

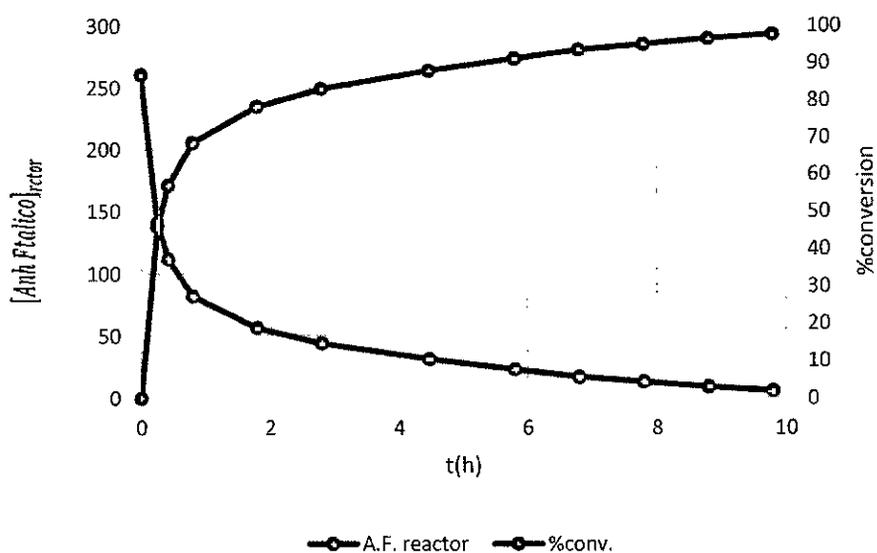
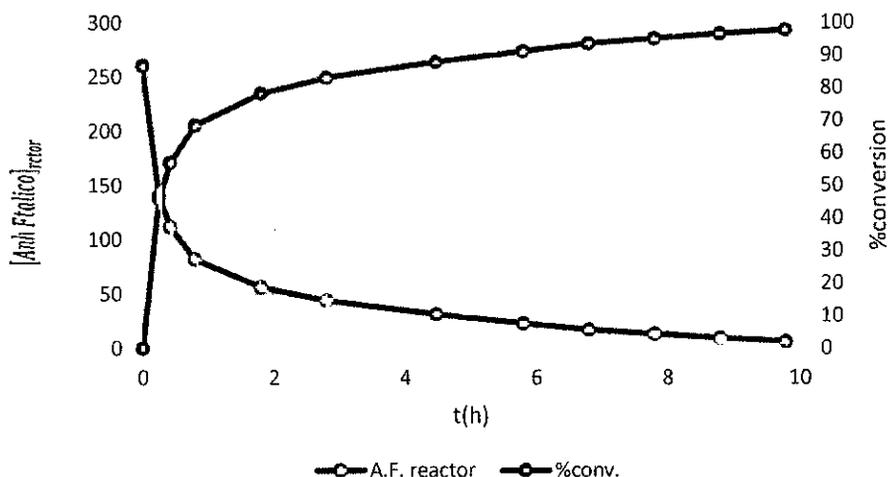


GRAFICO 5.14

VARIACIÓN DE VALOR ÁCIDO EN EL PROCESO (ENSAYO 5)

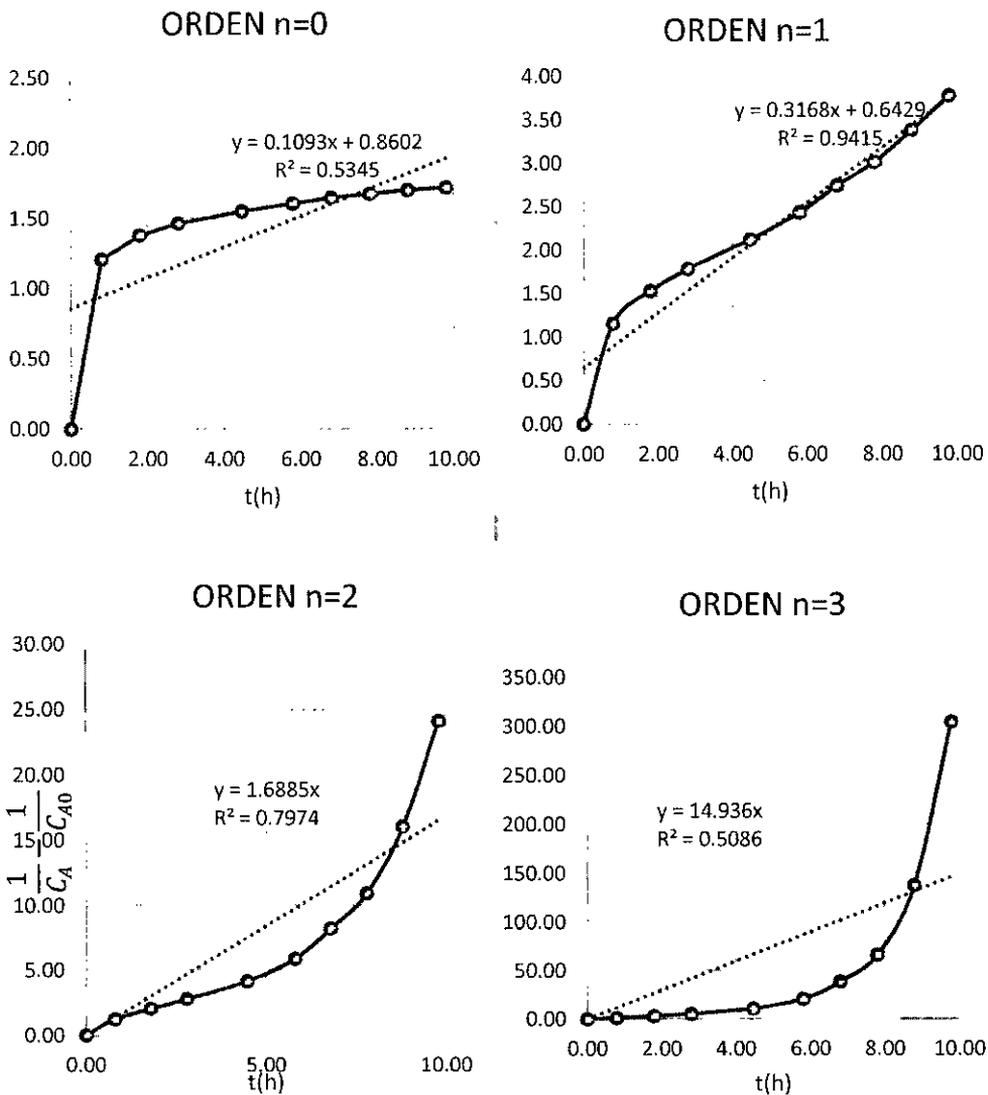


CUADRO 5.14

PARÁMETROS Y CÁLCULOS EN EL PROCESO DEL ENSAYO 5

T(°C)	t(h)	$C_{A,F} \left(\frac{mol}{l} \right)$	n=0	n=1	n=2	n=3
			$C_{A0} - C_A$	$\ln \frac{C_{A0}}{C_A}$	$\frac{1}{C_A} - \frac{1}{C_{A0}}$	$\frac{1}{2} \left(\frac{1}{C_A^2} - \frac{1}{C_{A0}^2} \right)$
126	0,00	1,76	0,00	0,00	0,00	0,00
205	0,80	0,55	1,21	1,16	1,24	1,47
205	1,80	0,38	1,38	1,53	2,05	3,26
205	2,80	0,30	1,46	1,78	2,80	5,51
205	4,47	0,21	1,55	2,12	4,16	11,03
205	5,80	0,15	1,61	2,43	5,88	20,65
205	6,80	0,11	1,65	2,74	8,22	38,45
205	7,80	0,09	1,67	3,01	10,93	65,94
205	8,80	0,06	1,70	3,38	16,05	137,97
205	9,80	0,04	1,72	3,77	24,12	304,57

GRAFICO 5.15
DETERMINACIÓN DEL N° DE ORDEN Y K_V (ENSAYO 5)



Según las gráficas:

n	K_V	K_V	R^2
0	0,109 $l.mol.h^{-1}$	$3,036 \times 10^{-5}$ $l.mol.s^{-1}$	0,535
1	0,317 h^{-1}	$0,800 \times 10^{-5}$ s^{-1}	0,942
2	1,689 $l.(mol.h)^{-1}$	$4,690 \times 10^{-4}$ $l.(mol.s)^{-1}$	0,797
3	14,936 $l^2.mol^{-2}.h^{-1}$	$4,149 \times 10^{-3}$ $l^2.mol^{-2}.s^{-1}$	0,509

➤ **Ensayo 6:**

Tipo de aceite: Aceite de pescado

Proceso a: $T_2 = 220^\circ\text{C}$ y $X_1 = 40\text{ g}$.

CUADRO 5.15

PARÁMETROS Y CÁLCULOS EN EL PROCESO DEL ENSAYO 6

TEMP (°C)	Hora	Visc. G-H	V.A	t(h)	[Anh. Ftalico] _{rcto}	%Conver.	W_{agua}
140	16:58		207,67	0	260,9	0,00	0
170	17:05		111,9	0,12	140,58	46,12	14,61
191	17:11		102,2	0,22	112,16	57,01	18,07
200	17:30		83	0,54	87,97	66,28	21,00
210	17:48		68	0,84	69,90	73,21	23,20
220	18:00	$A_1^B - A$	53,4	1,04	53,62	79,45	25,18
220	19:00	$E^B - F$	34,8	2,04	34,19	86,89	27,54
220	20:00	I	29,1	3,04	27,85	89,33	28,31
220	21:00	$N^4 - O$	25,9	4,04	24,57	90,58	28,70
220	22:00	$R^6 - S$	22	5,04	20,77	92,04	29,17
220	23:00	$V^2 - W$	19,3	6,04	18,13	93,05	29,49
220	0:00	$X^2 - Y$	18,8	7,04	17,59	93,26	29,55
220	1:00	$Z_4^3 - Z_5$	15,1	8,04	14,12	94,59	29,97

GRAFICO 5.16

CONSUMO DEL ANHÍDRIDO FTÁLICO EN EL PROCESO (ENSAYO 6)

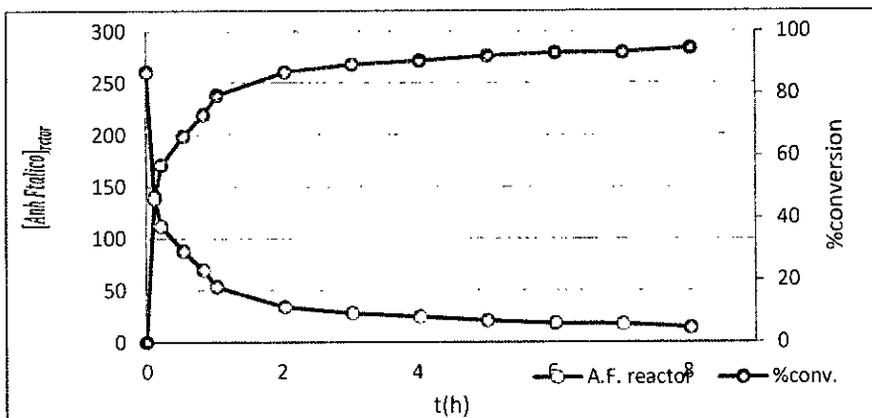
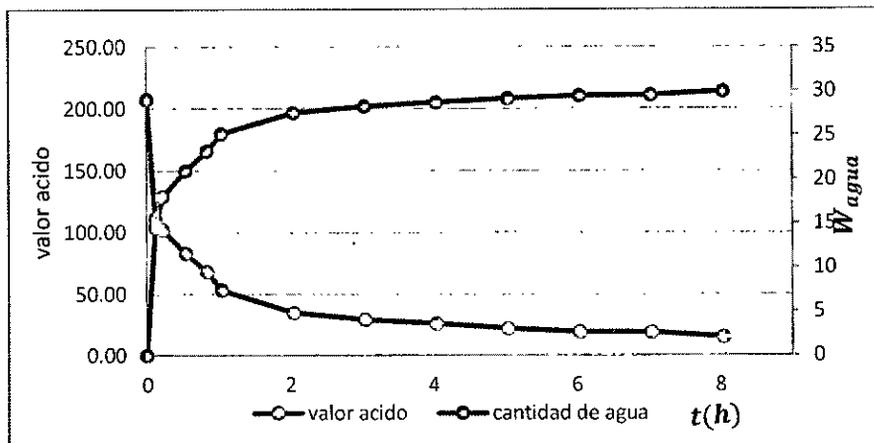


GRAFICO 5.17

VARIACIÓN DEL VALOR ÁCIDO EN EL PROCESO (ENSAYO 6)



CUADRO 5.16

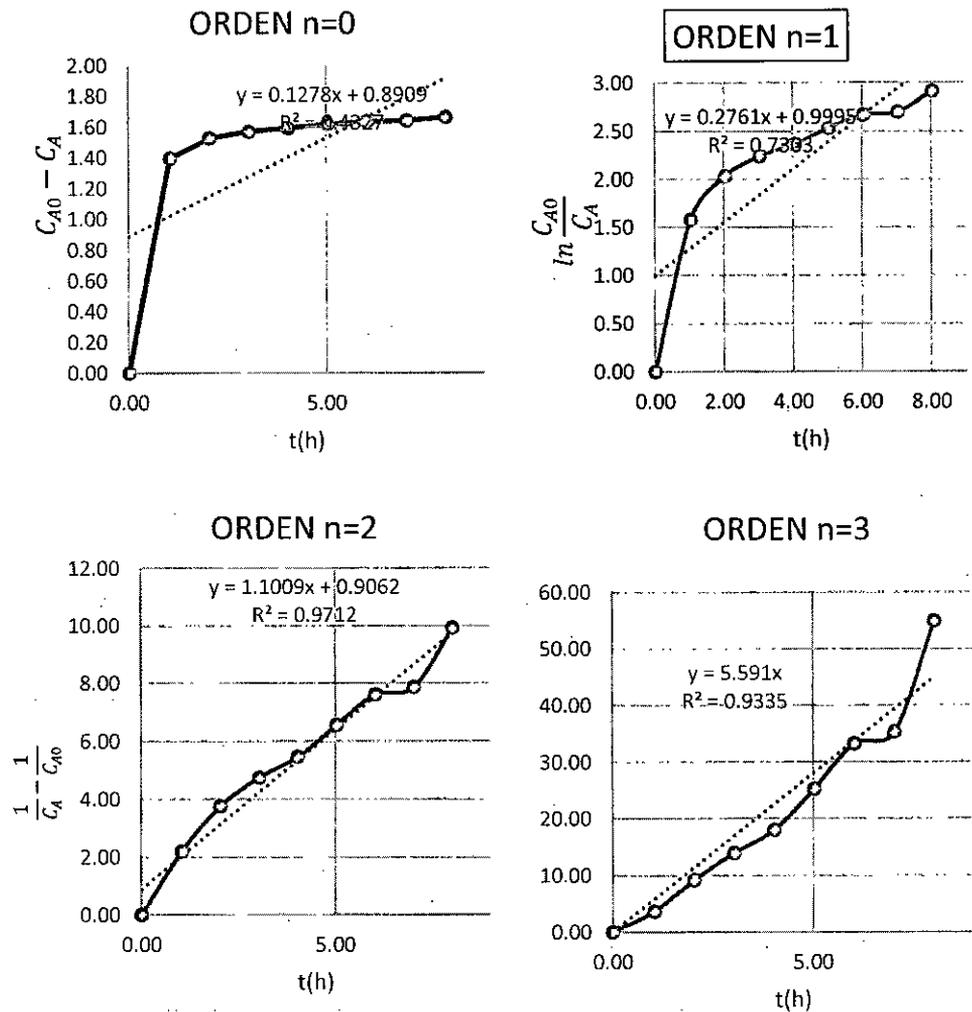
DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS CINÉTICOS (ENSAYO 6)

T(°C)	t(h))	$C_{A.F} \left(\frac{mol}{l} \right)$	n=0	n=1	n=2	n=3
			$C_{A0} - C_A$	$\ln \frac{C_{A0}}{C_A}$	$\frac{1}{C_A} - \frac{1}{C_{A0}}$	$\frac{1}{2} \left(\frac{1}{C_A^2} - \frac{1}{C_{A0}^2} \right)$
140	0,00	1,76	0,00	0,00	0,00	0,00
220	1,04	0,36	1,40	1,58	2,20	3,66

220	2,04	0,23	1,53	2,03	3,77	9,23
220	3,04	0,19	1,57	2,24	4,75	14,00
220	4,04	0,17	1,59	2,36	5,46	18,03
220	5,04	0,14	1,62	2,53	6,57	25,29
220	6,04	0,12	1,64	2,67	7,61	33,26
220	7,04	0,12	1,64	2,70	7,86	35,33
220	8,04	0,10	1,67	2,92	9,93	54,93

GRAFICO 5.18

VARIACIÓN DEL VALOR ÁCIDO EN EL PROCESO (ENSAYO 6)



Según las gráficas:

n	K_V	K_V	R^2
0	0,128 $l.mol.h^{-1}$	$3,550 \times 10^{-5}$ $l.mol.s^{-1}$	0,433
1	0,276 h^{-1}	$7,669 \times 10^{-5}$ s^{-1}	0,730
2	1,101 $l.(mol.h)^{-1}$	$3,058 \times 10^{-4}$ $l.(mol.s)^{-1}$	0,971
3	5,591 $l^2.mol^{-2}.h^{-1}$	$1,553 \times 10^{-3}$ $l^2.mol^{-2}.s^{-1}$	0,934

➤ **Ensayo 7:**

Tipo de aceite: Aceite de pescado

Proceso a: $T_1 = 205^\circ C$ y $X_2 = 60 g$.

CUADRO 5.17

PARÁMETROS Y CÁLCULOS EN EL PROCESO DEL ENSAYO 7

TEMP (°C)	Hora	Visc. G-H	V.A	t(h)	[Anh. Fta]	%Conver.	W_{agua}
126	9:12		0	0	260,9	0	0
160	9:20		115,2	0,13	147,77	43,36	13,74
176	9:30		108,7	0,30	123,19	52,78	16,73
188	9:40		95,4	0,47	105,02	59,75	18,93
205	9:55		86,1	0,72	92,72	64,46	20,43
205	10:10		77,3	0,97	81,99	68,58	21,73
205	10:30	$A_1^2 - A$	57	1,30	59,65	77,14	24,44
205	11:30	$C^B - D$	35,7	2,30	36,31	86,08	27,28

205	12:50	17 - J	20,5	3,63	20,22	92,25	29,23
205	13:30	19 - J	16	4,30	15,44	94,08	29,81
205	14:30	R ⁸	12,7	5,30	12,17	95,33	30,21
205	15:00	U ⁵	7,7	5,80	7,35	97,18	30,80

GRAFICO 5.19

CONSUMO DEL ANHÍDRIDO FTÁLICO EN EL PROCESO (ENSAYO 7)

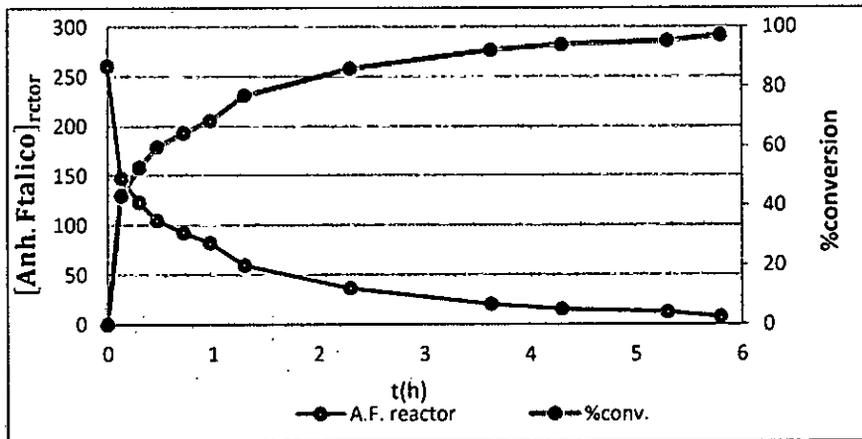
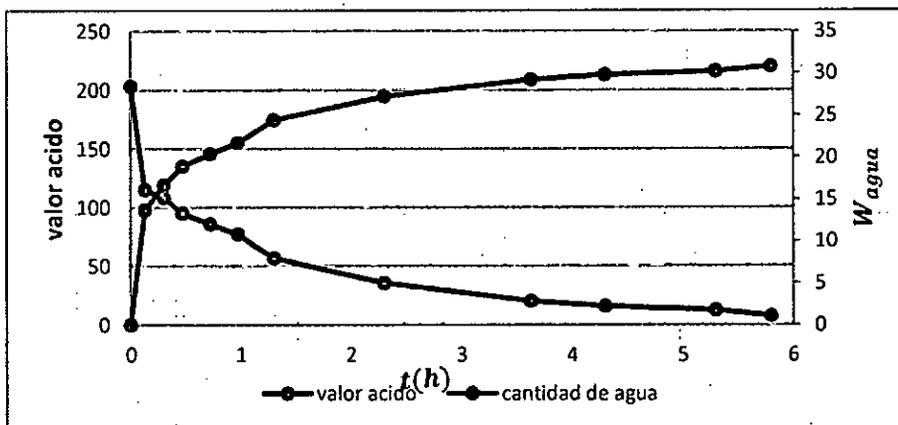


GRAFICO 5.20

VARIACIÓN DEL VALOR ÁCIDO EN EL PROCESO (ENSAYO 7)



CUADRO 5.18

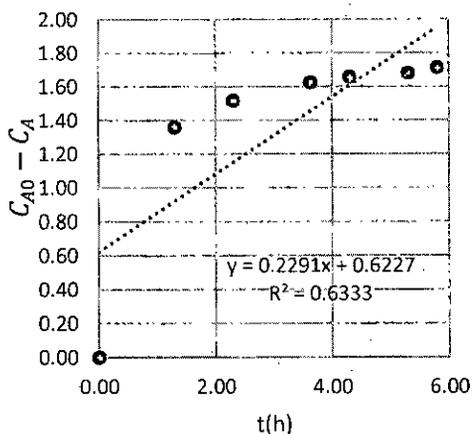
DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS CINÉTICOS (ENSAYO 7)

T(°C)	t(h)	$C_{A,F}(\frac{mol}{l})$	n=0	n=1	n=2	n=3
			$C_{A0} - C_A$	$\ln \frac{C_{A0}}{C_A}$	$\frac{1}{C_A} - \frac{1}{C_{A0}}$	$\frac{1}{2} \left(\frac{1}{C_A^2} - \frac{1}{C_{A0}^2} \right)$
126	0,00	1,76	0,00	0,00	0	0
205	1,30	0,40	1,36	1,48	1,917	2,925
205	2,30	0,24	1,52	1,97	3,514	8,170
205	3,63	0,14	1,62	2,56	6,763	26,710
205	4,30	0,10	1,66	2,83	9,032	45,915
205	5,30	0,08	1,68	3,06	11,606	73,938
205	5,80	0,05	1,71	3,57	19,601	203,239

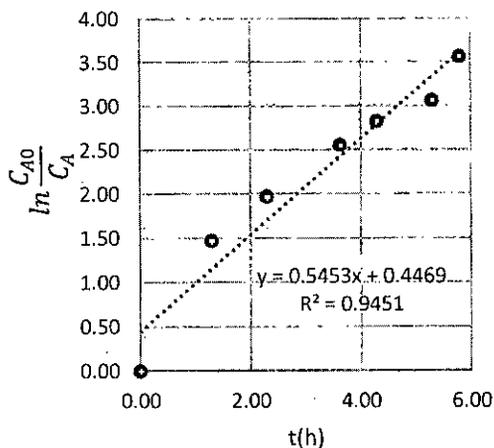
GRAFICO 5.21

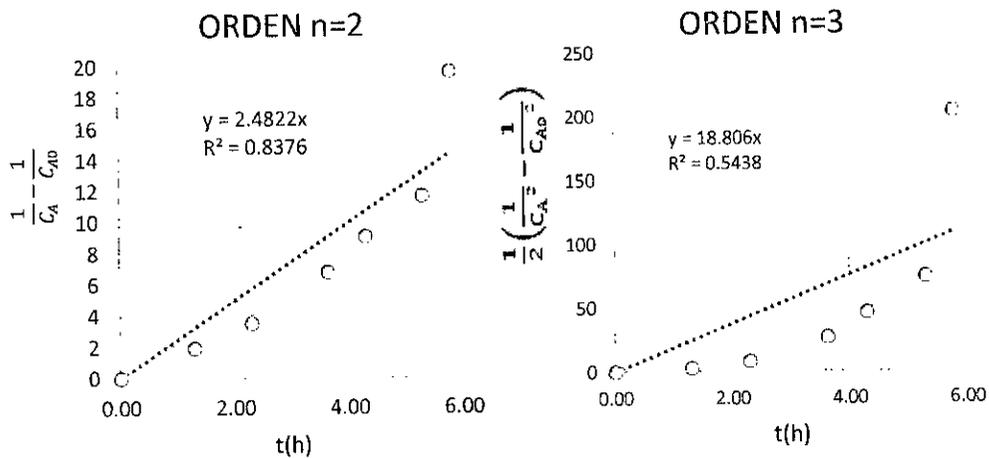
DETERMINACIÓN DEL N° DE ORDEN Y K_V (ENSAYO 7)

ORDEN n=0



ORDEN n=1





Según las gráficas:

n	K_V	K_V	K_V	R^2
0	0,229	l.mol. h^{-1}	$6,364 \times 10^{-5}$	l.mol. s^{-1}
1	0,545	h^{-1}	$1,515 \times 10^{-4}$	s^{-1}
2	2,927	l. (mol. h)^{-1}	$8,129 \times 10^{-4}$	l. (mol. s)^{-1}
3	18.806	$\text{l}^2.\text{mol}^{-2}.\text{h}^{-1}$	$5,224 \times 10^{-3}$	$\text{l}^2.\text{mol}^{-2}.\text{s}^{-1}$

➤ **Ensayo 8:**

Tipo de aceite: Aceite de pescado

Proceso a: $T_2 = 220^\circ\text{C}$ y $X_2 = 60 \text{ g}$.

CUADRO 5.19

PARÁMETROS Y CÁLCULOS EN EL PROCESO DEL ENSAYO 8

TEMP (°C)	Hora	Visc. G-H	V.A	t(h)	[Anh. Ftalico] _{rcto}	%Conver,	W_{agua}
126	9:30		203,4	0	260,9	0,00	0
190	9:48		102,1	0,30	130,97	49,80	15,78
200	10:10		80,2	0,67	89,11	65,84	20,86

220	10:25	$A_2^2 - A_1$	70,3	0,92	74,23	71,55	22,67
205	11:25	$A_1^5 - A$	46,4	1,92	48,08	81,57	25,85
220	12:50	$C^4 - D$	32,6	3,34	32,65	87,48	27,72
220	13:25	$D^2 - E$	30,9	3,92	30,32	88,38	28,01
220	14:25	$F^5 - G$	25	4,92	24,46	90,63	28,72
220	15:25	$K^7 - L$	21,7	5,92	21,06	91,93	29,13
220	16:25	$S^2 - T$	17,4	6,92	16,81	93,56	29,65
220	17:25	$W^3 - X$	14,6	7,92	14,02	94,63	29,99
220	18:25	$Z_4^3 - Z_5$	12,96	8,92	12,40	95,25	30,18

GRAFICO 5.22

CONSUMO DE ANHÍDRIDO FTÁLICO EN EL PROCESO (ENSAYO 8)

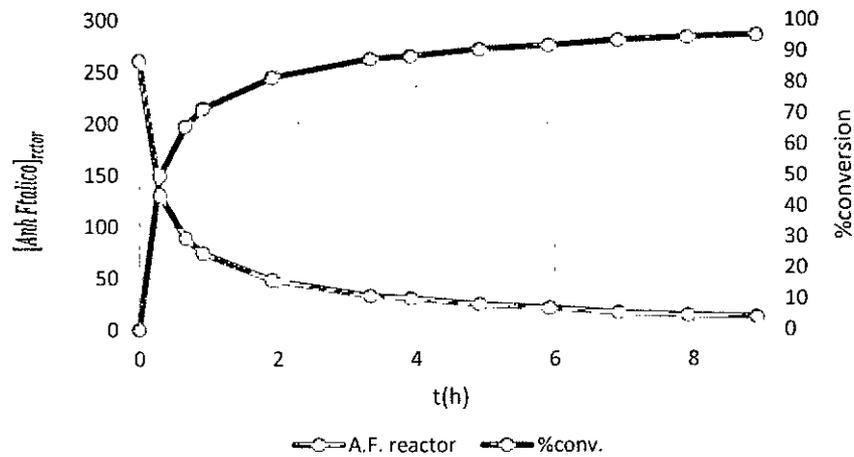
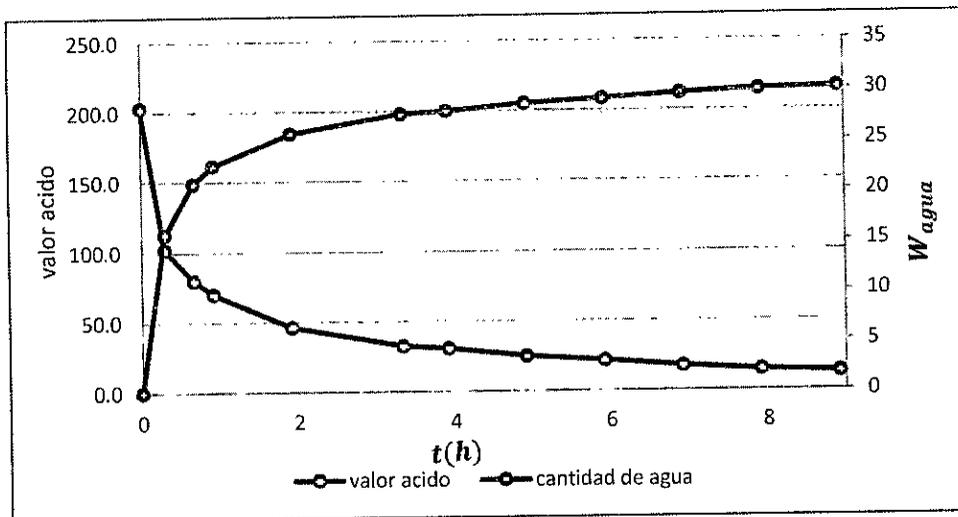


GRAFICO 5.23

VARIACIÓN DEL VALOR ÁCIDO EN EL PROCESO (ENSAYO 8)



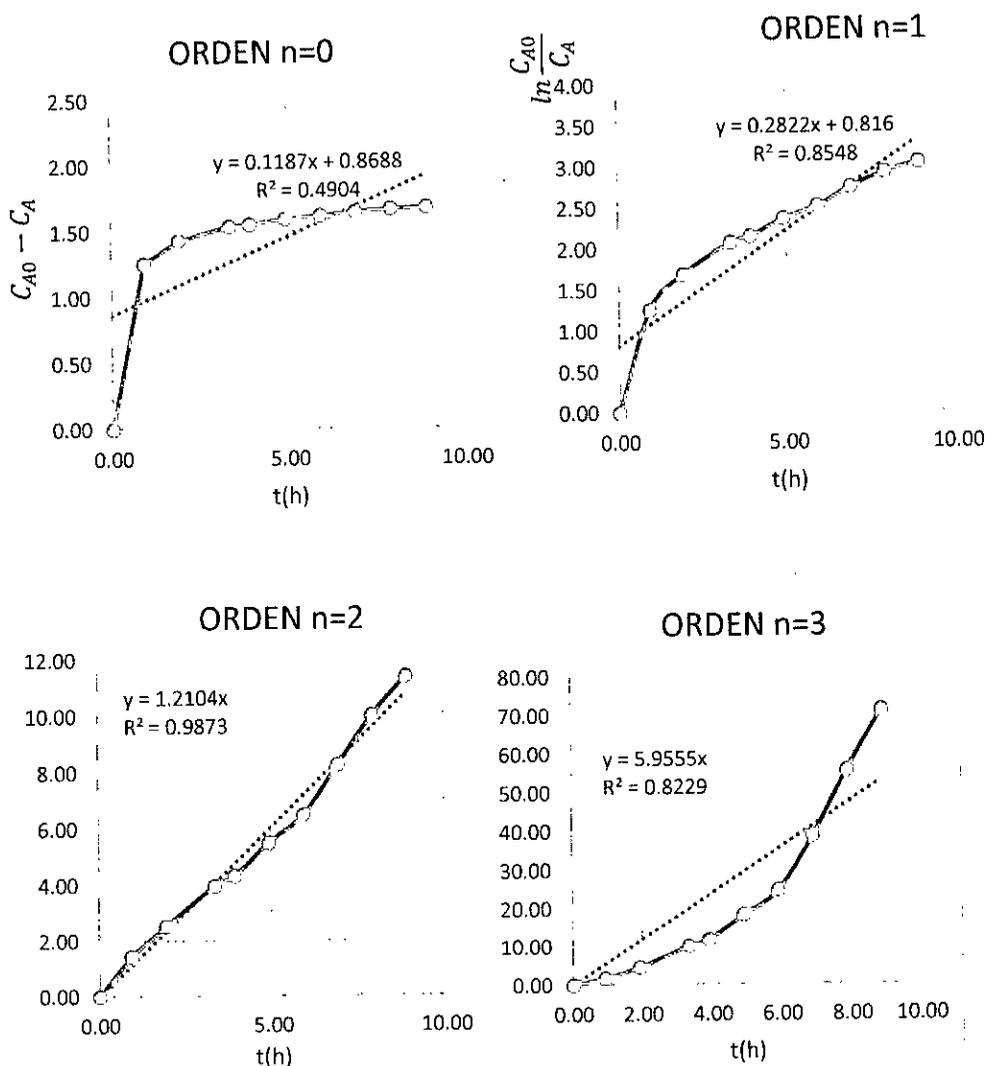
CUADRO 5.20

DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS CINÉTICOS (ENSAYO 8)

T(°C)	t(h)	$C_{A,F} \left(\frac{mol}{l} \right)$	n=0	n=1	n=2	n=3
			$C_{A0} - C_A$	$\ln \frac{C_{A0}}{C_A}$	$\frac{1}{C_A} - \frac{1}{C_{A0}}$	$\frac{1}{2} \left(\frac{1}{C_A^2} - \frac{1}{C_{A0}^2} \right)$
126	0,00	1,76	0,00	0,00	0,00	0,00
220	0,92	0,50	1,26	1,26	1,43	1,83
220	1,92	0,32	1,44	1,69	2,51	4,59
220	3,34	0,22	1,54	2,08	3,97	10,14
220	3,92	0,20	1,56	2,15	4,32	11,78
220	4,92	0,17	1,60	2,37	5,49	18,20
220	5,92	0,14	1,62	2,52	6,47	24,60
220	6,92	0,11	1,65	2,74	8,25	38,71
220	7,92	0,09	1,67	2,92	10,00	55,70
220	8,92	0,08	1,68	3,05	11,38	71,27

GRAFICO 5.24

DETERMINACIÓN DEL N° DE ORDEN Y K_V (ENSAYO 8)



Según las gráficas:

n	K_V	K_V	R^2
0	0,119 $l.mol.h^{-1}$	$3,297 \times 10^{-5}$ $l.mol.s^{-1}$	0,490
1	0,282 h^{-1}	$7,839 \times 10^{-5}$ s^{-1}	0,855
2	1,210 $l.(mol.h)^{-1}$	$3,362 \times 10^{-4}$ $l.(mol.s)^{-1}$	0,987
3	5,956 $l^2.mol^{-2}.h^{-1}$	$1,654 \times 10^{-3}$ $l^2.mol^{-2}.s^{-1}$	0,823

- ✓ Con los ensayos realizados los parámetros analizados fueron:
Kv, n° de orden de reacción, grado de conversión, viscosidad.

CUADRO 5.21

VISCOSIDAD Y PARÁMETROS CINÉTICOS DE LOS 8 ENSAYOS

Temp.	Cant. Xilol	Tipo de Aceite	Kv	n	%conversión	Viscosidad
205	40	soya	$8,292 \times 10^{-5}$	1	97,98	$A_1^8 - A$
220	40	soya	$5,986 \times 10^{-5}$	1	99	$T^5 - U$
205	60	soya	$4,317 \times 10^{-5}$	1	97	$A^2 - B$
220	60	soya	$1,054 \times 10^{-4}$	1	98,48	$S^2 - T$
205	40	pescado	$0,800 \times 10^{-5}$	1	97,7	$J^5 - K$
220	40	pescado	$3,058 \times 10^{-4}$	2	94,59	$Z_4^3 - Z_5$
205	60	pescado	$1,515 \times 10^{-4}$	1	97,18	$U^5 - V$
220	60	pescado	$3,362 \times 10^{-4}$	2	95,25	$Z_4^3 - Z_5$

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Contrastación de hipótesis con los resultados

- **Hipótesis general**

Según los resultados obtenidos el avance de reacción con el aceite de pescado es más rápida que la del aceite de soya, lo cual se comprobó con el promedio de la $K_{v,soya} = 7,28 \times 10^{-5}$ y $K_{v,pescado} = 22,04 \times 10^{-5}$, en cuanto mayor sea la constante de velocidad mayor será la viscosidad que toma la resina.

- **Hipótesis específica 1**

Se llega a caracterizar los dos aceites, donde para el aceite de soya resulto un índice de yodo de 135,31, índice de saponificación de 96,58 e índice de acidez de 7,88, de igual manera para el aceite de pescado resulto un índice de yodo de 179,68, índice de saponificación de 179,55 y índice de acidez de 9,77.

- **Hipótesis específica 2**

De las condiciones de operación seleccionadas (tipo de aceite, cantidad de xilol y temperatura), la que más influye en el proceso es el tipo de aceite utilizado en la producción de resinas alquídicas lo cual fue comprobado con los datos estadísticos.

VII. CONCLUSIONES

- a) Se determinó que el comportamiento de aceite de soya es menos reactivo que del aceite de pescado. lo cual se vio reflejado en la constante velocidad: $K_{v,soya} < K_{v,pescado}$ y en la viscosidad debido al grado de instauración de los aceites.
- b) Las características fisicoquímicas de los aceites nos indicaron el grado de insaturación de los aceites, contenido de ácidos grasos y grado de acidez, con lo cual se concluyó que el grado de insaturación del aceite de pescado es mayor que el aceite de soya.
- c) De las condiciones de operación que influyen en la producción de resinas, se seleccionó solo tres parámetros que fueron el tipo de aceite, cantidad de xilol y temperatura. El tipo de aceite fue el parámetro más influyente que afecta en la producción de resinas alquídicas.

VIII. RECOMENDACIONES

- a) Para un posterior estudio se recomienda un análisis detallado en el proceso de esterificación, tomando en cuenta la variación de temperatura, haciendo uso de un mecanismo de reacción.

- b) Realizar los controles con una variación de tiempo no mayor a 1 hora para tener datos más exactos.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALONSO FELIPE, José Vicente. **Pinturas, Barnices Y Afines: Composición, Formulación Y Caracterización**. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales Universidad Politécnica de Madrid. 2013.
2. BAEZ RIVEROS, Oscar, et al. **Obtención de una Resina Alquídica a partir de Aceite de Palma Crudo A Escala Laboratorio**, en *Grupo de investigación: Simulación de Procesos*. Vol.3: 42 a 55. COLOMBIA. Febrero 2010.
3. BARRIOS MIX, Franz Augusto. **Síntesis de Esteres Poliméricos a partir de: Ácidos grasos, Ácidos polibásicos y alcoholes poli hídricos**. Tesis de grado. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. 1997.
4. BRAVO SILVA, Ana y CARDONA ARANGO, Rafael. **Obtención de una Formulación de Barniz con Base en Aceite de Soya a Escala de Laboratorio**. Universidad EAFIT, Medellín Colombia 2009.
5. CALVO CARBONELL, Jordi. **Pinturas y Barnices (Tecnología básica)**. España. Editorial Ediciones Díaz de Santos de Madrid - España S.A. 2014.
6. CANEDA, Rodolfo V. **Cinética Química**. Argentina. Editorial Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico del

- Departamento de Asuntos Científicos de Washington, D.C.1978.
7. CARDEÑO, Fernando, et al. **Síntesis de Resinas Alquídicas a partir de Aceites de Higuera, de Palma y de Fritura, Mezclados con Aceite de Soja.** *Información Tecnológica*. Vol. 24 (4):33-42. MEDELLIN-COLOMBIA. Abril 2013.
 8. CARPENA ASHTU, Inés Clementina. **Fábrica alquídicas para la elaboración de pinturas.** Tesis para el grado de ingeniera química. Lima. Universidad Nacional de Ingeniería. 2006.
 9. CORREA ISAZA, Juan David Y RESTREPO LONDOÑO, Erika. **Análisis de Alternativas en las Condiciones de Proceso y su Efecto en el Tiempo de Esterificación y el Consumo Energético en la Producción de una Resina Alquídica.** Tesis de grado. Medellín. UNIVERSIDAD EAFIT. 2007.
 10. DE LO SANTOS, B. **Análisis de grasas y aceites: Índice de refracción, yodo, saponificación y peróxido.** 2012. Disponible: <http://www.ciens.ucv.ve:8080/generador/sites/mmedina/archivos/Practica13.pdf>. Artículo web. Consultada el 27 de agosto del 2017.
 11. DIAS COSTA, Yanna. **Lípidos.** 2010. Disponible en: <https://www.infoescuela.com/bioquimica/lipidos/>. Consultada el 30 de setiembre del 2017.
 12. GIUDICE, Carlos A. Y PEREYRA, Andrea M. **Tecnología de Pinturas y Recubrimientos: Componentes, Manufactura y**

- Control de Calidad.** Argentina. editorial: EDUTECNE: Universidad Tecnología Nacional-Argentina. Primera Edición. 2009.
13. GONZALEZ MONTERROSO, Andrés. **Sustitución de Resina de Soya por Resina Media de Café en la Fabricación de Pinturas Alquídicas.** Ensayo Monográfico previo a conferirse el Título de licenciado. Guatemala. Universidad Rafael Landívar. 2009.
14. JALANI B. y colaboradores. **Perspectivas para el siglo XXI, la palma y la calidad de aceite ideales para el futuro.** Institute of Malaysia. Volumen 14, Número Especial 1993.
15. MARAMBIO, Oscar G. **Práctica de Índice de Saponificación de Grasas y Aceites.** 2012. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/33837810/Indice-de-saponificacion-Organicaiii-2012>. Consultada el 27 de agosto del 2017.
16. MEDINA M., Gilma Beatriz. UNIVERSIDAD NACIONAL DE ANTIOQUIA. **Aceites y grasas comestibles.** 2010. Disponible en: http://aprendeenlinea.udea.edu.co/lms/moodle/file.php/424/Gilma_Medina/Grasasyaceites/Documento_Grasas_y_aceites.pdf. Artículo web. Consultada el 10 de octubre de 2017.
17. NICKS, Peter F. De ICI Paints. **Utilización de Aceites Vegetales en la Fabricación de Pinturas.** De Revista Palmas. Volumen 11(3):21 a 23. 1990.
18. NORMA TECNICA COLOMBIANA (NTC 218). **Grasas y aceites. Método de determinación de la acidez.** Editada por el instituto

- Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC),
Bogotá, 1999.
19. NORMA TÉCNICA COLOMBIANA (NTC 283). **Grasas y aceites.**
Método de determinación del índice de yodo. Editada por el
Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación
(ICONTEC), Bogotá, 2002.
20. NORMA TÉCNICA COLOMBIANA (NTC 335). **Grasas y aceites.**
Método de determinación del índice de saponificación. Editada
por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación
(ICONTEC), Bogotá, 1998.
21. OLIVARES, Carlos. **Cambio de los Condensadores #1 Y #2 en**
Planta de Resinas de Tricolor S.A. Proyecto para optar al título
de ingeniero civil químico. Chile. Pontificia Universidad Católica de
Valparaíso. 2015.
22. PORRAS, O.M. **Resinas Alquídica**, en *plásticos modernos*, *Juan*
de la Cierva, I-Madrid. Anuario 1966: 135 a 143.
23. TEXTOS CIENTIFICOS.COM. **Ácidos Grasos**. 2005. Disponible
en: <https://www.textoscientificos.com/quimica/acidos-grasos>.
Artículo web. Consultada el 27 de agosto del 2017.
24. WALKER, Frederick. **Introducción a los Polímeros y las**
Resinas. España. Publicado por la Federation of Societies for
Coating Technology in USA. Segunda Edición. 2002.
25. ZAMORA BURBANO, Ángel María. **Evaluación del aceite de**

lupino andino (*Lupinus mutabilis*, L.) como alternativa energética para la producción de biodiesel. Tesis para optar el título de Magister en sistemas de Gestión Ambiental. Ecuador. Universidad De Las Fuerzas Armadas. 2015.

X. ANEXOS

➤ Matriz de consistencia completa

“COMPORTAMIENTOS DEL ACEITE DE SOYA Y DEL ACEITE DE PESCADO A DISTINTAS CONDICIONES DE OPERACIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE RESINAS ALQUÍDICAS”

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLES DEP.	DIMENSIONES	INDICADORES	METODO
¿Cómo son los comportamientos del aceite de soya y del aceite de pescado a distintas condiciones de operación para la producción de resinas alquídicas?	Determinar los comportamientos del aceite de soya y del aceite de pescado a distintas condiciones de operación para la producción de resinas alquídicas	Los comportamientos del aceite de soya y del aceite de pescado a distintas condiciones de operación nos permitirán conocer la constante de velocidad, orden de la reacción, viscosidad y el porcentaje de conversión.	Y= Comportamientos del aceite de soya y del aceite de pescado en la producción de resinas alquídicas	Valor ácido Tiempo Viscosidad	mg KOH/g. De muestra segundos ku	Ensayos en el laboratorio.
PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJ. ESPECIFICOS	HIP. ESPECIFICA	VARIABLES IND.	DIMENSIONES	INDICADORES	METODO
¿Cuáles son las características fisicoquímicas de los aceites de soya y de pescado?	Determinar las características fisicoquímicas de los aceites de soya y pescado.	Las características fisicoquímicas identificadas en los aceites son el índice de iodo, índice de saponificación, Índice de acidez.	X1=Características del tipo de aceite.	Índice de yodo Índice de acidez Índice de saponificación	g Iodo/100 g de aceite. mg KOH / g. de aceite. mg de KOH / g. de aceite.	NTC 283 NTC 218 NTC 335
¿Cuáles son las condiciones de operación para la producción de resinas alquídicas?	Seleccionar las condiciones de operación para la producción de resinas alquídicas.	Las condiciones de operación para la producción de resinas alquídicas dependen de la caracterización y tipo de aceite.	X2=Condiciones de operación .	Temperatura Cantidad de xilol Tipo de aceite	°C ml soya o pescado	Ensayos en el laboratorio.