

UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO” DE MANABÍ

FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL.

TESIS DE GRADO

PREVIO A LA OBTENCION DEL TITULO DE:

INGENIERO INDUSTRIAL.

MENCIÓN EN:

GESTIÓN DE PRODUCCIÓN.

TEMA:

“MODELACIÓN DEL PROCESO DE INTERESTERIFICACIÓN ENZIMÁTICA EN LA OBTENCIÓN DE BASES GRASAS PARA APLICACIÓN EN SHORTENINGS Y MARGARINAS, A PARTIR DE GRASAS VEGETALES EN LA PLANTA PILOTO DE LA EMPRESA LA FABRIL CANTÓN MONTECRISTI, 2011-2012”.

AUTOR:

JAVIER NICOLÁS CHÁVEZ SOLÓRZANO.

DIRECTOR DE TESIS:

ING. JOUBER AZUA ALVIA.

MANTA- MANABÍ-ECUADOR.

2011- 2012

TESIS DE GRADO

Sometida a consideración de la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, como requisito, previo a la obtención del Título de Ingeniero Industrial.

APROBADA POR:

Ing. Leonor Vizuetta Gaibor
Decana de la Facultad

Ing. Joubert Azua Alvia.
Director de Tesis

Jurado Examinador

Jurado Examinador

DECLARATORIA PROFESOR GUIA

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, dando mis conocimientos para un adecuado desarrollo del tema escogido, y a la vez dando cumplimiento a todas las disposiciones legales y vigentes que regulan los trabajos de titulación.”

Ing. Joubert Azua Alvia
Director de Tesis

DECLARATORIA PROFESIONAL GUIA

“Declaro haber guiado este trabajo a través actividades periódicas encomendadas conjuntamente con el estudiante, dando mis conocimientos para un adecuado desarrollo del tema escogido, y a la vez dando cumplimiento a todas las disposiciones legales y vigentes que regulan los trabajos de titulación.”

Ing. Fredy Toro Loor.
Guía de Tesis.

DECLARATORIA DEL AUTOR

Declaro que este trabajo es original de mi autoría que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se han respetado las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigente.

Javier Nicolás Chávez Solórzano.

INVESTIGADOR.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente a Dios por llenar mi vida de fortaleza en los momentos más difíciles de mi existencia y así poder hacer realidad este gran objetivo.

A mis padres **Cipriano Chávez** y en especial a mi madre, **Cristina Solórzano**, es gracias a ellos que hoy en día soy quien soy, a ellos le debo todo. A mi tía Juanita Chávez y esposo Sr. Pedro Alcívar, por brindarme siempre sus consejos y su apoyo incondicional.

A mis hermanos, **Gualberto, Carlos, Eduardo** y mi hermana **Lenny**, por siempre haberme dado sus fuerzas y motivación para seguir luchando por mis metas.

Agradezco infinitamente a el **Ing. Joubert Azua Director** de Tesis, por su orientación, y de igual manera a la **Ing. Leonor Vizuite Gaibor** por su constante apoyo incondicional y consejos brindado.

Al Área de Innovación de La Fabril por haberme dado la apertura y oportunidad de poder desarrollar la presente investigación, **Ing. Percival Andrade, Ing. Elizabeth Marcillo, Ing. Cecilia Ulloa** y al **Ing. Freddy Toro**, por afectuosamente ser mi guía tesis, quien me ha brindado su conocimiento y apoyo incondicional para llevar a efecto la presente investigación, también a todos quienes me impulsaron a seguir adelante y así lograr mis objetivos propuestos.

Javier Nicolás Chávez Solórzano.

DEDICATORIA

A Dios

A mis padres,

A mi esposa,

A mi familia.

Javier Nicolás Chávez Solórzano.

RESUMEN

El renovado interés de producir grasas con propiedades plásticas adecuadas para aplicación en shortening y margarina ha generado que las industrias de grasas y aceites utilicen procesos tales como hidrogenación e interesterificación química, estos a su vez generan efectos colaterales en quienes consumen ingestas repetitivas, en el caso de la hidrogenación parcial la cual conlleva a la producción de tras-isómeros los mismos que aumenta el riesgo de enfermedades al corazón, es por tal razón el interés de buscar procesos alternativos.

Ante lo indicado se planteó la siguiente hipótesis “Con el modelo experimental en el proceso de interesterificación enzimática se mejorara la producción de las bases grasas, logrando lípidos estructurados funcionales para la aplicación industrial.”

Se confirma la H_0 debido a que con la modelación experimental del proceso de interesterificación enzimática se logró determinar las variables significativas para el mismo, las cuales son el número de pasos, caudal y la temperatura cuando interactúa con el caudal, dichas variables pueden ser manipulables utilizando la ecuación matemática descrita en la página 102 del presente estudio, logrando predecir los resultados con una relación de confiabilidad $R^2= 0.8762$, y garantizando resultados como los comparados en el capítulo V de la presente Investigación generando productos con altísimos niveles de calidad

La mejora del proceso consecuentemente a lo antes mencionado en cuanto a calidad del producto, está dada debido a fundamentos teóricos, que demuestran que el proceso de interesterificación enzimática es un proceso natural lo hace que la grasa interesterificada sea un producto más noble que la obtenida mediante los procesos químicos.

En lo que respecta al proceso, con el modelo se logra obtener predicciones del comportamiento de las grasas bases para aplicación industrial y de esta forma lograr el control del mismo sin afectar los parámetros de calidad, y obtener resultados con una mayor rapidez ahorrando tiempo y gastos de ensayos.

Los capítulos contenidos en la presente investigación muestran una revisión histórica de la compañía La Fabril, los sustentos teóricos, así como también la descripción y problemática de los procesos actuales, proponiendo la interesterificación enzimática como una nueva alternativa para obtención de bases grasas para aplicación industrial, mejorando el control del proceso realizando un estudio experimental para determinar las variables que causan efectos significativos a dicho proceso.

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla # 2.1. Características Fisicoquímicas de Aceite de Palma.....	29
Tabla # 2.2. Características Fisicoquímicas de Aceite de Palmiste.....	30
Tabla # 2.3 Características Fisicoquímicas de Aceite de Soya.....	31
Tabla # 4.1. Parámetros de Calidad básicos de Materias grasas bases para interesterificar.....	75
Tabla # 5.1. Estructura de los triglicéridos comparativos de las grasas interesterificadas.....	79
Tabla # 5.2 Comparación Costos Estimados de Producción Proyectados Interesterificación Química vs. Interesterificación Enzimática.....	82
Tabla # 5.3. Contenido de Sólidos Grasos de ensayos de productos interesterificados Química Vs. Enzimáticamente.....	86
Tabla # 5.4. Resultados de los datos de la prueba t student para I.Q. Vs. I.E.....	88
Tabla # 6.1. Datos contenidos de solidos grasos, Análisis Laboratorio Instrumental La Fabril.....	93
Tabla # 6.2. Resumen de resultados obtenidos a través de análisis estadístico con el software Minitab.....	95
Tabla # 6.3. Resumen de resultados Obtenidos a través de análisis estadístico con el software Minitab.....	96
Tabla # 6.4. Comparación de los datos calculados por el modelo vs Datos experimentales.....	102

ÍNDICE DE IMÁGENES.

Imagen # 2.1. Estructura de un Ácido Graso Saturado.....	16
Imagen # 2.2. Estructura de un Ácido Graso Mono insaturado.....	17
Imagen # 2.3. Estructura de un Ácido Graso Insaturado.....	18
Imagen # 2.4. Ácido Graso Alfa Linoleico (omega 3).....	19
Imagen # 2.5. Ácido Graso Linoleico (Omega 6).....	19
Imagen # 2.6. Estructura Geométrica de un ácido graso en forma “TRANS”	20
Imagen # 2.7. Estructura Geométrica de un ácido graso en forma “CIS”	20
Imagen # 2.8. Sitio Activo clave de una enzima.....	23
Imagen # 2.9. Intercambio de ácidos grasos debido a la acción de una lipasa 1-3 específica, entre dos triglicéridos diferentes.....	27
Imagen # 4.1: Diagrama de Interesterificador enzimático a Escala Laboratorio.....	71

INDICE DE GRÁFICOS.

Gráfico # 2.1. Estructura de un Ácido Graso Esteárico.....	16
Gráfico # 2.2. Estructura de un Ácido Graso Oleico.....	17
Gráfico # 2.3. Estructura de un Ácido Graso Linoleico.....	18
Gráfico # 3.1. Diagrama del Proceso de Interesterificación Química.....	47
Gráfico # 3.2. Diagrama del Proceso de Hidrogenación.....	58
Gráfico # 4.1 Diagrama de proceso de interesterificación enzimática....	66
Gráfico # 5.1. Representación Gráfica de CSG a diferentes temperaturas: mescla 1.....	77
Gráfico # 5.2. Representación Gráfica de SFC a diferentes temperaturas mescla 2.....	77
Gráfico # 5.3. Distribución “t” para el análisis estadístico I.Q. Vs I.E.....	88
Gráfico # 6.1: Curva de distribución F para las variables.....	97
Gráfico # 6.2: Curva de distribución F para las Intersecciones.	98
Gráfico # 6.3. Curva de distribución F para la interacción las todas las variables.....	98

ÍNDICE GENERAL

Agradecimientos

Dedicatoria

CAPITULO I

	Pág.
1. Antecedentes.....	1
1.1. La Fabril S.A.....	1
1.2. Portafolio de productos.....	3
1.2.1.1 División alimentos.....	3
1.2.1.2 División de hogar y cuidado personal.....	5
1.2.1.3 División panificación y pastelería.....	6
1.2.1.4 División industrial de aceites y grasas.....	7
1.2.1.5 División industrial de suplementos funcionales.....	7
1.2.1.6 División industrial de jabones y detergentes.....	7
1.2.1.7 Calidad en procesos, productos y cuidado del ambiente..	9
1.3. Direccionamiento estratégico de la empresa.....	10
1.3.1. Misión.....	10
1.3.2. Visión.....	11
1.3.3. Código de ética.....	11
1.3.4. Credo.....	11

CAPITULO II

2. Marco Teórico.....	14
-----------------------	----

2.1. Grasas y aceites.....	14
2.1.1. Grasa.....	14
2.1.2. Aceite.....	15
2.1.3. Triglicéridos.....	15
2.1.4. Ácido graso.....	15
2.1.4.1. Ácidos grasos saturados.....	16
2.1.4.2. Ácidos grasos mono-insaturado.....	16
2.1.4.3. Ácidos grasos poliinsaturados.....	17
2.1.4.3.1. Ácidos grasos esenciales (Ω).....	18
2.1.4.4. Ácidos grasos “cis” y “trans”.....	19
2.1.5. Grasas y aceites vírgenes.....	20
2.1.6. Grasas shortening.....	20
2.2. Procesos de interesterificación.....	21
2.2.1. Interesterificación química.....	21
2.2.2. Interesterificación enzimática.....	21
2.2.3. Interesterificación enzimática Tipo Batch.....	22
2.2.3. Interesterificación enzimática de Lecho Fijo.....	22
2.3. Enzimas.....	23
2.3.1. Lipasas.....	23
2.3.2. Enzimas y Mecanismo de Reacción.....	24
2.4. Producto Interesterificado.....	27
2.5.1. Aceite de Palma.....	28

2.5.1. Aceite de Palmiste.....	29
2.5.1. Aceite de Soya.....	29
2.4. Hidrogenación.....	31
2.5. Diseño y análisis de experimentos.....	32
2.5.1. Pautas generales para diseñar experimentos.....	32
2.5.1.1. Identificación y enunciación del problema.....	33
2.5.1.2. Elección de los factores, los niveles y los rangos....	34
2.5.1.3. Selección de la variable de respuesta.....	38
2.5.1.4. Elección del diseño experimental.....	39
2.5.1.5. Realización del experimento.....	40
2.5.1.6. Análisis estadístico de los datos.....	41
2.5.1.7. Conclusiones y recomendaciones.....	42
2.5.2. Diseño factorial.....	44
2.5.2.1. Diseño factorial general.....	44
2.5.3. Regresión múltiple.....	44

CAPITULO III

3. Procesos actuales.....	45
3.1. Interesterificación química.....	45
3.1.1. Introducción.....	45
3.1.2. Diagrama de flujo del proceso actual.....	47
3.1.3. Descripción del proceso de interesterificación química.....	48
3.1.3.1. Preparación de la materia prima.....	48

3.1.3.2. Alimentación de la materia prima.....	48
3.1.3.3. Sistema de calentamiento-sistema de agitación.....	49
3.1.3.4. Adición de catalizador.....	49
3.1.3.5. Enfriamiento.....	49
3.1.3.6. Adición de ácido cítrico.....	50
3.1.3.7. Blanqueo.....	50
3.1.3.8. Filtración.....	50
3.1.4. Problemática causa del proceso de Interesterificación química.....	51
3.2. Hidrogenación.....	55
3.2.1. La Hidrogenación.....	55
3.2.3. Diagrama de flujo del proceso hidrogenación.....	58
3.2.2. Descripción del proceso hidrogenación.....	59
3.2.3.1. Preparación de la materia prima.....	59
3.2.3.2. Alimentación de la materia prima.....	59
3.2.3.3. Calentamiento y agitación.....	59
3.2.3.4. Adición de catalizador.....	59
3.2.3.5. Barrido con nitrógeno.....	60
3.2.3.6. Hidrogenación.....	60
3.2.3.7. Hidrogeno-enfriamiento.....	60
3.2.3.8. Blanqueo.....	60
3.2.3.9. Filtración.....	61

3.2.4. Problemática causa del proceso hidrogenación.....	61
--	----

CAPITULO IV

4. Propuesta del Proceso de Interesterificación en la Fabril S.A.....	63
4.1. Interesterificación enzimática.....	63
4.2. Beneficios.....	65
4.3 Diagrama de Proceso de Interesterificación enzimática.....	66
4.4 Descripción del proceso de Interesterificación enzimática.....	67
4.4.1. Preparación de la Materia Prima.....	67
4.4.2. Alimentación de Materia Prima	67
4.4.3. Reacción de Interesterificación.....	67
4.4.4. Descarga en Producto en tanque.....	68
4.4.5. ¿Pasa al siguiente proceso?.....	68
4.5. Diseño e implementación del proceso de interesterificación enzimática en la fabril.....	68
4.5.1. Equipo de interesterificación enzimática piloto escala laboratorio.....	68
4.5.2. Lugar.....	69
4.5.3. Materiales.....	69
4.5.4. Equipos.....	70
4.5.5. Esquema.....	71
4.5.5. Puntos críticos del proceso.....	73

4.6. Equipo de interesterificación enzimática escala piloto.....	71
4.7. Puntos críticos del Proceso.....	73
4.7.1. Calidad de la materia prima.....	74
4.8. Ajuste de proceso para interesterificación enzimática.....	75

CAPÍTULO V.

5. Comparación de los procesos de Interesterificación Enzimática vs Química.....	76
5.1. Comparación del contenido de sólidos grasos (%csg) interesterificación enzimática vs química.....	76
5.2. Estructuración de los triglicéridos interesterificación enzimática vs química.....	78
5.3. Pérdidas por reacción.....	80
5.4. Comparación costos operacionales.....	81
5.5. Comparación estadística de los contenidos de sólidos grasos en los productos interesterificación química y enzimática.....	85
5.5.1. Planteamiento de la Hipótesis para definir significancia de variables.....	86
5.5.2. Nivel de significancia.....	87
5.5.3. Estadístico de Prueba.....	87
5.5.4. Conclusión.....	87

CAPITULO VI

6. Modelación del proceso de Interesterificación Enzimática en la Planta Piloto de La Fabril S.A.....	90
6.1. Introducción.....	90
6.2. Identificación y enunciación del problema.....	90
6.2.1. Elección de los factores, los niveles y los rangos.....	90
6.2.2. Selección de la variable de respuesta.....	91
6.2.3. Elección del diseño experimental.....	91
6.2.4. Realización del experimento.....	92
6.2.5. Análisis estadístico de los datos.....	93
6.2.5.1. Planteamiento de la Hipótesis.....	93
6.2. 5.2. Selección del Grado de Significancia.....	95
6.2. 5.3. Análisis estadístico.....	95
6.2. 5.4. Reglas de decisión.....	96
6.2. 5.5. Conclusión.....	99
6.3. Modelación matemática del proceso de interesterificación enzimática.....	99
Hipótesis	
Conclusiones.	
Recomendaciones.	
Bibliografía.	
Anexos.	

INTRODUCCIÓN

El aspecto nutricional de las grasas y los aceites siempre ha sido un punto de discusión, al igual que la reducción del nivel de grasa saturada existente en los productos alimenticios, en la actualidad ha surgido un gran interés en el contenido de ácidos grasos *trans* y el aporte de vitaminas liposolubles naturales de los aceites y las grasas.

Con el objeto de estar siempre acorde con los requerimientos de la calidad nutricional de las grasas, las tecnologías existentes que están en proceso continuo de mejoramiento y a la vez emergen nuevos procesos, principalmente cuando en estudios que se han realizado se ha determinado que la presencia de trans isómeros aumentan el riesgo de enfermedades del corazón si determinados niveles son rutinariamente consumidos.

Esto ha generado un renovado interés en el desarrollo de grasas con propiedades plásticas adecuadas para aplicaciones en shortenings y margarinas porque las características de fusión y solidificación de las grasas vegetales hidrogenadas conllevan a la producción de los trans-isómeros.

La presente investigación va encaminada a realizar una modelación de un proceso de interesterificación enzimática que reemplace la interesterificación química para obtener productos de mejor calidad y con condiciones de procesamiento más naturales. En dicha aplicación se establecerán estudios

de diseño experimental en referente al comportamiento de las formulaciones en los ensayos previos para determinar ecuaciones que puedan servir como base de proceso en la determinación y ajuste de parámetros adecuados para una excelente interesterificación obteniendo los mejores beneficios tanto en calidad de producto como también en el ámbito económico.

CAPITULO I

1. ANTECEDENTES.

1.1. LA FABRIL S.A.

La Fabril es una empresa ecuatoriana que inició sus operaciones industriales en 1966 como comercializadora de algodón en rama, para luego extenderse al sector agroindustrial en 1978 como refinadora de aceites y grasas vegetales.

Muy pronto, en 1981 se orientó al manejo autónomo de sus materias primas, integrando al grupo dos compañías dedicadas a la producción y extracción de aceite de palma. Finalmente, en 1983 incluyó dentro de sus planes industriales la producción de jabones de lavar.

En la década del 90, La Fabril creó el primer Centro de Investigación y Desarrollo Aceites y Grasas vegetales en el país. En éste centro se han generado productos grasos de última generación con alto valor nutritivo, como sustitutos y extensores de manteca de cacao con bases de aceite de Palma y Palmiste.

Junto a clientes industriales, La Fabril emprendió el desarrollo de innovadores productos grasos, que satisfacían sus requerimientos específicos, logrando así tomar gran porción del mercado de consumo industrial.

Al mismo tiempo, la Compañía impulsó la diversificación de sus negocios con la inauguración de una fábrica de plásticos (envases), produciendo así recipientes propios para sus aceites, mantecas y margarinas.

Paralelamente, nació la línea de productos de limpieza, en la que aplicando la misma vocación de investigación- La Fabril logró rápidamente generar productos innovadores en este sector del mercado ecuatoriano. Además, la Compañía puso en funcionamiento la planta de refinación física de aceite más moderna de Latinoamérica y arrancó la planta de producción de jabones.

Debido a la alta calidad de sus productos, en 1991, La Fabril incursionó exitosamente en el mercado internacional teniendo entre sus clientes más importantes a empresas del prestigio de FritoLay, Nestle, Carozzi, Watt's, Danica, entre otros. Sus exportaciones llegaron a países como EEUU, Brasil, Argentina, Venezuela, Colombia, Panamá, Perú, Chile, México, Jamaica y Uruguay.

Con una sostenida tasa de crecimiento durante los últimos 20 años, en el 2002, La Fabril adquirió el negocio de aceites y grasas de Unilever BestFoods, que incluyó la unidad productiva de las marcas de aceite La Favorita, La Favorita Light, Criollo, La Favorita Achiote y las marcas de margarina Marva y Hojaldrina, entre otras.

La calidad de sus productos, la vocación de investigación y su política sostenida de crecimiento hicieron de La Fabril la empresa más grande

del sector de aceites y grasas comestibles del Ecuador, además, de un actor muy importante en la industria de oleaginosas latinoamericana.

En el mercado de jabones de lavar, la Compañía también lidera hoy la producción y las ventas de valor en el sector, ofreciendo productos diferenciados que satisfacen las cambiantes necesidades del consumidor ecuatoriano.

La Fabril impulsa una estrategia de mercadeo imaginativa y agresiva siendo los primeros en lanzar al mercado ecuatoriano productos como:

- Mantecas 100% vegetal, sin sabor, en empaques reutilizables.
- Aceite para consumo en fundas.
- Aceite de Soya trirefinado, especial para el enlatado de atún.
- Margarinas de mesa sin materias primas hidrogenadas.

Como productor de jabones de lavar LA FABRIL se encuentra liderando la posición de ventas en valor en el sector ofreciendo productos diferenciados que satisfacen las cambiantes necesidades del consumidor Ecuatoriano.

1.2. PORTAFOLIO DE PRODUCTOS

Entre las principales líneas de productos fabricados por La Fabril S.A contiene:

1.2.1. DIVISIÓN DE ALIMENTOS

La Fabril crea, diseña y fabrica productos con características únicas para satisfacer los requerimientos de la vida moderna. La tecnología

aplicada a los procesos de refinación ha permitido considerables cambios para lograr productos acordes a las tendencias del mercado, hoy el énfasis está en los aspectos nutricionales y funcionales, por eso ponen especial atención en no generar ácidos TRANS y en preservar el contenido de pro vitaminas y antioxidantes naturales, los triglicéridos poliédricos y los productos secundarios de oxidación son objeto de un estricto control en el proceso de sus productos.

- **Aceites.**

- La Favorita.
- La Favorita Light.
- La Favorita Omega.
- La Favorita Crecer.
- La Favorita Achiote.
- Girasol.
- Girasol oliva.
- Maizol.
- La Perla.
- Criollo.
- Sabrosón.
- Sabrofrito.
- Sabrosalsa.

- **Margarinas.**

- Klar.
- Girasol.
- Marva.
- Rica mesa.

- **Mantecas.**

- La Sabrosa.

1.2.2. DIVISIÓN DE HOGAR Y CUIDADO

PERSONAL.

La Fabril S.A., es una de las industrias más importantes y considerada como las grandes en la producción de jabones de lavar y tocador.

En los últimos tiempos ha ido expandiendo sus líneas a desinfectantes, crema lavavajillas y detergentes líquidos.

Hoy en día la visión es desarrollar y relanzar una innovadora amplia gama de productos de limpieza en general, rentable, con altísimos estándares de calidad fortaleciendo y creando marcas de liderazgo.

Con la misión de suministrar insumos para la higiene industrial, familiar y personal, de una manera eficiente, en las mejores condiciones de rentabilidad, calidad, atractivo visual, precio, fácil manipulación y amigables con el medio ambiente.

▪ Jabones de tocador.

- Defense.
- Duet.
- Jolly.

▪ Jabones de lavar.

- Lava todo.
- Megablu.
- Machete.
- Perla.
- Perla bebe.

▪ Detergentes líquidos.

- Ciclón.
- Perla bebe.

- Perla secret
- **Desinfectante.**
 - Olimpia.
- **Suavizantes.**
 - Perla soft.
- **Detergentes en polvo.**
 - Lava todo chips.

1.2.3. DIVISIÓN PANIFICACIÓN Y PASTELERÍA.

La panadería industrial ha tenido un vertiginoso desarrollo en los últimos años con productos que combinan textura, formas y colores.

La Fabril S.A. tiene amplia experiencia en simular procesos de fabricación de postres y panes industriales donde la grasa es fundamental en la lubricación, la textura y la sensación gustativa, ofrecemos una gran variedad de combinaciones de grasas, además de un amplio rango de grasas para rellenos pasteleros basados en fracciones de palma y Palmiste.

▪ Mantecas.

- Especial.
- Sabropan.
- Panpan.

▪ Margarinas.

- Marva.
- Marva crema.
- Fabripan.
- Hojaldrina.

- **Coberturas.**

- Coberchoc gotas.
- Coberchoc crema.

1.2.4. DIVISIÓN INDUSTRIAL DE ACEITES Y

GRASAS.

La Fabril cuenta con prácticas instalaciones diseñadas para la evaluación funcional de sus productos en el campo de:

- Frituras.
- Galletería.
- Chocolates.
- Helados.
- Panificación y Repostería.
- Cremas.
- Salsas y Mayonesas.

1.2.5. DIVISIÓN INDUSTRIAL DE SUPLEMENTOS

FUNCIONALES.

- Toco 550.
- Toco 880 BA.
- Toco 600.
- Toco BP.
- Toco 880 G.

1.2.6. DIVISIÓN INDUSTRIAL DE JABONES Y

DETERGENTES.

En el área de HCP, también cuenta con pruebas de aplicación y validación de los productos, ensayos de eficacia, performance y atributos físicos. La Fabril cuenta con:

- **Cabinas Piloto.**

Para la evaluación de Calidad e Intensidad de fragancias de Desinfectantes y Limpiadores Fragantes.

- **Cabina con simulación de luz solar.**

Para la evaluación de colores tanto de jabones como prendas después de lavadas sobre todo para calificación de blancos, despercudidos y retiro de manchas.

- **Lavadora**

Para probar funcionabilidad de la línea de detergentes líquidos y en polvo.

- **Cabina para evaluación de residualidad.**

De fragancias en jabones de lavar así como estudio de desgaste de barras.

- **Biocámaras.**

Para el control de estabilidad, simulando temperaturas de almacenamiento normal y acelerado, permitiendo determinar el tiempo de vida útil de los productos.

- **Instrumentos de Laboratorio.**

Para análisis físico químico de materias primas, insumos, aditivos y productos terminados. Muy importante para establecer nuestros parámetros de trabajo durante el desarrollo y extensión de especificaciones al momento de entregar a la producción el nuevo producto.

En los últimos años, La Fabril creció hasta ser una de las 17 empresas más grandes del país, ratificando su liderazgo internacional al instalar, en Montecristi (provincia de Manabí), el mayor Complejo Refinador Oleaginoso de la Región Andina.

Hoy, La Fabril es la primera firma en América del Sur en utilizar la tecnología de “Sublimación” en la refinación de aceites, lo que conserva los compuestos benéficos que tienen los aceites naturales y elimina los ácidos grasos trans.

La Fabril es líder regional en la fabricación de grasas y aceites y de productos de aseo y cuidado personal. También produce insumos para panificación, pastelería, galletería, helados y coberturas, sustitutos de chocolates, aceites para frituras, conservas y pinturas. Además de biocombustibles.

1.2.7. CALIDAD EN PROCESOS, PRODUCTOS Y CUIDADO DEL AMBIENTE.

La Fabril opera con certificaciones de calidad nacional e internacional, entre los que están Sellos de Calidad INEN, Certificación de Buenas Prácticas de Manufactura, ISO 9001 de calidad de procesos e ISO 14001:2004 de gestión ambiental.

En el 2009, la Compañía se convirtió en miembro ordinario de la Mesa Redonda para el Aceite de Palma Sostenible (RSPO, por sus siglas

en inglés), autoridad mundial que vela por el cultivo y producción de palma con los más rigurosos estándares de cuidado del entorno.

La Fabril también incursiona en proyectos verdes como la producción de energía con residuos de la industrialización del atún y la producción de bio-fertilizantes a partir de procesos de refinación de aceites. Además, la empresa es pionera en incorporar nanotecnología para producir con un 100% de tratamiento de efluentes “in situ”.

Desde el año 2003, la empresa consolidó una reducción sostenida del uso de combustibles, agua y energía y aplicó procesos técnicos para tratar sus residuos, clasificándolos en reciclables, no reciclables y peligrosos.

1.3. DIRECCIONAMIENTO ESTRATÉGICO DE LA EMPRESA.

1.3.1. MISIÓN.

La Fabril es una empresa especializada en la producción y comercialización de aceites y grasas vegetales con calidad superior, al menor costo y de una manera eficaz, eficiente y flexible, con una constante vocación de servicio a su comunidad. Fortalecemos día a día nuestra estructura financiera, trabajamos como un sólido equipo humano y superamos a la competencia sobre la base del manejo sustentable del entorno y una gestión integral ética. Creamos marcas de indiscutible liderazgo en el mercado, sobre la base de una relación

personal, justa y transparente con nuestros clientes, proveedores, la comunidad y el medio ambiente.

1.3.2. VISIÓN.

La Fabril será la empresa símbolo de la nueva industria ecuatoriana, ética, pujante, solvente y rentable, reconocida nacional e internacionalmente por sus altísimos niveles de calidad, sus ideas innovadoras, productividad, marcas líderes y su compromiso con la gestión sostenible que promueva el desarrollo de sus miembros, la comunidad, sus clientes y proveedores.

1.3.3. CÓDIGO DE ÉTICA.

Nuestro negocio está basado en un compromiso con nuestros principios, por eso durante el 2007 elaboramos un código de ética que comprende aspectos legales, éticos y de responsabilidad social, y que son la base para llevar a la práctica nuestros valores.

Durante el 2008 desarrollamos las actividades necesarias para implementar y monitorear este código.

1.3.4. CREDO.

Creemos en nosotros.

Porque sabemos que hemos sido, somos y seremos el motor que impulsa el desarrollo y crecimiento de nuestra empresa; somos gente con integridad y con valores; gente con vocación de servicio y

comprometida, logrando que La Fabril sea una empresa referente del Ecuador y del mundo.

Creemos en el trabajo en equipo.

Es nuestro pilar fundamental para conseguir objetivos retadores a través de la cooperación, coordinación, entrega y trabajo compartido de quienes conformamos la familia Fabril, demostrando día a día que nuestro éxito no es una casualidad... es el resultado del esfuerzo de todos.

Creemos en la innovación y calidad.

Estamos convencidos que entregar a la sociedad productos de la más alta calidad solo lo conseguimos creando y mejorando continuamente nuestros procesos, con tecnología de punta y desarrollando nuevas ideas con el fin de garantizar la satisfacción y el bienestar de nuestros consumidores.

Creemos en el desarrollo y progreso.

Sabemos la importancia de contribuir al desarrollo de la economía de nuestro país mediante la generación de empleos directos e indirectos enfocados en el crecimiento, solvencia y permanencia en el mercado nacional e internacional.

Creemos en el futuro.

Porque mantendremos en todo momento el sentido de responsabilidad social y el cuidado del medio ambiente, contribuyendo

de forma proactiva al desarrollo, calidad de vida y bienestar de nuestras familias, clientes, proveedores y futuras generaciones.

CAPITULO II.

2. MARCO TEORICO.

2.1. GRASAS Y ACEITES.

Los aceites y las grasas vegetales provienen de seres vivos. Ellos están siendo modificados continuamente por el entorno y por la acción del tiempo.

De esta misma manera están influenciados todos aquellos productos que se obtengan de estos seres vivos, para los casos todos los aceites vegetales.

Las grasas y aceites son un grupo de sustancias orgánicas muy heterogéneas que comparten dos características:

- Son insolubles en agua.
- Son solubles en solventes orgánicos tales como Hexano, eter, cloroformo.
- Se entiende por grasas o aceites comestibles los alimentos que se componen de glicéridos de ácidos grasos y que pueden ser de origen vegetal, animal o marino.

2.1.1. GRASA.

Es una sustancia grasa sólida a temperatura ambiente. Pertenecen al grupo de los lípidos y vienen en forma sólida. Son la fuente importante de energía en los alimentos.

2.1.2. ACEITE.

Es una sustancia grasa líquida a temperatura ambiente. Es un término genérico para designar numerosos líquidos grasos.

Son de menor densidad que el agua y generalmente no se disuelven en estas.

2.1.3. TRIGLICÉRIDOS.

Constituyen la forma química principal de almacenamiento de las grasas, tanto en los alimentos como en el organismo humano. Son las moléculas constituyente de las grasas formadas por cadenas de Carbono, Hidrogeno y Oxigeno en unión del glicerol con tres ácidos grasos, los cuales son liberados en la luz intestinal en el proceso de la digestión.

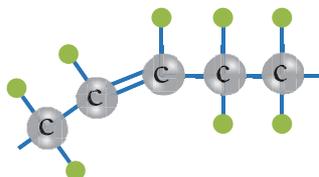
2.1.4. ÁCIDO GRASO.

Típica Cadena de carbonos unidos a moléculas de hidrogeno, unidos al final por un grupo carboxílico.

Forman y caracterizan a los triglicéridos. Están formados por una cadena alifática con un número, en general par, de átomos de carbono (de 4 a 22) y un radical COOH, que les permite unirse a otros grupos.

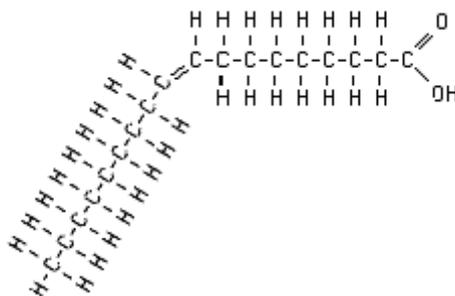
Según la longitud de su cadena pueden ser de cadena corta (4 a 6 átomos de carbono), de cadena media (de 8 a 12) o de cadena larga (de 14 o más). Esta longitud de cadena condiciona su punto de fusión.

Imagen # 2.2 Estructura de un Ácido Graso Mono insaturado.



Fuente: Laboratorio Instrumental La Fabril.2006.

Gráfico # 2.2. Estructura de un Ácido Graso Oleico.

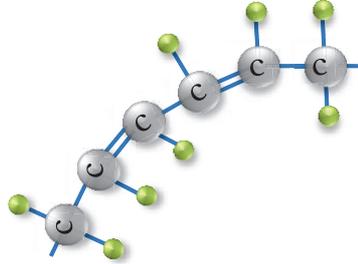


Fuente: Cyclic fatty acid monomer formation in frying fats. I. Determination and structural study".JAOCS 64, 1987.

2.1.4.3. ÁCIDOS GRASOS POLIINSATURADOS.

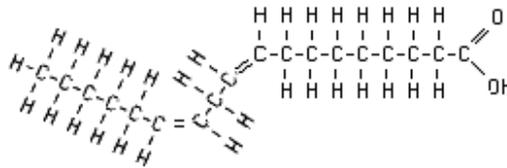
Los ácidos grasos poliinsaturados son ácidos grasos que poseen más de un doble enlace entre sus carbonos. Dentro de este grupo encontramos el ácido linolénico (omega 3) y el linoleico (omega 6) que son esenciales para el ser humano. Tienen un efecto beneficioso en general, disminuyendo el colesterol total. Se pueden obtener de pescados azules y vegetales como maíz, soja, girasol, calabaza, nueces. A continuación en la Imagen # 2.3 se muestra la estructura de un ácido graso poliinsaturado.

Imagen # 2.3. Estructura de un Ácido Graso Insaturado.



Fuente: Laboratorio Instrumental La Fabril.2006.

Gráfico # 2.3. Estructura de un Ácido Graso Linoleico.



Fuente: Cyclic fatty acid monomer formation in frying fats. I. Determination and structural study".JAOCS 64, 1987.

2.1.4.3.1. ÁCIDOS GRASOS ESENCIALES (Ω).

Son ácidos grasos poliinsaturados indispensables para mantener la vida y la salud. Son producidos por los vegetales y peces pero no por el ser humano. El organismo no los puede sintetizar y es necesario ingerirlos con la dieta. Los ácidos grasos esenciales estrictamente indispensables son únicamente dos: el ácido linoleico cabeza de fila de los ácidos grasos omega 6 y el ácido alfa-linolénico, cabeza de fila de los ácidos grasos omega 3.

Según el lugar que ocupa el primer doble enlace respecto al carbono que lleva el grupo metilo (-CH₃), que es el último

carbono de la cadena (carbono "omega") se reconocen tres tipos de ácidos grasos poliinsaturados:

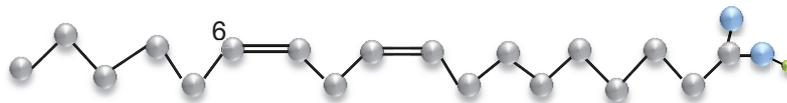
- Serie omega 3. El primer doble enlace está situado en posición 3.
- Serie omega 6. El primer doble enlace está situado en posición 6.
- Serie omega 9. En realidad, no es un ácido graso poliinsaturado, sino mono-insaturado puesto que sólo posee un enlace doble, situado en posición 9.

Imagen # 2.4. Ácido Graso Alfa Linoleico (omega 3).



Fuente: Cyclic fatty acid monomer formation in frying fats. I. Determination and structural study". JAOCS 64, 1987.

Imagen # 2.5. Ácido Graso Linoleico (Omega 6)



Fuente: Cyclic fatty acid monomer formation in frying fats. I. Determination and structural study". JAOCS 64. 1987.

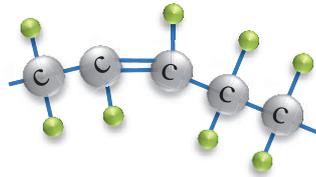
2.1.4.4. ACIDOS GRASOS "CIS" Y "TRANS".

Los ácidos grasos insaturados se encuentran mayormente en la configuración "cis", esto significa que los dos lados del doble enlace se encuentran girados al mismo lado.

En la configuración “trans” los ácidos grasos se encuentran en lados opuestos del doble enlace.

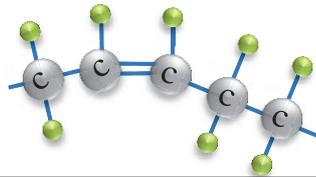
La hidrogenación parcial cambia la posición geométrica de los ácidos grasos de “cis” a “trans”.

Imagen # 2.6. Estructura Geométrica de un ácido graso en forma “TRANS”.



Fuente: Laboratorio Instrumental La Fabril, 2006.
Elaborado Por: Javier Chávez, 2012

Imagen # 2.7. Estructura Geométrica de un ácido graso en forma “CIS”.



Fuente: Laboratorio Instrumental La Fabril, 2006.
Elaborado Por: Javier Chávez, 2012

2.1.5. GRASAS Y ACEITES VÍRGENES.

Se entiende por grasas y aceites vírgenes las grasas y aceites comestibles vegetales obtenidos por procedimientos mecánicos y por aplicación únicamente de calor. Podrán haber sido purificados por lavado, sedimentación, filtrado y centrifugado únicamente.

2.1.6. GRASAS SHORTENING.

Este término se utiliza hoy aplicándolo a todas las grasas industriales (son grasas de uso en panadería, heladería. etc.), excepto aquellos

productos como las margarinas que tienen una proporción significativa de productos no grasos, tales como el agua. También son denominadas “grasas plastificantes” para hacer referencia a la tendencia de estas grasas a reducir la cohesión de las hebras de gluten de trigo en los productos horneados y, por tanto, a plastificarlos o ablandarlos. Los “shortenings” son “grasas emulsionables”, que favorecen la formación de emulsiones grasa/ agua, durante la preparación de la pasta de bollería.

2.2. PROCESOS DE INTERESTERIFICACIÓN.

La interesterificación cambia la posición ordenada de los ácidos grasos del glicerol, cambiando las características funcionales de las grasas.

2.2.1. INTERESTERIFICACIÓN QUÍMICA.

Se denomina interesterificación química a aquella que utiliza catalizadores alcalinos para ser posible la reacción pudiendo así modificar las características fisicoquímicas de las mismas.

2.2.2. INTERESTERIFICACIÓN ENZIMÁTICA.

La interesterificación enzimática también denominada interesterificación dirigida, debido a que solo afecta la posesión 1 y 3 de los triglicéridos, es un proceso biotecnológico que utiliza enzima como catalizadores de reacción.

2.2.3. INTERESTERIFICACIÓN ENZIMÁTICA TIPO BATCH.

La interesterificación enzimática por lote es un sistema que se ha venido utilizando a escala laboratorio desde hace cerca de 20 Años, las causas de porque no se ha sido industrializado es debido al alto costo de las enzimas además, este sistema necesita más tiempo en reacción y más reproceso debido a que se debe retirar la arcilla en el caso de utilizar enzima inmovilizada.

Al retirar la arcilla de la grasa se necesita otro proceso lo que encarecería aún más el proceso de interesterificación enzimática y está a la vez retiene producto en relación 1:1 (Kg. de enzima/Kg. Aceite.), además se utiliza menos enzima pero las reacciones requieren de un tiempo elevado.

2.2.4. INTERESTERIFICACIÓN ENZIMÁTICA DE LECHO FIJO.

La interesterificación enzimática por lecho fijo requiere de un sistema en el cual constará de un reactor denominado reactor enzimático que es donde se colocará la enzima Inmovilizada para este estudio se utilizará la fabricada por Novozymes enzima Lipozymes TL IM, está tomará forma de un lecho por el que se hará pasar la grasa a interesterificar una vez acondicionada.

Al momento de que la grasa entre en contacto con la enzima se

produce la reacción de interesterificación en este proceso enzimático, las dimensiones del reactor en cuanto a base por altura vienen especificados por el proveedor y son condicionantes para una óptima reacción.

2.3. ENZIMAS.

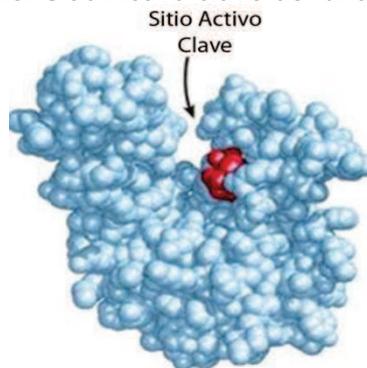
Las enzimas son biocatalizadores (compuestos de origen biológicos) que aceleran las reacciones químicas, el proceso organizado del metabolismo solo es posible porque cada célula dispone de contenido enzimático determinado genéticamente. Casi todas las enzimas son proteínas pero también hay ácidos nucleicos catalíticamente activos llamados “ribozimas”.

2.3.1. LIPASAS

Las lipasas son biocatalizadores, conformados por proteínas globulares y estas a su vez por largas cadenas de aminoácidos que se enrollan formando una estructura 3D.

Una pequeña porción de la enzima está involucrada con la catálisis llamado el sitio activo de la enzima.

Imagen # 2.8. Sitio Activo clave de una enzima.



Fuente: Coto Celia E. Química Viva. Vol. 8. 2009. Universidad de Buenos Aires. Argentina.

2.3.2. ENZIMAS Y MECANISMO DE REACCIÓN.

Las enzimas son catalizadores complejos, constituidas por proteínas globulares, que a temperaturas en torno a 37-70 °C aceleran la velocidad de las reacciones químicas por un factor de 10^3 a 10^{11} respecto a la de las reacciones no catalizadas.¹

Las lipasas son enzimas clasificadas como hidrolasas (glicerol éster hidrolasa, EC3.1.1.3) y actúan sobre el enlace éster de diversos compuestos², con los glicéridos de sus mejores sustratos. Se encuentran comúnmente en la naturaleza y se pueden obtener de fuentes animales, vegetales y microbianas. Inicialmente, se obtuvieron a partir del páncreas de los animales y se utiliza como una ayuda digestiva para el consumo humano debido al bajo rendimiento de la fermentación, las lipasas microbianas también tenía un costo mucho más alto en comparación con otras hidrolasas tales como proteasas y carboxilasas. Sin embargo, los recientes avances en la tecnología del ADN han permitido a los fabricantes de las lipasas microbianas del mercado de enzimas con actividad secundaria, así, a un precio mucho más asequible. En la actualidad, las lipasas microbianas son producidas por diversas industrias como Novozymes, Amano, Advanced Enzymes, entre otros. Una publicación reciente sobre la

¹Fennema, Owen R.; Damodaran, Srinivasan; Parkin L., Química de los Alimentos Editorial Acribia, S.A. 3ra Edición. España 2010.

²Vulfson, E. N. Em Lipases: Their Structure, Biochemistry and Application; Woolley, P.; Petersen, S. B., eds.; Cambridge University Press: Great Britain, 1994, p. 271.

disponibilidad comercial de 34 enzimas lipasa enumeran varias fuentes, incluyendo de 7 a 18 bacterias y hongos. En la misma publicación se destaca que existe una considerable confusión sobre el origen de algunas lipasas y los cambios en los nombres sistemáticos de cepas de hongos y bacterias que producen estas enzimas: *Candida rugosa* anteriormente fue denominada *Candidacylindracea*; *Thermomyceslanuginosus* de *Humicola lanuginosa*, *Pseudomonascepacia* y *Pseudomonasglumae* se renombraron como *Burkholderiaglumae* y *Burkholderiacepacia*, respectivamente. Además, *Burkholderiaglumae* es idéntica a *Chromobacteriumviscosum*.³

Dependiendo de la fuente, las lipasas pueden tener diferentes pesos moleculares 20 a 75 kDa, la actividad en el intervalo de pH entre 4 a 9 y a temperaturas que van desde temperatura ambiente hasta 70 ° C. Las lipasas son generalmente estables en soluciones acuosas neutras a temperatura ambiente actualmente, la mayoría en un rango de temperatura óptima entre 30 y 40 ° C. Sin embargo, su termoestabilidad varía considerablemente dependiendo de la fuente, aquellas con mayor estabilidad térmica son las lipasas microbianas.⁴

Aunque las enzimas se encuentran sometidas a las mismas leyes naturales que gobiernan el comportamiento de otras sustancias, se

³Vulfson, E. N. Em Lipases: Their Structure, Biochemistry and Application; Woolley, P.; Petersen, S. B., eds.; Cambridge University Press: Great Britain, 1994, p. 271.

⁴Kazlauskas, R. J.; Bornscheuer, U. T. Em A Multi-Volume Comprehensive Treatise Biotechnology; Rehm, H. J.; Stader, P., eds.; 1998, vol. 8A, 38.

diferencian de los catalizadores químicos ordinarios en varios aspectos importantes:

- Velocidades de reacción más elevadas.
- Condiciones de temperaturas menores.
- Mayor especificidad.
- Capacidad para la regulación.

Dentro de las enzimas, las lipasas se encuentran ampliamente difundidas, y existen en plantas, animales y microorganismos. Además, se presentan en numerosos fluidos biológicos, células, semillas y varios otros tejidos.

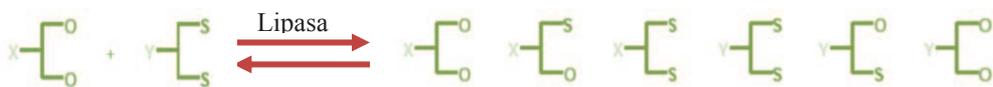
El mecanismo de acción de una lipasa es análogo al de la quimiotripsina y consiste en una fase de acilación en la que se forma un intermediario covalente acil-enzima, con liberación del primer producto (diglicerato), y una fase de desacilación en la que una molécula de diglicerato diferente rompe el intermediario con liberación del segundo producto, un nuevo TAG. Todas estas enzimas tienen un centro activo formado por tres aminoácidos; Serina (Ser 195), Histidina (His 57) y ácido Aspártico (Asp 102), que en conjunto reciben el nombre de “tríada catalítica”⁵

La gran ventaja de las enzimas como catalizadores es que ellas permiten que los ácidos grasos, durante el proceso, se reordenen en

⁵Fennema, Owen R.; Damodaran, Srinivasan; Parkin L., Química de los Alimentos Editorial Acribia, S.A. 3ra Edición. España 2010.

la molécula de glicerol en posiciones determinadas constituyendo una selectividad por posiciones determinadas, según la enzima utilizada. Esta selectividad no se puede conseguir en la interesterificación con catalizadores químicos.

Imagen # 2.9. Intercambio de ácidos grasos debido a la acción de una lipasa 1-3 específica, entre dos triglicéridos diferentes.



Fuente: Manual de Interesterificación enzimática, Novozymes.

2.4. PRODUCTO INTERESTERIFICADO.

La funcionalidad del producto interesterificado enzimáticamente depende de una combinación adecuada de procesos y de materia primas, esta última es la parte más importante para el diseño específico de cada producto.

El empleo de una materia grasa dependerá del uso final que se le asigne. En este sentido, los “shortenings” o mantecas plásticas deben producir emulsiones estables bajo el efecto de la temperatura de horneado.

Las bases grasas destinadas a la elaboración de helados deben generar emulsión, facilitar la aireación y formar parte de su estructura. En el caso de los productos de panificación, su función es la de formar un complejo con el almidón y las proteínas de la harina, de manera de otorgar buenos rendimientos en cuanto al volumen del producto por mayor incorporación de aire, aumentar su calidad organoléptica e incrementar la vida útil.

Una sustancia es plástica cuando presenta la propiedad de comportarse

como sólido y resistir pequeños esfuerzos, pero ceder y fluir como un líquido cuando se la somete a un esfuerzo de deformación por sobre cierto valor mínimo.

La plasticidad de una margarina es función de su contenido de sólidos a distintas temperaturas, razón por la cual el parámetro de contenido de sólidos grasos (CSG) o sólido fat content (SFC). Cuando una materia grasa plástica se incorpora a una masa, es capaz de extenderse para formar mínimas láminas que lubrican grandes superficies y favorece la formación de una estructura homogénea. A continuación se enuncian las materias primas más comunes en nuestro medio y que serán de alguna forma usadas para Interesterificación Enzimática.

2.4.1. ACEITE DE PALMA.

El aceite de palma es una excelente fuente de energía ya que aporta ácidos grasos esenciales y β -Carotenos, contribuye al crecimiento y formación de tejidos y dientes sanos, reduce el nivel de colesterol sanguíneo, protege contra algunos tipos de cáncer y problemas y problemas cardiovasculares. En la industria alimentaria se emplea como aceite de fritura, elaboración de margarina de mesa, panadería, repostería, confitería, helados, cremas y salsas.⁶

El aceite de palma tiene un olor agradable, característico, es muy estable a la oxidación y no posee propiedades secantes. A

⁶ Vega T. Alberto, Guía para la Elaboración de aceites comestibles, caracterización y procesamiento de nueces. Convenio Andrés Bello. Bogotá 2004

temperatura ambiente es semisólido.

Características aconsejadas por la A.O.C.S. para el aceite de palma se muestran en la Tabla # 2.1.

Tabla # 2.1. Características Fisicoquímicas de Aceite de Palma.

CARACTERÍSTICA	VALOR ESTÁNDAR
Densidad a 37.8°C	0.898- 0.901
Índice de refracción a 40°C	1,453- 1.456
Índice de iodo	44-58
Índice de saponificación.	195-205
Materia saponificable	<0.8

Fuente: Alton E. Bailey , Aceites y Grasas Industriales.1984.

2.4.2. ACEITE DE PALMISTE.

El aceite de Palmiste, obtenido de las semillas de la especie *Elaeis Guineensis*, es muy semejante al de coco, en casi todas sus propiedades, pero tiene un índice de iodo más alto, debido a su mayor contenido de ácidos no saturados.

La composición de ácidos grasos de una muestra típica de aceite de Palmiste está dada en la tabla # 2.2 el cual contiene un 63% de glicéridos totalmente Saturados, 26% con un radical no saturado y 11% con dos radicales no saturados.

El índice de iodo varía entre 16 y 23 Ellis y Hall dan como índice de iodo promedio de 18.6 otras característica medias para el aceite de

Palmiste es Índice de Refracción a 60°C, 1.4430; densidad a 60°C, 0.892; punto de fusión 26°C, materia saponificable 0.4%.

Los valores estándar recomendados por la AOCS son descritos en la Tabla # 2.2.

Tabla # 2.2. Características Fisicoquímicas de Aceite de Palmiste.

CARACTERÍSTICA	VALOR ESTÁNDAR
Densidad específica a 99°C/11.5°C	0.860- 0.873
Índice de refracción a 40°C	1,449- 1.452
Índice de iodo	14-22
Índice de saponificación.	245-255
Materia saponificable	<0.8
Punto de fusión	24.26
Punto de solidificación	20.26

Fuente: Alton E. Bailey , Aceites y Grasas Industriales, 1984.

2.4.3. ACEITE DE SOYA.

El aceite contenido en la soya es de alta digestibilidad y rico en ácidos grasos poliinsaturados, los cuales representan el 86% (Linolénico 8%, Linoléico 54% y Oleico 24%) y solo el 13 % de ácidos grasos saturados (Palmítico 9% y esteárico 4%).

Este alto contenido de ácido Linoléico es importante por ser esencial para el organismo, ya que no puede ser sintetizado y por lo tanto, debe de ingerirse conforme a los requerimientos. Por esta razón, el aceite de soya es considerado por muchos médicos científicos como de superior calidad comparativa con otras grasas y aceites

comestibles.

Este aceite proporciona las calorías al organismo para que las proteínas ingeridas en las dietas sean metabolizadas para sintetizar nuevos tejidos.⁷

Tabla # 2.3 Características Fisicoquímicas de Aceite de Soya

CARACTERÍSTICA	VALOR ESTÁNDAR
Densidad específica a 25/25°C	0.917- 0.921
Índice de refracción a 25°C	1,470- 1.476
Índice de iodo	120-141
Índice de saponificación.	189-195
Materia saponificable	<1.5

Fuente: Alton E. Bailey, Aceites y Grasas Industriales.1984.

2.5. HIDROGENACIÓN.

Es el proceso mediante el cual se fija hidrógeno a los dobles enlaces de ácidos grasos en este caso insaturados de una grasa convirtiéndolos en los saturados correspondientes.

El proceso de hidrogenación tiene importancia comercial, debido a que permite convertir de aceites de los vegetales y pescado en grasas consistentes para la fabricación de margarinas y grasas para usos industriales.

⁷ Valencia R, Garzón A. Potencialidades de la soya y sus usos en la alimentación Humana y Animal. Segunda Edición, Corpoica, 2004

2.6. DISEÑO Y ANÁLISIS DE EXPERIMENTOS.

Los modelos de diseño de experimentos son modelos estadísticos clásicos cuyo objetivo es averiguar si unos determinados factores influyen en una variable de interés y, si existe influencia de algún factor, cuantificar dicha influencia.

La metodología del diseño de experimentos estudia cómo variar las condiciones habituales de realización de un proceso empírico para aumentar la probabilidad de detectar cambios significativos en la respuesta; de esta forma se obtiene un mayor conocimiento del comportamiento del proceso de interés.

2.7. PAUTAS GENERALES PARA DISEÑAR EXPERIMENTOS.

Para aplicar el enfoque estadístico en el diseño y análisis de un experimento, es necesario que todos los que participan en el mismo tengan desde el principio una idea clara de que es exactamente lo que va a estudiarse, cómo van a colectarse los datos, y al menos una comprensión cualitativa de la forma en que van a analizarse estos datos. A continuación se muestra un esquema general del procedimiento recomendado y una breve explicación del esquema recomendado.

2.7.1. IDENTIFICACIÓN Y ENUNCIACIÓN DEL PROBLEMA.

Este punto podría parecer muy obvio, pero es común que en la práctica no sea sencillo darse cuenta de que existe un problema que requiere experimentación, y tampoco es fácil desarrollar una enunciación clara, con la que todos estén de acuerdo, del problema. Es necesario desarrollar todas las ideas acerca de los objetivos del experimento. Generalmente, es importante solicitar aportaciones de todas las áreas involucradas. Por esta razón, se recomienda un enfoque de equipo para diseñar experimentos.

En la mayoría de los casos es conveniente hacer una lista de los problemas o las preguntas específicas que van a abordarse en el experimento. Una enunciación clara del problema contribuye sustancialmente a menudo para alcanzar una mejor comprensión de los fenómenos bajo estudio y la solución final del problema. También es importante tener presente el objetivo global; por ejemplo, ¿se trata de un proceso o sistema nuevo (en cuyo caso el objetivo inicial posiblemente será la caracterización o tamizado de los factores) o se trata de un sistema maduro que se conoce con profundidad razonable y que se ha caracterizado con anterioridad (en cuyo caso el objetivo puede ser la optimización)? En un experimento puede haber muchos objetivos posibles, incluyendo la confirmación (¿el sistema se

comporta de la misma manera ahora que en el pasado?), el descubrimiento (¿qué ocurre si se exploran nuevos materiales, variables, condiciones de operación, etc.?) Y la estabilidad (¿bajo qué condiciones las variables de respuesta de interés sufren una degradación seria?). Obviamente, las cuestiones específicas que habrán de abordarse en el experimento se relacionan de manera directa con los objetivos globales. Con frecuencia en esta etapa de la formulación del problema muchos ingenieros y científicos se percatan de que no es posible que un experimento comprensivo extenso responda las cuestiones clave y de que un enfoque secuencial en el que se utilice una serie de experimentos más pequeños es una estrategia más adecuada.

2.7.2. ELECCIÓN DE LOS FACTORES, LOS NIVELES Y LOS RANGOS.

Los pasos 2 y 3 muchas veces se hacen simultáneamente o en orden inverso.

Cuando se consideran los factores que pueden influir en el desempeño de un proceso o sistema, el experimentador suele descubrir que estos factores pueden clasificarse como factores potenciales del diseño o bien como factores perturbadores. Los factores potenciales del diseño son aquellos que el experimentador posiblemente quiera hacer variar en el experimento.

Es frecuente encontrar que hay muchos factores potenciales del diseño, por lo que es conveniente contar con alguna clasificación adicional de los mismos. Algunas clasificaciones útiles son factores del diseño, factores que se mantienen constantes y factores a los que se permite variar los factores del diseño son los que se seleccionan realmente para estudiarlos en el experimento. Los factores que se mantienen constantes son variables que pueden tener cierto efecto sobre la respuesta, pero que para los fines del experimento en curso no son de interés, por lo que se mantendrán fijos en un nivel específico.

Muchas veces se trabajará con el supuesto de que los efectos de los factores que se mantienen constantes y de los factores a los que se permite variar son relativamente pequeños.

Por otra parte, los factores perturbadores pueden tener efectos considerables que deben tomarse en consideración, a pesar de que no haya interés en ellos en el contexto del experimento en curso. Los factores perturbadores suelen clasificarse como factores controlables., no controlables o de ruido.

Un factor perturbador puede seleccionar lotes cuyos niveles pueden ser ajustados por el experimentador. Por ejemplo, el experimentador puede seleccionar lotes diferentes de materia prima o diversos días de la semana para conducir el experimento. La estructura básica de la formación de bloques, comentada en la sección anterior, suele ser

útil para trabajar con factores perturbadores controlables. Si un factor perturbador no es controlable en el experimento pero puede medirse, muchas veces puede usarse el procedimiento de análisis denominado análisis de covarianza para compensar este efecto. Por ejemplo, la humedad relativa en el medio ambiente de proceso y la humedad no puede controlarse probablemente podrá medirse y tratarse como una covariable.

Cuando un factor que varía de manera natural y no controlable en el proceso puede controlarse para fines de un experimento, con frecuencia se le llama factor de ruido. En tales situaciones es común que el objetivo sea encontrar los ajustes de los factores controlables del diseño que minimicen la variabilidad transmitida por factores de ruido.

En ocasiones a esto se le llama el estudio de robustez del proceso o el problema de robustez del diseño.

Una vez que el experimentador ha seleccionado los factores del diseño, debe elegir los rangos en los que hará variar estos factores, así como los niveles específicos con los que se realizarán las corridas. También deberá pensarse cómo van a controlarse estos factores en los valores deseados y cómo van a medirse. Por ejemplo, en el experimento de la soldadura líquida, el ingeniero ha definido 12 variables que pueden afectar la ocurrencia de defectos de soldadura. El ingeniero también tendrá que tomar una decisión en cuanto a la

región de interés para cada variable (es decir, el rango en el que se hará variar cada factor) y en cuanto a al número de niveles de cada variable que usará. Para ello se requiere del conocimiento del proceso. Este conocimiento del proceso suele ser una combinación de experiencias prácticas y conocimientos teóricos.

Es importante investigar todos los factores que pueden ser de importancia y no dejarse influir demasiado por la experiencia pasada, en particular cuando uno se encuentra en las fases iniciales de la experimentación o cuando el proceso no está del todo maduro.

Cuando el objetivo del experimento es el tamizado de los factores o caracterización del proceso, por lo general es mejor mantener reducido el número de niveles de los factores. En general, dos niveles funcionan bastante bien en los estudios de tamizado de factores. Elegir la región de interés también es importante. En el tamizado de factores, la región de interés deberá ser relativamente grande; es decir, el rango en el que se hace variar ser amplio. Conforme se sepa más acerca de las variables que son importantes y de los niveles producen los mejores resultados, la región de interés se hará por lo general más estrecha.

2.7.3. SELECCIÓN DE LA VARIABLE DE RESPUESTA.

Para seleccionar la variable de respuesta, el experimentador deberá la certeza de que esta variable proporciona es en realidad información útil acerca del proceso bajo estudio.

En la mayoría de los casos, el promedio o la desviación estándar (o ambos) de la característica medida será la variable de respuesta.

No son la excepción las respuestas múltiples. La eficiencia de los instrumentos de medición (o error de medición) también es un factor importante. Si la eficiencia de los instrumentos de medición es inadecuada, el experimentador sólo detectará los efectos relativamente grandes de los factores o quizá sean necesarias réplicas adicionales. En algunas situaciones en que la eficiencia de los instrumentos de medición es pobre, el experimentador puede decidir medir varias veces cada unidad experimental usar el promedio de las mediciones repetidas como respuesta observada. Suele ser de importancia determinante identificar los aspectos relacionados con la definición de las respuestas de interés y cómo van a medirse antes de llevar a cabo el experimento. En ocasiones se emplean experimentos diseñados para estudiar y mejorar el desempeño de los sistemas de medición.

Se reitera lo crucial que es exponer todos los puntos de vista y la

información del proceso en los pasos 1 al 3 anteriores. Se hace referencia a esto como planeación previa al experimento.

En muchas situaciones, no es posible que una sola persona posea todos los conocimientos requeridos para hacer esto adecuadamente. Por lo tanto, se hace una amplia recomendación para el trabajo en equipo durante la planeación del experimento. La mayor parte del éxito gravitará en torno a qué tan bien se haya hecho la planeación previa del experimento.

2.7.4. ELECCIÓN DEL DISEÑO EXPERIMENTAL.

Si las actividades de planeación previas al experimento se realizan como es debido, este paso es relativamente sencillo. La elección del diseño implica la consideración del tamaño de la muestra (número de réplicas), la selección de un orden de corridas adecuado para los ensayos experimentales y la determinación de si entran en juego o no la formación de bloques u otras restricciones sobre la aleatorización. Existen varios paquetes interactivos de software de estadística que soportan esta fase del diseño experimental. El experimentador puede introducir la información del número de factores, los niveles y los rangos, y estos programas presentarán a la consideración del experimentador una selección de diseños o recomendarán un diseño particular. Estos programas proporcionan también por lo general una hoja de trabajo (con el orden aleatorizado de las corridas) que se usará en la conducción del experimento. Al seleccionar el diseño, es

importante tener en mente los objetivos experimentales. En muchos experimentos de ingeniería se sabe de antemano que algunos de los niveles de los factores producirán valores diferentes de la respuesta. En consecuencia, el interés se centra en identificar qué factores causan esta diferencia y en estimar la magnitud del cambio de la respuesta. En otras situaciones podría haber más interés en verificar la uniformidad. Por ejemplo, pueden compararse dos condiciones de producción A y B, donde A es el estándar y B, es una alternativa con una eficiencia de costos mayor. El experimentador estará interesado entonces en demostrar que, por ejemplo, no hay ninguna diferencia en el rendimiento entre las dos condiciones.

2.7.5. REALIZACIÓN DEL EXPERIMENTO.

Cuando se lleva a cabo el experimento es vital monitorear con atención el proceso a fin de asegurarse de que todo se esté haciendo conforme a la planeación. Los errores en el procedimiento experimental en esta etapa destruirán por lo general la validez experimental. Poner en un primer plano la planeación es crucial para el éxito. Es fácil subestimar los aspectos de logística y planeación cuando se corre un experimento diseñado en un ambiente complejo de manufactura o de investigación y desarrollo. Se sugiere que antes de llevar a cabo el experimento, es conveniente en muchas ocasiones realizar algunas corridas piloto o de prueba. Estas corridas proporcionan información acerca de la consistencia del material

experimental, una comprobación del sistema de medición, una idea aproximada del error experimental y la oportunidad de poner en práctica la técnica experimental global. Esto ofrece también una oportunidad para revisar, de ser necesario, las decisiones tomadas en los pasos 1 al 4.

2.7.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS.

Deberán usarse métodos estadísticos para analizar los datos a fin de que los resultados y las conclusiones sean objetivos y no de carácter apreciativo. Si el experimento se ha diseñado correctamente y si se ha llevado a cabo de acuerdo con el diseño, los métodos estadísticos necesarios no deben ser complicados. Existen varios paquetes de software excelentes diseñados para auxiliar en el análisis de datos, y muchos de los programas usados en el paso 4 para seleccionar el diseño cuentan con una interface directa para el análisis estadístico. Con frecuencia se encuentra que los métodos gráficos simples desempeñan un papel importante en el análisis e interpretación de datos. Debido a que muchas de las preguntas que el investigador quiere responder pueden insertarse en el marco de la prueba de hipótesis, los procedimientos para probar hipótesis y estimar intervalos de confianza son muy útiles en el análisis de datos de un experimento diseñado.

Muchas veces es muy útil también presentar los resultados de varios experimentos en términos de un modelo empírico, es decir, mediante

una ecuación derivada de los datos que expresa la relación entre la respuesta y los factores importantes del diseño. El análisis residual y la verificación de la adecuación del modelo son también técnicas de análisis importantes.

Recuerde que los métodos estadísticos no pueden demostrar que un factor (o factores) posee un efecto particular, solo proporcionan pautas generales en cuanto a la confiabilidad y la validez de los resultados aplicados de forma correcta, los métodos estadísticos no permiten la demostración experimental, pero sí sirven para medir el error posible en una conclusión o asignar un nivel de confianza a un enunciado. La ventaja principal de los métodos estadísticos es que agregan objetividad al proceso de la toma de decisiones. Las técnicas estadísticas, unidas a una buena ingeniería o conocimiento del proceso y sentido común, llevarán por lo general a conclusiones sólidas.

2.7.7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Una vez que se han analizado los datos el experimentador debe sacar conclusiones prácticas acerca de los resultados y recomendar un curso de acción. Los métodos gráficos suelen ser útiles en esta etapa, en particular para presentar los resultados. También deberán realizarse corridas de seguimientos o pruebas de confirmación para validar, las conclusiones del experimento.

A lo largo del proceso completo es importante tener presente que la

experimentación es una parte esencial del proceso de aprendizaje, en la que se formulan hipótesis tentativas acerca de un sistema, se realizan experimentos para investigar estas hipótesis y se formulan nuevas hipótesis con base en los resultados, y así sucesivamente. Esto sugiere que la experimentación es interactiva. Por lo general es un gran error diseñar un solo experimento comprensivo y extenso al principio de un estudio. Un experimento exitoso requiere conocer los factores importantes, los rangos en los que deberán hacerse variar estos factores, el número apropiado de niveles que deberán usarse y las unidades de medición apropiadas para estas variables.

En general, no se conocen las respuestas precisas de estas cuestiones, pero se aprende acerca de ellas sobre la marcha. A medida que avanza un programa experimental, es común abandonar algunas variables de entrada e incorporar otras, modificar la región de exploración de algunos factores o incorporar nuevas variables de respuesta. Por consiguiente, generalmente la experimentación se hace en forma secuencial y como regla general, no deberá invertirse más de 25% de los recursos disponibles en el primer experimento. Con esto se asegurará que se contará con los recursos suficientes para realizar las corridas de confirmación y que se alcanzará en última instancia el objetivo final del experimento.

2.8. DISEÑO FACTORIAL.

Se entiende por diseño factorial que en cada ensayo o réplica completa del experimento se investigan todas las combinaciones posibles de los niveles de los factores.

2.8.1. DISEÑO FACTORIAL GENERAL.

Un diseño de experimentos factorial general o arreglo factorial es el conjunto de puntos experimentales o tratamientos que puedan formarse considerando todas las posibles combinaciones de los niveles de los factores. El mismo que tiene por objetivo estudiar el efecto de varios factores sobre una o varias respuestas o características a estudiar o tratar.

2.8.2. REGRESION MÚLTIPLE.

La regresión estadística es la tendencia de una medición extrema a presentarse más cercana a la media en una segunda medición. La regresión se utiliza para predecir una medida basándonos en el conocimiento de otra.

La principal ventaja de la regresión múltiple es que nos permite utilizar más información disponible para estimar la variable dependiente.

CAPITULO III.

3. PROCESOS ACTUALES.

3.1. INTERESTERIFICACIÓN QUÍMICA.

3.1.1. INTRODUCCIÓN.

La interesterificación química es un proceso que la industrias de las grasas y aceites han venido utilizando para la modificación del perfil de las grasas, dándoles de esta manera una aplicación específica.

La Interesterificación cambia la distribución ordenada de los ácidos grasos al glicerol en una distribución randómica, esto hace que la grasa cambie también su comportamiento físico haciéndola susceptible a modificaciones en función de cumplir con una necesidad específica.

Algunas técnicas de procesamiento químico, como la interesterificación, permiten al industrial modificar algunas de las propiedades fisicoquímicas, funcionales u organolépticas de una grasa o aceite. Esto permite que en la elaboración de productos finales, se utilicen una amplia gama de materias primas alternativas como por ejemplo los subproductos grasos de origen vegetal los cuales mediante estas modificaciones se les amplían las posibilidades de su aplicación. Generalmente la interesterificación de aceites comestibles implica a lo menos la utilización de dos aceites que tienen diferente composición de ácidos Grasos.

Este proceso de interesterificación de triglicéridos involucra el intercambio entre las cadenas de sus ácidos grasos, ya sea en el interior de un mismo triglicérido (interesterificación intramolecular) o entre diferentes triglicéridos (interesterificación intermolecular).

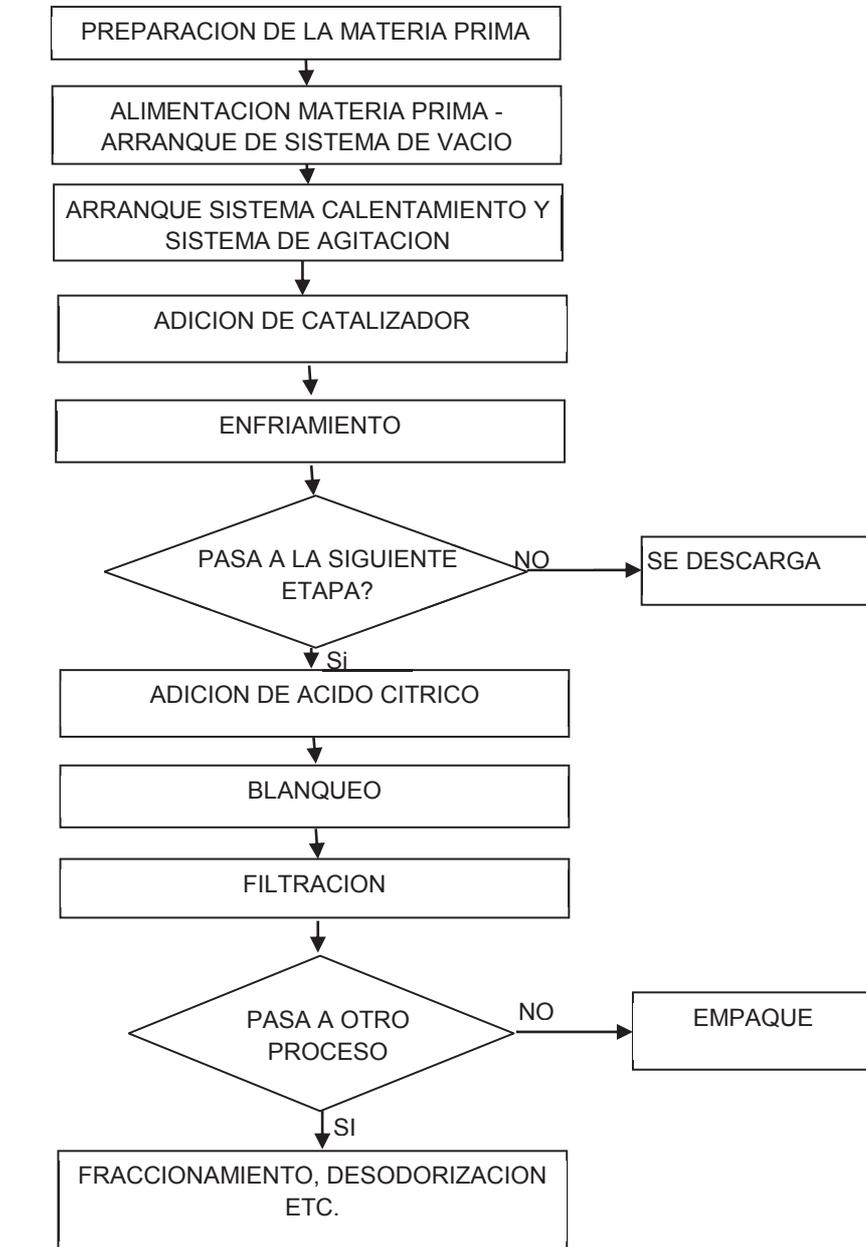
La interesterificación química con catalizadores alcalinos es un proceso donde los ácidos grasos que forman el triglicérido se desordenan al azar modificando la estructura y la composición del triglicérido que forman parte de un determinado producto graso, con la finalidad de mejorar sus propiedades físicas y organolépticas.

Esta operación requiere de un catalizador que, de acuerdo a su origen, determina la aplicación para la que pueda ser útil. Se distinguen las modalidades química y enzimática. La primera es más utilizada a nivel industrial, como una alternativa para transformación de materias grasas dirigidas a un consumo masivo.

Los catalizadores más usados son los metales alcalinos y sus derivados, siendo el metóxido de sodio el más empleado, debido a sus ventajas de costo y temperatura de reacción, que puede ser reducida a un rango entre 90-180°C.

3.1.2. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO ACTUAL.

Gráfico # 3.1. Diagrama del Proceso de Interesterificación Química.



Fuente: Instructivo de Trabajo IT.I+D.24 La Fabril S.A. 2006

3.1.3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE INTERESTERIFICACIÓN QUÍMICA.

3.1.3.1. PREPARACION DE LA MATERIA PRIMA.

La preparación de la materia prima tiene como objetivo hacer posible su manipulación o carga del producto que va a ser procesado.

Si se trata de una materia prima que se encuentra sólida esta se procede a fundirse en el tanque en la que se encuentre para luego poderse bombear hasta el reactor de Interesterificador.

Si se trata de una materia prima líquida o semilíquida, esta se encuentra lista para colocarse en el reactor de Interesterificación.

3.1.3.2. ALIMENTACION DE LA MATERIA PRIMA.

Antes de la alimentación se debe verificar que el reactor se encuentre completamente vacío.

Una vez verificado que la materia prima esta lista para cargarse es alimentada hasta el Tanque de Interesterificación para proceder a efectuar el proceso.

Luego de la alimentación de la materia prima es necesario hacer vacío para luego proceder a efectuar la reacción.

3.1.3.3. SISTEMA DE CALENTAMIENTO-SISTEMA DE AGITACION.

Se calienta el producto a la temperatura de interesterificación seteando el termorregulador las temperaturas máximas y mínimas de calentamiento.

Durante el proceso de calentamiento, se debe mantener el sistema de vacío y encender el sistema de agitación regulado por el tablero de control.

3.1.3.4. ADICION DE CATALIZADOR

Se adiciona el catalizador en este caso el Metilato de sodio en slurry, para preparar la solución, se debe tomar muestras del aceite seco bajo vacío. Una vez obtenida la muestra agregar el catalizador, y disolverlo por agitación, conseguida la solución bombearla nuevamente agregándolo al reactor.

Se debe de mantener el sistema con vacío, agitación, y calentamiento 120°C durante 45 minutos máximo, o hasta observar cambio de coloración (color pardo –rojizo), por motivos de experimentación puede alargarse el tiempo de reacción y el tipo o método de adición del catalizador.

3.1.3.5. ENFRIAMIENTO

Se setea la temperatura deseada con el termorregulador entre 105°C-115°C, manteniendo la llave de agua fría abierta.

Debido a motivos de experimentación, el proceso en ocasiones puede concluir en esta etapa, con la adición del catalizador o en una de las siguientes etapas. Si el proceso no llega hasta la última etapa de filtración este puede drenarse en estado líquido por la válvula de descarga de producto.

3.1.3.6. ADICION DE ACIDO CITRICO.

Llegada a la temperatura deseada se adiciona el ácido cítrico (solución 50% aprox. 0.2%) una vez evidenciado que la reacción se ha ejecutado esta acción tiene como finalidad de inactivar la acción del catalizador.

3.1.3.7. BLANQUEO

Se Setea la temperatura del termorregulador a 70°C-95°C y se enfría a la temperatura a la cual se adicionan los insumos de blanqueo, esta fase tiene como finalidad aprovechar el reactor para realizar el blanqueo.

3.1.3.8. FILTRACION

El producto se filtra a la temperatura requerida de acuerdo al proceso.

Se prende la bomba indicada anteriormente, y se filtra, el producto se recolecta en el embalaje destinado.

3.1.4. PROBLEMÁTICA CAUSA DEL PROCESO DE INTERESTERIFICACIÓN QUÍMICA.

La Interesterificación Química actual está siendo cuestionada en su proceso a nivel mundial por la generación de compuestos secundarios que pueden afectar a la salud de quienes consumen dosis repetitivas de este producto.

En el proceso de interesterificación química es utilizado metilato de sodio como catalizador de reacción. El metilato de sodio (NaOCH_3) es normalmente dosificado en la mezcla a ser procesada en la proporción de 1:1000, o sea, 1 Kg/ton mezcla.

Considerándose que cada 54g de metilato ($\text{Na}=23 + \text{O}=16 + \text{C}=12 + \text{H}_3=3$) tienen capacidad de generar el equivalente a 40 g de soda caustica (NaOH) tendremos en cada tonelada de mezcla después del proceso el equivalente a: $1000 \text{ g} \div 54 \times 40 = 740,74 \text{ g}$ de NaOH .

Eso va a propiciar la formación de una cantidad de jabones en la proporción:

$40 \text{ g NaOH} + 282 \text{ g ácido graso} = 304 \text{ g jabones} + 18 \text{ g H}_2\text{O}$.

O sea, 740,74 g de soda pueden generar:

$740,74 \div 40 \times 304 = 5.630 \text{ g}$ de jabones por tonelada de mezcla

Eso significa que la mezcla después de procesada podrá contener ~ 5.630 ppm de jabones.

Considerándose que la aplicación económica de Trisyl (Grace) es en

el rango de 150/200 ppm de jabones y segundo el catálogo del Sorbamol (Sumex) el producto “Puede ser utilizado como sustituto del segundo lavado en el refino alcalino...” donde el tenor de jabones usualmente no supera 150 ppm, notase que el consumo de arcillas para remoción de jabones en el proceso de interesterificación química sería cerca de 37 veces mayor que lo aconsejado por los propios fabricantes.

Debido a la formación de jabones, es necesario retirar estos del producto, para efectuar dicha operación lo usualmente utilizado por las industrias de grasas y aceites es la utilización de silica; en este caso Trisyl como parte de un refinamiento, pero todavía aún existe la probabilidad de que no se retiren todos los químicos utilizados en este proceso pudiendo quedar en el producto trazas lo que podría causar efectos colaterales a la salud de quienes la consuman.

Conforme catálogo del Trisyl (Grace) la fórmula orientativa de dosificación es:

“Dosificación Trisyl® (%) = [(ppm fósforo x 30) + ppm jabones] x 0,0003”.

Utilizándose con datos de cálculos los valores de 2 ppm para el fósforo y 5.630 ppm de jabones calculado previamente tendremos:

Dosificación de TriSyl® (%) = (2 x 30 + 5.630) x 0,0003 = 1,70%

Observaciones:

- Como la silica no substituye totalmente el blanqueamiento, la

etapa de remoción de jabones debe proceder al blanqueamiento con un tiempo de contacto de 10 a 15 minutos, con humedad 0,1 a 0,3% con agitación mediana (min. 75 rpm) y temperatura de 70 hasta 100°C, y solamente después del efecto de absorción de jabones, débase proceder al blanqueamiento normal.

- Con referencia a las pérdidas, debemos recordar que, después del secado de la torta filtrante con vapor, tendremos cerca de 30% de mezcla en las tierras. Considerándose la suma de las tierras utilizadas en el proceso: 1,7% de silica + 0,5% de arcilla de blanqueamiento + 0,2% de auxiliar de filtración = 2,4% de tierras la pérdida de mezcla en el proceso será de la orden de 0,72%, generando aún un efluente sólido de aproximadamente 31,2 Kg/ton mezcla. Estas tierras son desechadas por lo general al ambiente, lo que causan un impacto negativo desecando el suelo en el que son desechadas.
- Considerándose por otro lado el proceso vía húmeda con lavado tenemos que la pérdida con agua de lavado situáse en el rango de: $pL = 0,5 \times (\% \text{ agua de lavado}) \div 100$ o sea, para un porcentaje de agua de lavado de 10% la pérdida será de 0,05%. Ese valor debe ser incrementado a la pérdida de blanqueamiento: $pB = 0,3 \times 0,5 = 0,15\%$ originando luego una pérdida total de $p = 0,05 + 0,15 = 0,2\%$.

- Podemos afirmar que el proceso vía seca puede traer pérdidas mayores hasta 5,2 Kg de mezcla por ton. de producto, el que en una instalación con capacidad de 100 ton/día significa una pérdida de 520 Kg de aceite/día o $520 \times \text{USD } 600/\text{ton} \times 22 \text{ días} = \text{USD } 6.864/\text{mes}$ más el costo adicional de la silica: $1,7\% \times 100 \text{ ton/día} \times 22 \text{ días} \times \text{USD } 750/\text{ton} = \text{USD } 28.050/\text{mes}$. Generando un costo más elevado de procesamiento del producto interesterificado.
- Debido a los antecedentes anteriormente mencionados, como la utilización de metilato de sodio, el mismo que es catalizador tóxico y delicado para manejar, es que organismos Mundiales de la salud han cuestionado este proceso y las empresas se han visto en la necesidad de buscar procesos alternativos más nobles y más saludables.

Recientes publicaciones sugieren que la presencia de trans-isómeros aumenta el riesgo de enfermedades del corazón si determinados niveles son rutinariamente consumidos.

Eso viene generando un renovado interés en el desarrollo de grasas con propiedades plásticas adecuadas para aplicaciones en shortenings y margarinas que actualmente utilizan procesos de hidrogenación con otros procesos alternativos que eliminen la generación de ácidos grasos trans.

3.2. HIDROGENACION.

3.2.1. LA HIDROGENACIÓN.

El proceso de hidrogenación parcial es utilizado desde casi 100 años, pero todavía se usa ampliamente en los Estados Unidos, a pesar de la interesterificación química es más común en Europa. El proceso de hidrogenación se utiliza para endurecer los aceites líquidos (con un alto contenido de ácidos grasos insaturados).

En el caso de los aceites, la reacción de hidrogenación consiste en saturar los dobles enlaces de los ácidos grasos en presencia de un metal que cataliza la reacción. Es un proceso importante de catálisis heterogénea gas/sólido/líquido en el cual el grado de insaturación de los triglicéridos naturales disminuye con el objetivo de convertir los aceites líquidos en grasa sólida para aplicaciones en la industria de la alimentación, para la producción de margarinas, grasas para la repostería, manteca, aceite de mesa, los cosméticos, plastificantes, etc...

En el proceso, los dobles enlaces son eliminados por la adición de hidrógeno, lo que resulta la generación más grasas saturadas. Por hidrogenar parcialmente un aceite líquido, se obtiene un perfil de fusión muy específico y la determinada sensación en la boca. Los aceites líquidos por lo general tienen ácidos grasos insaturados. Estos ácidos grasos tienen el doble enlace en la forma cis. Esto resulta en

embalaje defectuoso de las grasas, y por lo tanto, los puntos de fusión bajos. Saturar los enlaces dobles da una configuración mejorada, y por lo tanto un punto de fusión más alto. La principal desventaja del proceso de hidrogenación parcial es la formación de ácidos grasos trans. Algunos expertos en salud creen que los ácidos grasos trans tienen un impacto negativo en la salud.

El contenido de ácidos grasos trans a menudo aumenta de 15-25% durante la hidrogenación parcial. Bajo ciertas circunstancias, el contenido puede ser tan alto como 50%.

En este proceso, la reacción química no puede ocurrir si solo se mezcla el hidrógeno con el aceite. En efecto, la incorporación del gas en el doble enlace debe vencer una barrera energética considerable. La energía necesaria disminuye cuanto más fácilmente el hidrógeno y la grasa insaturada se adsorben sobre la superficie del catalizador. El catalizador puede ser a base de níquel, de cobre, de platino, de paladio u otros metales y hace que la reacción transcurra más rápidamente.

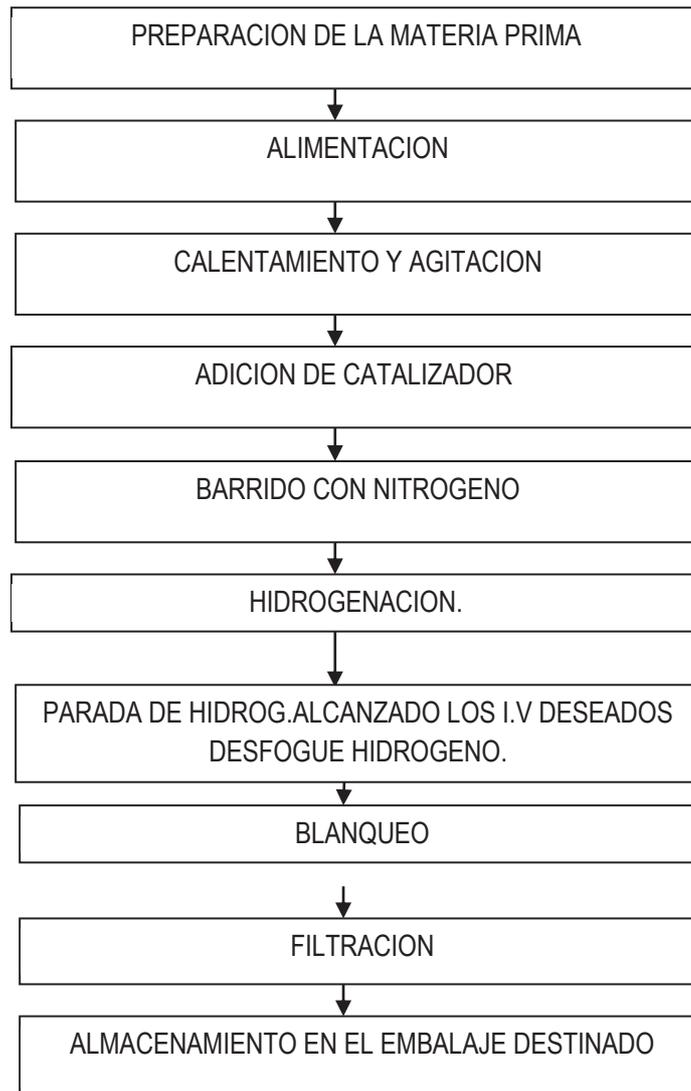
Durante la reacción de hidrogenación, se consideran tres fases: la del hidrógeno en la fase gas, la del aceite líquido y la del catalizador sólido. Para obtener buenos rendimientos, no solamente se necesita un catalizador activo, sino también buenas condiciones de transferencia de masa entre el gas, el líquido y el catalizador. El rango de temperatura para la hidrogenación de aceites vegetales es 127-

190°C y de presión 0.5-5 bar. El proceso de hidrogenación permite lograr varios objetivos de interés tecnológico.

- Modificar la composición de las grasas y de los aceites, y, por tanto, sus propiedades físicas y químicas.
- Disminuir la insaturación de los ácidos grasos.
- Hidrogenar parcialmente los enlaces múltiples de los aceites para uso alimentario y a fin de mejorar su resistencia a la oxidación atmosférica.
- Producir grasas con propiedades físicas determinadas que cumplan de necesidades concretas para su uso posterior.

3.2.2. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO HIDROGENACIÓN.

Gráfico # 3.2. Diagrama del Proceso de Hidrogenación.



Fuente: Instructivo de Trabajo IT I+D.23 La Fabril S.A, 2006.

3.2.3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

HIDROGENACIÓN.

3.2.3.1. PREPARACION DE LA MATERIA PRIMA.

Si se trata de una materia prima que se encuentra sólida esta se procede a fundirse.

Si se trata de una materia prima líquida o semilíquida, esta se encuentra lista para colocarse en el reactor de hidrogenación.

3.2.3.2. ALIMENTACION DE LA MATERIA PRIMA.

Antes de la alimentación se debe verificar que el reactor se encuentre completamente vacío.

La alimentación de la materia prima tiene como propósito colocar a disposición la materia prima que se va a utilizar en el proceso.

3.2.3.3. CALENTAMIENTO Y AGITACION

Una vez cargado el producto es necesario calentarlo a la temperatura de hidrogenación requerida para que se dé adecuadamente la reacción.

En esta fase del proceso también es necesario encender y regular la agitación del producto cargado en el tanque reactor.

3.2.3.4. ADICION DE CATALIZADOR

Se debe adicionar el Níquel preferentemente en slurry, esta preparación se la debe hacer en aceite seco por lo que es conveniente tomar del mismo aceite para proceder a realizar la

dilución. Una vez agregado el níquel esta solución es adicionada al reactor en el que se está realizando la reacción.

Mantener el Níquel con vacío y agitación durante media hora, en contacto con el aceite.

En ocasiones que se requiera se puede adicionar el Níquel en grageas sin disolverlas en aceite.

3.2.3.5. BARRIDO CON NITROGENO.

Se realiza el barrido con nitrógeno para quitar la mayor cantidad de oxígeno presente en la parte interna del reactor.

3.2.3.6. HIDROGENACION

Culminado el barrido proceder a la hidrogenación observando que la presión indique como mínimo 1 bar sobre la presión atmosférica.

3.2.3.7. HIDROGENO-ENFRIAMIENTO.

Luego de la hidrogenación es necesario hacer el desfogue del hidrogeno contenido en la parte superior del tanque. Y estabilizar la temperatura para realizar el blanqueo respectivo.

3.2.3.8. BLANQUEO.

Proceder al proceso de blanqueo, utilizando Ácido Cítrico en las cantidades indicadas y tierra de blanqueo

El proceso se realiza de acuerdo a la documentación técnica.

3.2.3.9. FILTRACION.

El producto se filtra a la temperatura requerida de acuerdo al proceso, esta operación tiene como objetivo retirar las trazas de pigmentos extrañas así como también las de metales y reactivos utilizadas durante el proceso.

3.2.4. PROBLEMÁTICA CAUSA DEL PROCESO HIDROGENACIÓN.

En el proceso de hidrogenación se forma la mayor cantidad de grasas trans contenidas en las grasas hidrogenadas siendo estas perjudiciales para la salud de los consumidores debido a que elevan el colesterol (LDL) y disminuye el colesterol bueno (HDL) causando en gran parte problemas cardiovasculares con el consumo de dosis repetitivas. Esto hace que sea especialmente importante que personas con niveles elevados de colesterol o triglicéridos en sangre o que sufran cualquier tipo de enfermedad cardiovascular, eviten el consumo masivo de alimentos que contengan este tipo de grasas.

Existe una evidencia científica de que consumir de forma excesiva alimentos que lleven grasas parcial o totalmente hidrogenadas se relaciona con un aumento de la tasas de colesterol y triglicéridos plasmáticos, lo que contribuye en parte a la aparición y desarrollo de enfermedades vasculares, como la hipercolesterolemia, la hipertrigliceridemia y la arteriosclerosis.

Debido a las desventajas descritas anteriormente y ante la preocupación de los organismos mundiales de la salud están uniendo esfuerzos para buscar una solución a este inconveniente por lo que han sugerido incluso en algunos países decretar el no consumo de grasas hidrogenadas y sus derivados.

CAPITULO IV

4. PROPUESTA DEL PROCESO DE INTERESTEFICACIÓN EN LA FABRIL S.A.

4.1. INTERESTERIFICACIÓN ENZIMÁTICA.

Interesterificación enzimática (IE) es la reacción catalítica que se produce cuando una enzima se introduce en aceite y reorganiza los ácidos grasos en el esqueleto de glicerol de un triglicérido. Los triglicéridos son ya sea líquida o sólida a temperatura ambiente. La reorganización de los ácidos grasos que se produce con la interesterificación enzimática proporciona la estructura y funcionalidad de los triglicéridos a temperatura ambiente. Este proceso ajusta las propiedades de fusión, aumentando la funcionalidad y la plasticidad en las aplicaciones de producción de alimentos. Es una de las cinco formas diferentes de la alteración de los perfiles de fusión de su propiedad, a diferencia de la hidrogenación parcial método ampliamente utilizado, la interesterificación enzimática es el método en el que no produce ácidos grasos trans.

Interesterificación enzimática es la nueva manera para producir bases duras para margarinas y grasas "shortening". Interesterificación enzimática es un proceso con mejor costo beneficio comparado a la interesterificación química, y no produce ácido graso-trans.

La Interesterificación cambia la distribución ordenada de los ácidos grasos libres de los triglicéridos en una distribución randómica desde que

la temperatura de reacción sea cerca de la temperatura de fusión del aceite.

Interesterificación enzimática ha sido usado por los científicos en columnas a escala de laboratorio, produciendo hasta unos pocos kilos de producto por hora, durante más de 20 años. Pero debido a los precios elevados de enzimas normalmente, la penetración en el mercado se ha limitado a los productos de especialidad.

Un salto cuántico en la tecnología de inmovilización lipasa se obtuvo con el desarrollo de la tecnología de granulación. La tecnología LED Novozymes para desarrollar una sílice a bajo costo lipasa granulada para la modificación de la grasa a granel.

Este producto granulado permite lipasas que se utilizarán para la producción a granel de grasas como la margarina, mantecas y shortening por interesterificación.

Aunque el producto granulado lipasa puede ser utilizado tanto en lote Tipo Batch y en funcionamiento continuo de lecho fijo, aunque en esta investigación sólo se discutirá el uso de lipasas en lechos fijos.

4.2. BENEFICIOS.

El reactor de lecho fijo ofrece los siguientes beneficios:

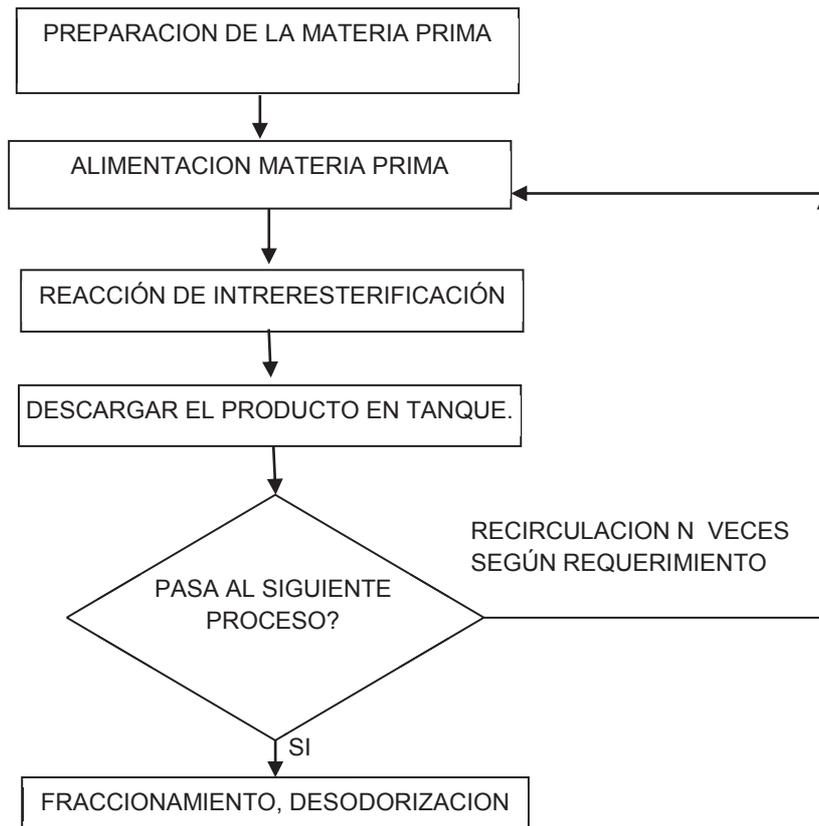
- Proceso simple de operar, bajas temperaturas (60-70°C).
- Mantenimiento mínimo.
- Stress mecánico mínimo de la grasa o aceite.
- Control de proceso es más fácil.
- Posibilidad de fácil control del grado de interesterificación cambiando el tiempo de contacto en el reactor de lecho fijo (tasa de flujo).
- Otra ventaja de interesterificación catalizada por la enzima en comparación con los métodos químicos es que puede funcionar eficazmente bajo condiciones relativamente suaves.

Las reacciones catalizadas por enzimas puede aumentar la velocidad de una reacción por 10^3 - 10^{15} . La cinética de la lipasa catalizada para interesterificación puede complicarse debido a los muchos factores que pueden influir en la reacción, tales como cambio de pH, temperaturas de trabajo y calidad de la materia prima.

Los sustratos naturales de las lipasas, corresponden a sistemas proteicos, los mismos que tienen una cierta solubilidad en medio acuoso.

4.3. DIAGRAMA DE PROCESO DE INTERESTERIFICACIÓN ENZIMÁTICA.

Gráfico # 4.1. Diagrama de proceso de interesterificación enzimática.



Fuente: Instructivo de trabajo IT I+D.51 La Fabril.S.A 2012.

Elaborado Por: Javier Chávez, 2012

4.4. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE INTERESTERIFICACIÓN ENZIMÁTICA.

4.4.1. PREPARACION DE LA MATERIA PRIMA.

Posterior al acondicionamiento del lecho, de tratarse de una materia prima que se encuentra sólida esta se procede a fundirse.

Si se trata de una materia prima líquida o semilíquida, esta se encuentra lista para colocarse en el tanque que alimentación a lecho fijo.

Cabe de destacar que la materia prima debe cumplir ciertos parámetros de calidad (%FFA, I. Peróxido. etc) para luego poder ser interesterificada enzimáticamente.

4.4.2. ALIMENTACION MATERIA PRIMA.

Antes de la alimentación se debe verificar que el tanque a donde se va a alimentar la materia prima se encuentre completamente vacío.

La alimentación de la materia prima tiene como propósito colocar a disposición la grasa o aceite que se va a utilizar en el proceso.

4.4.3. REACCIÓN DE INTRESTERIFICACIÓN.

Luego de haber estabilizado la temperatura en el tanque de alimentación, se empieza a realizar la reacción de interesterificación haciendo pasar la materia prima por el lecho enzimático, a la velocidad y temperatura dada.

4.4.4. DESCARGAR EL PRODUCTO EN TANQUE.

Una vez que la grasa ha pasado por el lecho enzimático o por los lechos determinados (en caso de existir lechos enzimáticos en serie), es necesario depositarla en un tanque en donde se le realiza los respectivos análisis para comprobar el correcto proceso de interesterificación enzimático.

4.4.5. ¿PASA AL SIGUIENTE PROCESO?

Comprobado que se ha efectuado el propósito dado se decide si se descarga el producto o se toman las medidas correctivas a el proceso de interesterificación una vez más para lograr el objetivo requerido y exponerlo para el siguiente proceso ya sea fraccionamiento, desodorización o empaque.

4.5. DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL PROCESO DE INTERESTERIFICACIÓN ENZIMÁTICA EN LA FABRIL.

4.5.1. EQUIPO DE INTERESTERIFICACIÓN

ENZIMÁTICA PILOTO ESCALA LABORATORIO.

El equipo piloto a escala laboratorio es un prototipo dimensionado para el estudio de reacciones enzimáticas de lecho fijo a pequeña escala (vidrio), éste sistema tiene como objetivo simular los ensayos iniciales y ajustes experimentales cuyos resultados serán guía para la escalabilidad del proceso a un equipo piloto y posterior escala industrial. (Ver Anexo 8-9).

Otras de las bondades de realizar un equipo a escala laboratorio no solo ahorra materia prima, sino también tiempo y mano de obra generando resultados más rápidos y de esta forma poder realizar conclusiones preliminares en el estudio de nuevos productos.

Los principios de funcionamiento son los mismos para todas las escalas por lo que con esto se pretende reducir el tamaño de error entre una escala y otra.

Una de las vulnerabilidades del equipo de interesterificación enzimática tanto a nivel laboratorio como piloto cuando se interesterifican productos de alto punto de fusión debido a que en un determinado momento en el que disminuya la eficiencia del calentamiento de las camisas del reactor puede causar extrusión tanto en el lecho como en las líneas de producto.

El anexo muestra el equipo de interesterificación enzimática a escala laboratorio.

4.5.2. LUGAR.

El trabajo experimental se realizó en el Laboratorio de Biomasa, Planta Piloto de la empresa La Fabril S.A, 2011.

4.5.3. MATERIALES.

Los materiales con los que ha sido construido el equipo piloto a escala Laboratorios, en aproximadamente el 50% son materiales reciclados que han sido desechados por otros laboratorios de la

Empresa pero que se les podía dar utilidad o son útiles para componer el sistema de interesterificación enzimática a escala laboratorio.

Los componentes materiales se detallan a continuación.

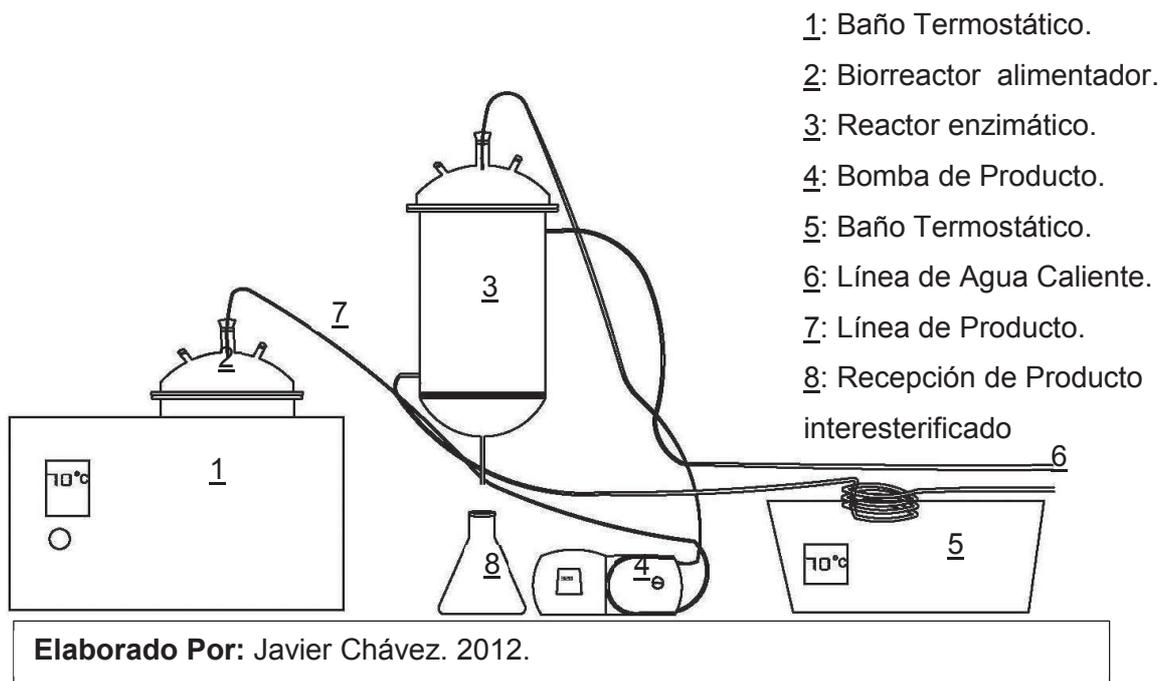
- 1 Biorreactores de vidrio encamisado con capacidad de 500 ml.
- 1 Biorreactor con capacidad de 4000 ml.
- Maguaras sanitarias.
- Manguera silicona.
- Un vaso de Precipitación de 2000ml.
- Un vaso de precipitación de 600ml.
- Un agitador magnético.
- Perlas de vidrios.
- 50*50cm de Malla en acero Inoxidable de 1.5mm.
- 50*50cm de Malla en acero Inoxidable de 0.5mm.
- 1 Metro de Tubería de cobre de 1/8 pulgada.

4.5.4. EQUIPOS.

- 2 baños termostáticos.
- Una bomba peristáltica Marca Watson Marlow modelo 520u.
- Un Stirplate.

4.5.5. ESQUEMA.

Imagen # 4.1. Diagrama de Interesterificador enzimático a Escala Laboratorio.



4.6. EQUIPO DE INTERESTERIFICACIÓN ENZIMÁTICA ESCALA PILOTO.

Para definir la tecnología del sistema de proceso es necesario llevar a cabo una serie de actividades necesarias con la finalidad de definir un diseño que satisfaga las necesidades y condiciones del producto que este generaría.

Cabe destacar que el diseño Piloto se lo realiza en base a las

experiencias obtenidas en sistema de Interesterificación enzimática piloto a escala laboratorio y este a su vez por recomendaciones de los proveedores de enzimas, quienes dieron pautas necesarias para despejar las inquietudes de las necesidades que deberá cumplir el sistema.(Ver anexos 10-11).

Aun así para definir los materiales, y necesidades con los que será construido es necesario realizar:

Estudio del Producto.

El estudio del producto debe comprender características del producto en cuanto a Calidad.

- Especificaciones de tipo legal, Comercial y Técnico.
- Tendencias de estas especificaciones según la evolución de la demanda o de los gustos del consumidor.
- Capacidad adecuada.
- Aseguramiento de la inocuidad del producto.
- Condiciones de resistencia que debería cumplir las tuberías y biorreactores.

Estudio de las materia primas.

Para el estudio de las materia primas en este caso se realizó una caracterización de las mismas, situando énfasis en las de alto punto de fusión, debido a que estas se solidifican rápidamente en contacto con la temperatura ambiente lo que dificultaría el proceso haciendo más especial el diseño del equipo de interesterificación enzimática piloto.

Análisis de alternativas.

Una vez analizados y dado conclusiones en base a las exigencias anteriormente concluidas es necesario, definir en este caso cuales deberían ser los materiales y componentes, de tal forma que se preserven las exigencias y poder establecer un sistema flexible y práctico.

Las alternativas planteadas se evaluaron en función de tres criterios:⁸

- En función del resultado técnico.
- En función del resultado Económico.
- Desde el punto de vista sanitario.

En conclusión se definió que el equipo de interesterificación Enzimática piloto deberá tener como mínimo una capacidad de 110 kg. construido en acero inoxidable, y las tuberías que estarían en contacto directo con el producto deberían ser construidas con el mismo tipo de material antes mencionado de grado alimenticio así como los las válvulas y bombas.

Para obtener mayor precisión y exactitud y cuidando el estrés del producto la bomba de Producto debe ser una bomba peristáltica debido a que esta no tiene contacto directo con el producto lo que cuida también la inocuidad.

4.7. PUNTOS CRÍTICOS DEL PROCESO.

Por puntos críticos en proceso de interesterificación enzimático, se

⁸Vanaclocha Ana C, Diseño de Industrias Agroalimentarias, Ediciones Mundi-Prensa, Mexico, 2005. (pag. 48 a 50).

considera las condiciones que podrían de alguna u otra manera poner en riesgo el buen desarrollo del proceso.

En cuanto a las experiencias por ensayos realizados en el equipo Interesterificación enzimático piloto a escala laboratorio se puede describir que al no cumplir con los parámetros establecidos por el proveedor de enzima en cuanto a temperatura, también existen otros factores que permiten una inactivación acelerada de la enzima parámetros que se detallan a continuación:

PARÁMETRO	EFEECTO
Humedad:	Niveles altos de humedad en el producto a interesterificar causa en la enzima perdida de actividad enzimática y en el producto niveles altos de acidez.
Temperatura:	Temperaturas mayores a 75 °C (para enzima Lipozymes TL IM), hacen que la enzima pierda actividad enzimática.
Pre tratamiento :	El inadecuado pre tratamiento del lecho enzimático produce en lo posterior elevados niveles de coloración del producto interesterificado.
Metales	Los altos niveles de metales es causante de una degradación acelerada de la enzima. Los niveles máx. permitidos se detalla más adelante.

4.7.1. CALIDAD DE LA MATERIA PRIMA.

Según datos proporcionados por los laboratorios productores de la enzima utilizada, en el presente estudio estos recomiendan que el producto a interesterificar, debe cumplir las condiciones

básicas detalladas en la (Tabla # 4.1) parámetros de Calidad básicos de Materias grasas bases para interesterificar:

Tabla # 4.1. Parámetros de Calidad básicos de Materias grasas bases para interesterificar.

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Hierro	ppm	<1
Cobre	ppm	<1
Níquel	ppm	<1
Fosforo	ppm	<5
Jabones	ppm	<5
Peróxido	mEq/Kg	<2
Anisidina	mEq/Kg	<4
Impurezas	%	<0.01

Fuente: Novozymes Brasil- Proveedores de enzimas.2012.

4.8. AJUSTE DE PROCESO PARA INTERESTERIFICACIÓN ENZIMÁTICA.

El ajuste de las condiciones críticas del proceso son definidas a través del diseño experimental en el cual se analizaran las variables independientes para la modelación del proceso y que no son fáciles de definir como es el caso de la velocidad de flujo de grasa o aceite a interesterificar y la temperatura de reacción.

CAPITULO V

5. COMPARACIÓN DE LOS PROCESOS DE INTERESTERIFICACIÓN ENZIMÁTICA VS QUÍMICA.

5.1. COMPARACIÓN DEL CONTENIDO DE SÓLIDOS GRASOS (%CSG) INTERESTERIFICACIÓN ENZIMÁTICA VS QUÍMICA.

El contenido de Ácidos grasos a diferentes temperaturas conocido también como comportamiento de la grasa a diferentes temperaturas es lo que le da la funcionalidad que es lo que en muchos casos se busca.

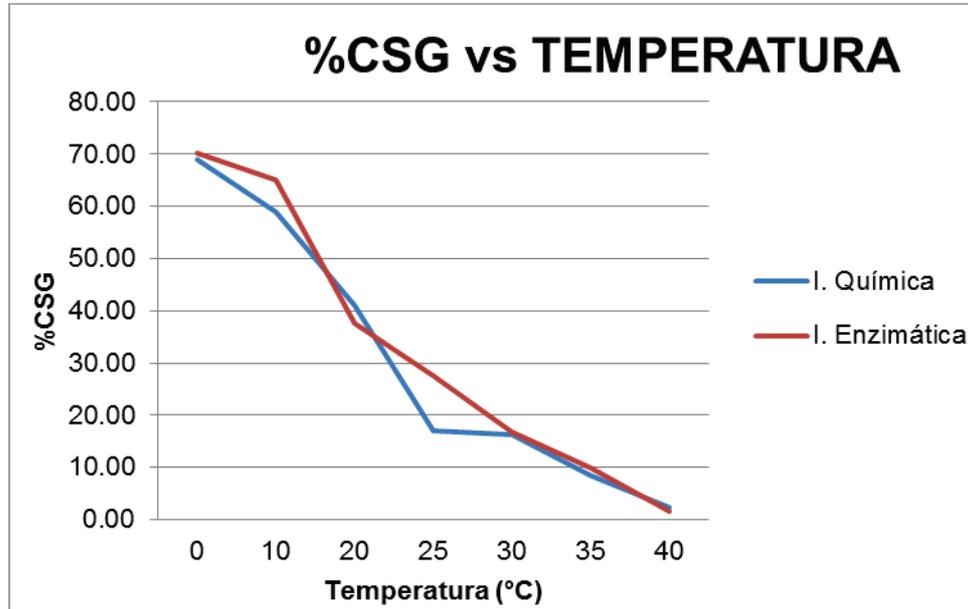
Este análisis es realizado según método AOCS Cd-16b-93, en un equipo de espectroscopia de resonancia magnética nuclear NMR por sus siglas en inglés, (Nuclear Magnetic Resonance). El anexo # 14 ilustra la operación para la lectura de contenido de sólidos grasos a diferentes temperaturas en equipo NMR del Laboratorio Instrumental La Fabril.

Se han evaluado diferentes mezclas y diferentes tipos de aceites con resultados satisfactorios con mucha similitud en cuanto a grasas interesterificadas químicas y enzimáticamente.

A continuación se presentan graficas haciendo comparación entre la interesterificación química y enzimáticas de varias mezclas.

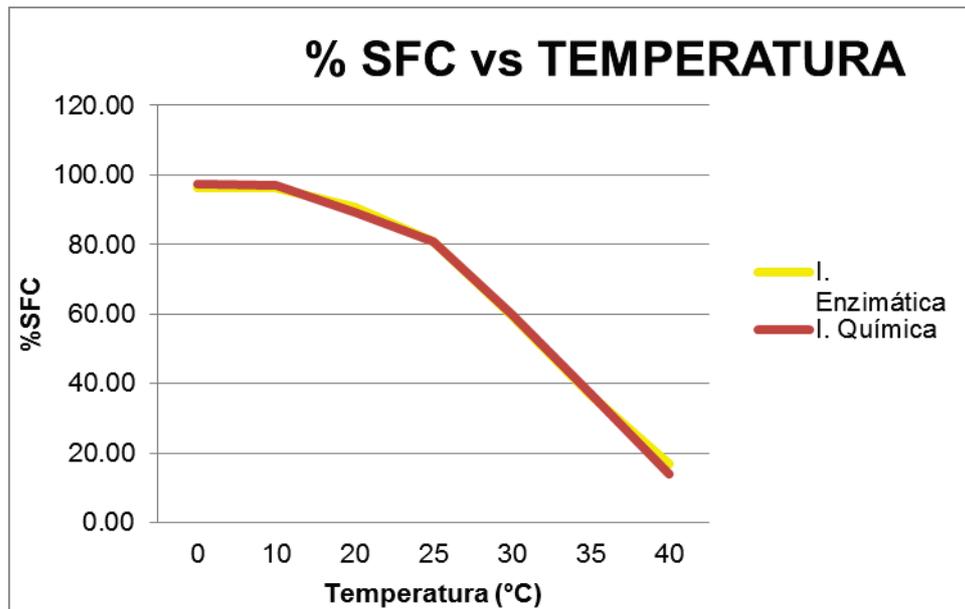
La mezcla interesterificada es estearina de palma y Palmiste en una proporción 85/15.

Gráfico # 5.1. Representación Gráfica de CSG a diferentes temperaturas mezcla 1.



Fuente: Resultados de análisis Laboratorio Instrumental La Fabril.
Elaborado Por: Javier Chávez, 2012.

Gráfico # 5.2. Representación Gráfica de sfc a diferentes temperaturas mezcla 2.



Fuente: Resultados de análisis Laboratorio Instrumental La Fabril.
Elaborado Por: Javier Chávez, 2012.

Otra de las mezclas probadas es la de Estearina de Palma/Estearina de Palmiste en proporciones 65/35. (ver Gráfica # 5.2).

Son importantes estos resultados debido a que el comportamiento de los sólidos de una grasa es lo que le da las características y exigencias comerciales, puesto que de esta forma se puede demostrar que, en cuanto a características comerciales la interesterificación enzimática puede reemplazar completamente a la Química dándole características similares de funcionabilidad.

5.2. ESTRUCTURACIÓN DE LOS TRIGLICÉRIDOS

INTERESTERIFICACIÓN ENZIMÁTICA VS QUÍMICA.

La estructura de los triglicéridos es la respuesta que explica el comportamiento de las grasas a diferentes temperaturas, después de interesterificadas (aunque también tiene mucha importancia la estructura de los ácidos grasos), estos tienen una gran importancia en cuanto a su comportamiento a la hora de ser ingerida debido a que se necesita un punto exacto de fusión y solidificación de acuerdo a la aplicación que se vaya a dar a la misma.

Por ejemplo para una margarina de mesa se necesita una grasa especial, esto quiere decir que debe tener un comportamiento de plasticidad, punto de fusión y solidificación adecuado para que a temperatura ambiente no deje que se rompa la cristalización y que cuando entre en contacto con la

temperatura corporal se funda con rápidamente sin quedar huella o sensación de grasa en la boca.

A continuación en la Tabla # 5.1. se presenta la estructura de los triglicéridos (en porcentajes de contenidos) realizando una comparación entre la química y enzimática. Los datos son obtenidos mediante análisis HPLC realizado en el laboratorio de Análisis Instrumental del departamento de innovación de la empresa La Fabril S.A. (Ver anexo # 15-16).

Tabla # 5.1. Estructura de los triglicéridos comparativos de las grasas interesterificadas. (85% Estearina de Palma+15% Palmiste)

COMP.	Entrada	I. Enzimática	I. Química
CCLr	1.9	0.8	0.5
CLrLr	4.0	2.4	1.3
LrLrLr	5.2	1.0	0.8
LrLrM	4.0	0.8	0.9
LrLrO	1.3	2.0	2.8
LrMM	2.2	2.6	3.3
LrLrP	0.3	1.5	1.7
LrMO	1.1	1.8	4.3
LrMP	1.4	2.4	2.7
MOL	1.1	3.4	4.3
MLP/MOM	1.4	9.4	9.5

MMP	0.4	5.6	6.8
OOL	1.3	1.0	1.5
POL/SLL/MOO*	6.5	5.1	6.2
PLP	7.2	2.5	7.1
MPP	0.8	3.1	3.8
OOO	2.9	2.3	1.9
SLO/POO**	13.7	9.5	8.6
POP/PLS***	23.2	13.5	12.3
PPP	8.3	5.4	5.9
POS	4.5	2.5	2.6
SOS	0.7	0.4	0.5
PSS	0.3	0.5	0.4

Fuente: Resultado de Análisis, Laboratorio Instrumental, La Fabril, 2012.

Elaborado Por: Javier Chávez.2012.

5.3. PÉRDIDAS POR REACCIÓN.

Las pérdidas están determinadas por la cantidad de tierra que utiliza cada reacción y los procesos necesarios posteriores, debido a que las tierras absorben hasta un 100% del peso de las mismas al momento de realizar la reacción, estos se los puede extraer por soplado con nitrógeno lo que se les podría extraer hasta que las mismas queden con tan solo un 30% de grasa.

Para el caso de la interesterificación química es necesario luego de la

reacción de interesterificación realizar un blanqueo, pues para este blanqueo es necesario la adición de tierras las cuales van a retener producto, además en la reacción se forman otros compuestos como jabones lo que es necesario retirar del producto mediante purificación con tierras.

A diferencia de la interesterificación enzimática no requiere blanqueos por lo que es una ventaja en cuanto a optimización de la materia prima, aunque existen pérdidas por reacción cuando se realiza cambios de producto, debido a que para que no exista contaminación en el mismo es necesario retirar una cantidad equivalente al peso de la enzima colocada en el lecho, este producto retirado no se define como un desperdicio debido a que es un producto que estará apto para ser utilizado en otra línea de proceso.

5.4. COMPARACIÓN COSTOS OPERACIONALES.

Los valores son estimando de acuerdo a los costos actuales proporcionados por la industria La Fabril S.A. y hacen referencia a los costos reales en base a las necesidades y requerimientos para cada uno de los procesos los dos estados se presentan a continuación.

Tabla # 5.2 Comparación Costos Estimados de Producción Proyectados. Interesterificación Química vs. Interesterificación Enzimática

Descripción.	Interesterificación Química				Interesterificación Enzimática			
		Costo (USD)	Costo (USD/Ton)	Costo (USD/Ton)		Costo (USD)	Costo (USD/Ton)	Costo (USD/Ton)
<u>Capacidad Estimada.</u>								
Capacidad (día)		100				100.00		
Días de Trabajo		330.00				330.00		
Capacidad Planta. (Ton/año)		33000.00				33000.00		
<u>Inversión.</u>								
Técnica y equipamiento. (USD)		750000.00				750000.00		
Construcción y estructura.(USD)		300000.00				100000.00		
Instalación (USD)		150000.00				50000.00		
Tubería/ eléctrico/equipamiento. USD)		300000.00				100000.00		
Costo total Inversión. (USD)		1500000.00				1000000.00		
Depreciación. (USD)		10.00				10.00		
Costo (Inversión/Ton)				4.55				3.03
<u>Costos Operacionales.</u>								
Mantenimiento Anual. (USD)		30000.00				30000.00		
Mano de Obra (Personas)	8				8			

Costo/Persona (USD)	12000.00	96000.00			12000.00	96000.00		
<u>Químicos.</u>								
Catalizadores (CH3ONa) (Kg/Ton)	1						****	
Costo Catalizador (USD/Ton)	5.00	165000.00	5.00				****	
Ácido Cítrico (Kg/Ton)	2						****	
Costo del Ácido cítrico (Kg/Ton)	1.50	99000.00	3.00				****	
Tierras de Blanqueo (Kg/Ton)	5						****	
Costo de Tierras de Blanqueo. (USD/kg)	0.50	82500.00	2.50				****	
Enzima (Kg/ton).		****			0.60			
Costo Enzima (USD/Kg.)		****			80.00	1584000.00	48.00	
<u>Utilidades</u>								
Potencia Utilizada.(Kwh/Ton)	50				50			
Costo Potencia (USD/Kwh)	0.14	231000.00	7.00		0.14	231000.00		
Uso de Combustible. (Kg/Ton)	150				25			
Costo de Combustible. (USD/Ton)	0.34	1683000.00	51.00		0.34	280500.00	8.50	
Otros (agua, Aire..) (USD)		16500.00	2.00			16500.00	0.50	
<u>Costo ambientales.</u>								
Tierras de Blanqueo Agotadas. (USD/Ton)	8						****	
Costos de Eliminación Tierras. (USD/Ton)	0.60	158400.00	4.80				****	
Total de costos Operacionales.		2561400.00		77.62		2475600.00		75.02
<u>Perdidas por reacción.</u>								

Después de Blanqueo. (Kg. /Ton).	3					****		
Costo Blanqueo (USD/Ton).	0.70	69300.00	2.10			****		
Después de Desodorizar. (Kg./Ton).	13				13			
Costo Desodorización.	0.70	300300.00			0.70	300300.00	9.10	
Pérdida de Aceite en enzima. (Kg. /Ton.)	****				0.6			
Costo (USD/Ton)	****				0.70	13860.00	0.42	
Total Perdías por Reacción.		369600.00		11.20		314160.00		9.52
Costo Total (Inversión, Operativo y perdidas por reacción)				93.36				87.57

Elaborado Por: Javier Chávez, 2012.

**** No aplica.

Una vez comparados los valores de los procesos de Interesterificación tanto Químico como enzimático se puede evidenciar que la interesterificación química refleja incluso un costo de procesamiento superior al de interesterificación enzimática por tonelada de producto que en este caso es 93.36USD/Ton frente a un 87.57USD/Ton, debido a que los costos operacionales de la planta de interesterificación química son superiores esto se debe a que la interesterificación química necesita mayor consumo tanto de energía eléctrica y también de combustible por cuanto se debe generar altas temperaturas. También otro factor clave son los costos de los proceso de blanqueo.

Los datos de capacidad, costos de diseño, operación y otros son una recopilación de datos entre los proporcionados por la empresa que realiza el diseño y la construcción de la planta de interesterificación Enzimática (DESMET BALLESTRA), los proveedores de enzimas en este caso Novozymes Latin America Ltda. Y costos estándares de La Fabril S.A.

5.5. COMPARACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS CONTENIDOS DE SÓLIDOS GRASOS EN LOS PRODUCTOS INTESRESTERIFICADOS POR INTERESTERIFICACION QUÍMICA Y ENZIMÁTICA.

Para consolidar la aceptación del proceso de interesterificación enzimática en La Fabril es importante que este pueda llegar a producir los mismos resultados que la interesterificación química, en relación al

contenido de sólidos para lo cual se ha recopilado un conjunto de datos obtenidos al usar los dos métodos.

Para el presente estudio se ha escogido un producto específico y una temperatura puntual a la que se le realizó análisis contenido de sólidos grasos a 40°C. de acuerdo al método para establecer una comparación pareada de los datos en cuanto a los dos métodos de investigación.

Tabla # 5.3. Contenido de Sólidos Grasos de ensayos de productos interesterificados Química Vs. Enzimáticamente.

INTERESTERIFICACIÓN QUÍMICA		INTERESTERIFICACIÓN ENZIMÁTICA	
1.50	1.20	1.26	0.99
0.95	1.85	1.51	1.30
1.25	1.00	1.11	0.94
Fuente: Resultado de Ensayos, Laboratorio Análisis Instrumental La Fabril S.A.			
Elaborado por: Javier Chávez, 2012.			

5.5.1. PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS PARA DEFINIR SIGNIFICANCIA DE VARIABLES.

H_0 : El contenido de sólidos obtenidos en el proceso de interesterificación enzimática expresa semejanza con el proceso de interesterificación química.

H_1 : El contenido de sólidos obtenidos en el proceso de interesterificación enzimática no expresa semejanza con el proceso de interesterificación química.

5.5.2. NIVEL DE SIGNIFICANCIA.

Para el presente estudio se ha escogido un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

5.5.3. ESTADÍSTICO DE PRUEBA.

Debido a que no se conoce la varianza de los datos, es necesario establecer el supuesto de que la población de los datos sigue una distribución normal. Es por esta razón que para realizar un análisis estadístico significativo se ha decidido utilizar un estadístico de prueba que en este caso es la curva de distribución "t".

En donde:

$$t_0 = \frac{\bar{y}_1 - \bar{y}_2}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

Una vez escogió el estadístico de prueba se tratan los datos por medio de resolución a través del software Minitab. (Ver anexos # 3-6).

Tabla # 5.4. Resultados de los datos de la prueba t student para I.Q. Vs. I.E.

Prueba T e IC de dos muestras: IQ. IE			
T de dos muestras para IQ vs. IE			
Error Estándar de la			
N	Media	Desv.Est.	media
IQ 6	1,292	0,337	0,14
IE 6	1,185	0,214	0,087
Diferencia = mu (IQ) - mu (IE)			
Estimado de la diferencia: 0,107			
IC de 95% para la diferencia: (-0,269, 0,482)			
Prueba T de diferencia = 0 (vs. no =): Valor T = 0,66 Valor P = 0,531 GL = 8			
Elaborado Por: Javier Chávez Solórzano, 2012.			

Reglas de decisión:

Se acepta la H_0 Si $t_{Cal} \leq t_{tab}$

Se acepta la H_1 Si $t_{Cal} \geq t_{tab}$

$$t_{tab} = (n - 1)$$

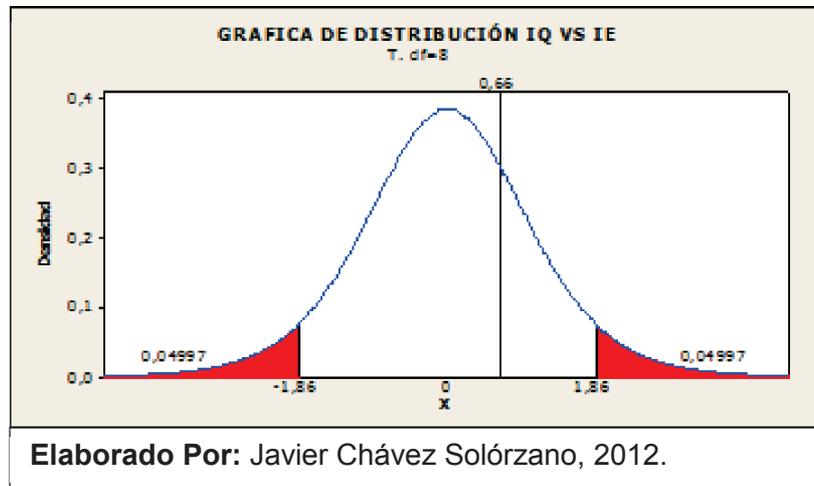
$$t_{tab} = (9 - 1) = 8$$

$$t_{cal} = 0.66$$

$$t_{Cal} \leq t_{tab}$$

$$0.66 \leq 1.86$$

Gráfico # 5.3. Distribución "t" para el análisis estadístico I.Q. Vs I.E.



5.5.4. CONCLUSIÓN.

En base a los resultados obtenidos referente a la “t” calculada de 0.66 frente a la “t” tabular de 1.86 se acepta la hipótesis nula concluyendo que los dos procesos, tanto la interesterificación química y enzimático arrojan resultados semejantes.

Esto demuestra que la interesterificación enzimática puede reemplazar a la interesterificación química puesto que el cambio en el comportamiento de CSG es similar, y también los resultados de la cromatografía (HPLC), muestran resultados significativamente beneficiosos antes que por interesterificación química.

CAPITULO VI

6. MODELACIÓN DEL PROCESO DE INTERESTERIFICACIÓN ENZIMÁTICA EN LA PLANTA PILOTO DE LA FABRIL.

6.1. INTRODUCCIÓN.

Para llevar a efecto la modelación del proceso de interesterificación enzimática en La Fabril se ha considerado establecer cuantitativamente las variables más relevantes que afectan las propiedades de los productos interesterificados enzimáticamente, para que de esta manera sea factible establecer un modelo matemático que permitan que dichas variables puedan ser manipulables y controlables.

6.2. IDENTIFICACIÓN Y ENUNCIACIÓN DEL PROBLEMA.

Se necesita modelar el proceso de interesterificación enzimática, de tal forma que se escojan las variables necesarias y que estas sean de mayor importancia en el proceso para darle un tratamiento experimental y de esta manera llegar a conclusiones objetivas.

Se necesita probar cuál de estas variables escogidas produce mayores cambios para modelar adecuadamente el proceso.

6.2.1.1. ELECCIÓN DE LOS FACTORES, LOS NIVELES Y LOS RANGOS.

Para el desarrollo del diseño experimental se toma en cuenta tres

variables que son:

- La velocidad de flujo o caudal que atraviesa el lecho enzimático.
- La temperatura de reacción.
- Los números de pasos como un factor de ruido.

Se debe modelar el diseño experimental de tal manera que éste, de las pautas necesarias para una conclusión objetiva en cuanto cómo se comporta cada una de las variables y cuál de estas producen cambios significativos al momento de variar la condición al interesterificar.

6.2.2. SELECCIÓN DE LA VARIABLE DE RESPUESTA.

Para el presente estudio a más de una situación de costos, y rapidez de resultados se escoge cómo variable respuesta el porcentaje de contenido de sólidos grasos para medir los efectos producidos en la reacción de interesterificación enzimática y también debido a que es un de mucha importancia.

6.2.3. ELECCIÓN DEL DISEÑO EXPERIMENTAL.

Para el siguiente análisis preliminar se trataran los datos como un modelo factorial general.

Para la presente investigación se decidió realizar un diseño factorial no aleatorizado debido a que el número de pasos no se puede

aleatorizar, puesto que no se puede pasar la tercera pasada antes de pasar la primera.

El modelo a emplear puede ser representado matemáticamente como se muestra a continuación.

$$y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \gamma_k + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl} \begin{cases} i = 1, 2, \dots, a \\ j = 1, 2, \dots, b \\ k = 1, 2, \dots, c \\ l = 1, 2, \dots, n \end{cases}$$

6.2.4. REALIZACIÓN DEL EXPERIMENTO.

Para llevar a efecto la modelación del proceso de interesterificación enzimática, se realizaron 18 corridas experimentales para de esta forma poder realizar un diseño experimental que dé como resultado un estudio lo más significativo posible, las corridas se realizaron de manera independiente, para lo que se realizó dos mezclas con igual proporción de contenidos en cuanto a su composición de la grasa con la que se usaría para realizar el análisis estadístico.

En cada corrida se realizarán análisis de contenido de sólidos grasos a diferentes temperaturas dando mayores cambios a 40°C por lo que esos datos se los toma como referencia para realizar el análisis experimental.

Luego de realizar todas las corridas respectivas se ordenaron los datos dando como resultado una tabla de datos como se muestra a continuación.

Tabla # 6.1. Datos contenidos de solidos grasos, Análisis Laboratorio Instrumental La Fabril.

		Temperatura.								
		60°C			65°C			70°C		
		Caudal(g/min)			Caudal(g/min)			Caudal(g/min)		
#										
Pasos	40	50	60	40	50	60	40	50	60	
1	4.45	5.20	7.14	4.67	6.97	6.67	4.24	5.67	6.94	
	4.67	6.00	5.14	4.67	6.97	6.24	4.24	5.67	7.94	
2	1.98	4.09	5.56	1.96	4.47	4.65	1.95	4.06	5.34	
	2.00	4.09	4.67	2.00	4.47	4.57	2.00	3.00	6.15	
3	1.26	3.51	4.36	0.99	3.30	3.93	0.94	3.05	3.89	
	1.51	3.51	3.96	1.30	3.30	3.46	1.11	2.46	4.05	

Fuente: Resultado de ensayos, Laboratorio Instrumental, La Fabril S.A.
Elaborado por. Javier Chávez, 2012.

6.2.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS.

Una vez recolectado los datos obtenidos se los codificó para de esta forma se puedan realizar el tratamiento estadístico el mismo que se lo realiza utilizando el software Minitab v16.2.2.

6.2.5.1. PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS.

La modelación del proceso de interesterificación enzimática requiere conocer que variables (futuras) son significativas para la

función respuesta de proceso, para la modelación de las variables que de acuerdo a los ensayos preliminares se han definido, las mismas que han sido enunciadas anteriormente en el apartado 7.2.1 de esta tesis, por lo que se plantean las siguientes hipótesis para las variables:

Para el factor temperatura:

$$H_0 = \mu_{60} = \mu_{65} = \mu_{70}$$

$H_1 =$ No todas las medias son iguales

Para el factor caudal

$$H_0 = \mu_{40} = \mu_{50} = \mu_{60}$$

$H_1 =$ No todas las medias son iguales

Para el factor número de pasos.

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3.$$

$H_1 =$ No todas las medias son iguales

Para la interacción Pasos*Temperatura

$$H_0 = (\tau\beta)_{ij} = 0.$$

$H_1 =$ por lo menos un par de $(\tau\beta)_{ij} \neq 0$.

Para la interacción pasos*Caudal.

$$H_0 = (\tau\gamma)_{ik} = 0$$

$H_1 =$ por lo menos un par de $(\tau\gamma)_{ik} \neq 0$.

Para la interacción Temperatura*Caudal.

$$H_0 = (\beta\gamma)_{jk} = 0.$$

$$H_1 = \text{por lo menos un par de } (\beta\gamma)_{jk} \neq 0.$$

Y la interacción de todos los Factores.

$$H_0 = (\tau\beta\gamma)_{ijk} = 0.$$

$$H_1 = \text{por lo menos un par de } (\tau\beta\gamma)_{ijk} \neq 0.$$

6.2.5.2. SELECCIÓN DEL GRADO DE SIGNIFICANCIA.

Para la presente investigación se usará un nivel de significancia o nivel de confianza del 5 %. Esto indica que $\alpha = 0.05$.

6.2.5.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Luego de establecidos los parámetros esenciales para realizar el respectivo análisis estadístico se hizo uso del Software Minitab, obteniendo los datos mostrados en la tabla # 6.2.

Tabla # 6.2. Resumen de resultados obtenidos a través de análisis estadístico con el software Minitab.

Modelo lineal general: C1 vs. Pasos. Temperatura. Caudal								
Factor	Tipo	Niveles	Valores					
Pasos	fijo	3	P1.	P2.	P3			
Temperatura	fijo	3	T60.	T65.	T70			
Caudal	fijo	3	VF40.	VF50.	VF60			
Análisis de varianza para C1, utilizando SC ajustada para pruebas								
Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P		
Pasos	2	83,2749	83,2749	41,6375	239,24	0,000		
Temperatura	2	0,1102	0,1102	0,0551	0,32	0,731		
Caudal	2	69,2700	69,2700	34,6350	199,01	0,000		
Pasos*Temperatura	4	1,5852	1,5852	0,3963	2,28	0,087		
Pasos*Caudal	4	1,5313	1,5313	0,3828	2,20	0,096		
Temperatura*Caudal	4	4,7078	4,7078	1,1770	6,76	0,001		
Pasos*Temperatura*Caudal	8	1,1658	1,1658	0,1457	0,84	0,578		
Error	27	4,6991	4,6991	0,1740				

Total	53	166,3442			
S = 0,417180 R-cuad. = 97,18% R-cuad.(ajustado) = 94,45%					
Observaciones inusuales de C1					
Obs	C1	Ajuste	EE de ajuste	Residuo	Residuo estándar
3	5,14000	6,14000	0,29499	-1,00000	-3,39 R
30	7,14000	6,14000	0,29499	1,00000	3,39 R
R denota una observación con un residuo estandarizado grande.					
Elaborado por: Javier Chávez Solórzano, 2012.					

6.2.5.4. REGLAS DE DECISIÓN.

Si $F_{\text{calculada}} \leq F_{\text{Tabular}}$ Se acepta la H_0 .

Para el factor temperatura:

$$F_{(c-1);(abc)} = F_{(2);(27)} = 3.354.$$

$$F_{\text{calculado}} = 0,32$$

$$F_{\text{calculada}} \leq F_{\text{Tabular}} = 0.32 \leq 3.354$$

Para el factor caudal.

$$F_{(b-1);(abc)} = F_{(2);(27)} = 3.354$$

$$F_{\text{calculado}} = 199,01$$

$$F_{\text{calculada}} \leq F_{\text{Tabular}} = 199,01 \leq 3.354$$

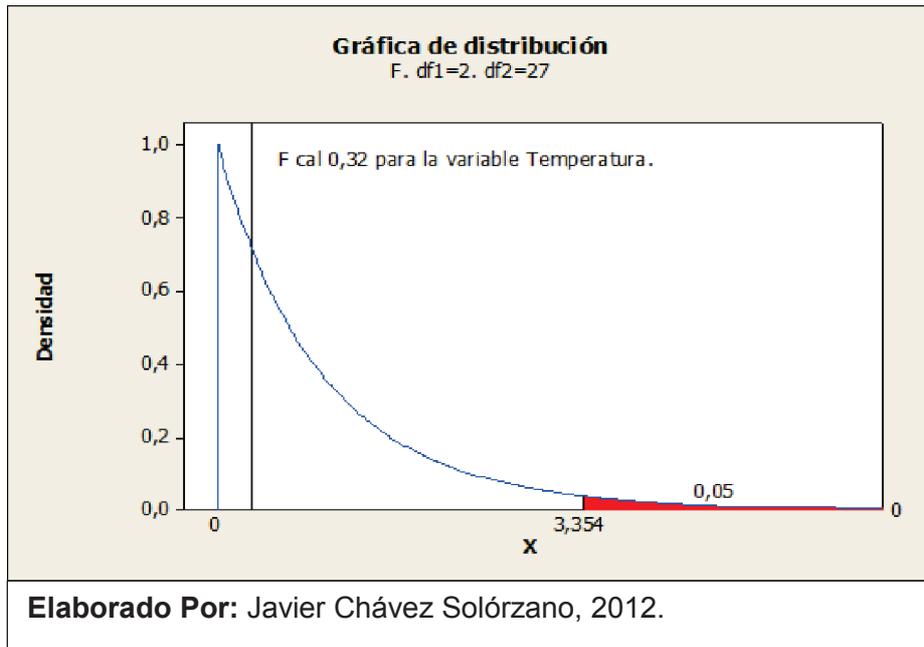
Para el factor número de pasos.

$$F_{(a-1);(abc)} = F_{(2);(27)} = 3.354$$

$$F_{\text{calculado}} = 239,24$$

$$F_{\text{calculada}} \leq F_{\text{Tabular}} = 239,24 \leq 3.354$$

Gráfico # 6.1: Curva de distribución F para las variables.



Para la interacción Pasos*Temperatura

$$F_{(a-1)(c-1);(abc)} = F_{(4);(27)} = 2,728$$

$$F_{\text{calculado}} = 2,28$$

$$F_{\text{calculada}} \leq F_{\text{Tabular.}} = 2,28 \leq 2,728$$

Para la interacción pasos*Caudal.

$$F_{(a-1)(b-1);(abc)} = F_{(4);(27)} = 2,728$$

$$F_{\text{calculado}} = 2,20$$

$$F_{\text{calculada}} \leq F_{\text{Tabular.}} = 2,20 \leq 2,728$$

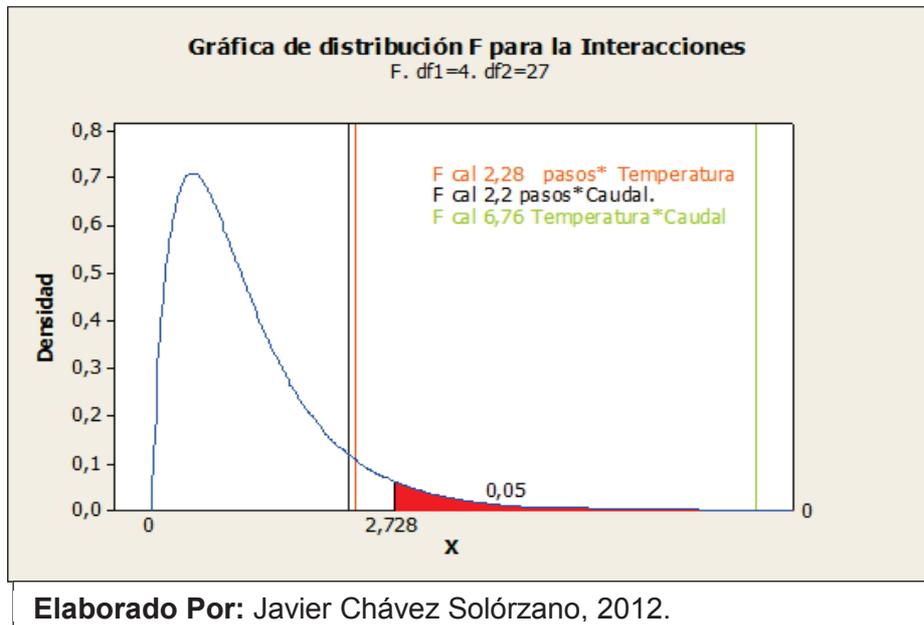
Para la interacción Temperatura*Caudal.

$$F_{(c-1)(d-1);(abc)} = F_{(4);(27)} = 2,728$$

$$F_{\text{calculado}} = 6.76$$

$$F_{\text{calculada}} \leq F_{\text{Tabular.}} = 2,20 \leq 2,728$$

Gráfico # 6.2: Curva de distribución F para las Intersecciones.



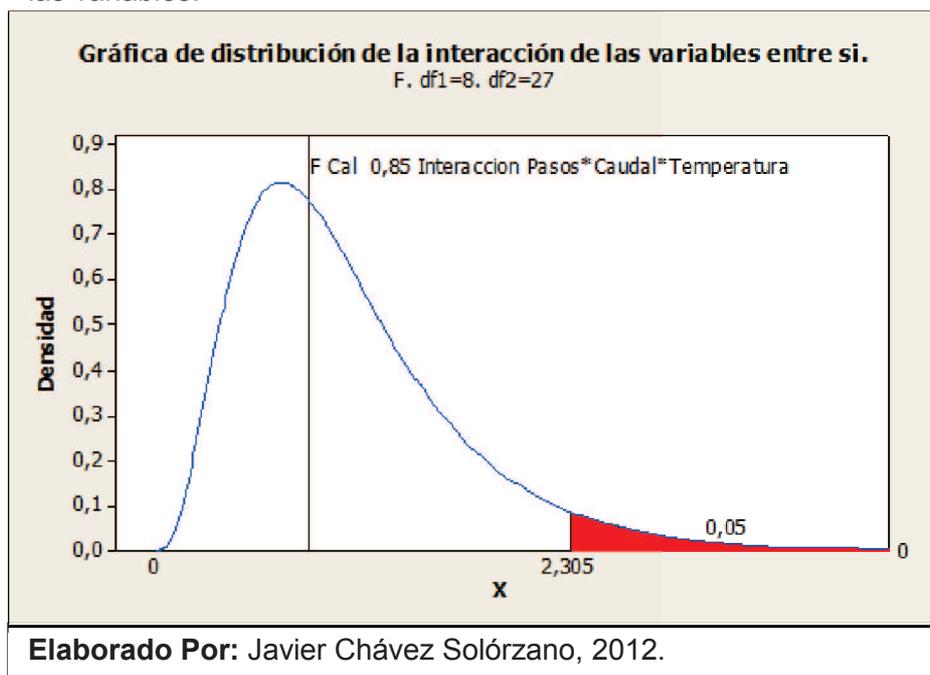
Y la interacción de todos los Factores o variables.

$$F_{(a-1)(b-1)(c-1);(abc)} = F_{(8);(27)} = 2.31$$

$$F_{\text{calculado}} = 0,84$$

$$F_{\text{calculada}} \leq F_{\text{abular.}} = 2,20 \leq 2.31$$

Gráfico # 6.3. Curva de distribución F para la interacción las todas las variables.



6.2.5.5. CONCLUSIÓN

Luego de realizado el tratamiento estadístico el mismo en el que se puede determinar, cuáles variables son significativas para el proceso por lo que en este caso la variable pasos y caudal denota un valor $F_{\text{calculado}}$ de 239.24 y 199.01 respectivamente, también se debe considerar la interacción temperatura-caudal la misma que en el tratamiento estadístico de los datos denota un valor de 6.76, como se puede visualizar la tabla ANOVA (Ver. Tabla # 6.2) la temperatura sola no produce un efecto significativo pero cuando interactúa con el caudal juega un papel importante en el proceso es por cuanto se la debe considerar.

6.3. MODELACIÓN MATEMÁTICA DEL PROCESO DE INTERESTERIFICACIÓN ENZIMÁTICA.

Luego de haber realizado el tratamiento estadístico de los datos es necesario escoger las variables más significativas para poder realizar un modelo matemático con el que se pueda predecir matemáticamente el comportamiento del proceso para un determinado producto, y de esta forma sirva como modelo para realizar la predicción de otros productos interesterificados enzimáticamente utilizando este mecanismo.

De los resultados obtenidos mediante el análisis estadístico se toman los resultados considerando el valor por criterio estadístico a un nivel significativo del 5% en donde $P \leq 0.05$ por lo que se escoge el número de

pasos, el caudal y la interacción Temperatura-caudal debido a que cumplen el criterio mencionado.

Luego de escogida las variables y las interacciones que se van a considerar se define el modelo matemático de la siguiente forma:

$$y = \beta_0 + p\beta_1 + c\beta_2 + tc\beta_3$$

En donde:

p= número de pasos por lecho enzimático.

c= caudal.

t= temperatura de reacción.

Una vez definido el modelo se preparan los datos codificando para poder hacer uso del software Minitab y poder definir la ecuación respectiva. (ver anexos # 3 a 6).

Una vez ingresado los datos en el software minitab se procede a ejecutar la corrida para su respectivo análisis produciendo los resultados resumidos mostrados en la Tabla # 6.3.

Tabla # 6.3. Resumen de resultados Obtenidos a través de análisis estadístico con el software Minitab.

Análisis de regresión general: CSG versus Pasos. Caudal. Temperatura							
Ecuación de regresión							
CSG = 0,292407 - 1,48889 Pasos + 0,131295 Caudal + 6,21212e-005 Caudal*Temperatura							
Coeficientes							
Término		Coef	EE del coef.	T	P		
Constante		0,29241	0,582632	0,5019	0,618		
Pasos		-1,48889	0,106969	-13,9188	0,000		
Caudal		0,13130	0,029459	4,4569	0,000		
Caudal*Temperatura		0,00006	0,000422	0,1471	0,884		
Resumen del modelo							
S = 0,641817	R-cuad. = 87,62%			R-cuad. (ajustado) = 86,88%			
PRESS = 23,8542	R-cuad. (pred.) = 85,66%						
Análisis de varianza							
Fuente	GL	SC	Sec.	SC Ajust.	CM Ajust.	F	P
Regresión	3	145,748		145,748	48,5826	117,939	0,000000
Pasos	1	79,804		79,804	79,8044	193,733	0,000000
Caudal	1	65,934		8,182	8,1824	19,864	0,000047
Caudal*Temperatura	1	0,009		0,009	0,0089	0,022	0,883639
Error	50	20,596		20,596	0,4119		
Falta de ajuste	23	15,897		15,897	0,6912	3,971	0,000406
Error puro	27	4,699		4,699	0,1740		
Total	53	166,344					
Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes							
Obs	C4	Ajuste	EE de ajuste	Residuo	Residuo estándar		
9	6,97	5,57019	0,138097	1,39981	2,23333	R	
10	6,97	5,57019	0,138097	1,39981	2,23333	R	
14	5,14	6,90488	0,215783	-1,76488	-2,91979	R	
R denota una observación con un residuo estandarizado grande.							
Elaborado Por: Javier Chávez, 2012.							

Luego de realizado el análisis de regresión para el modelo descrito anteriormente obtenidos a través del uso del Software Minitab (ver Tabla # 6.3. Resumen de resultados Obtenidos a través de análisis estadístico con el software Minitab), en la que puede evidenciar la ecuación que nos servirá para modelar el Proceso de interesterificación enzimática, la misma que se muestra a continuación.

$$\text{CSG} = 0,292407 - 1,48889 \text{ Pasos} + 0,131295 \text{ Caudal} + 6,21212e-005$$

Caudal*Temperatura

La ecuación descrita anteriormente con un $R^2 = 87.62\%$ demostrando de esta manera confiabilidad para la predicción del contenido de los sólidos grasos, por lo que se la reconoce como una ecuación confiable para el proceso.

Luego de haber obtenido esta ecuación se realiza una comprobación de los resultados experimentales realizados en el equipo de interesterificación enzimática y los calculados por la ecuación establecida. (ver Tabla # 6.4).

Tabla # 6.4. Comparación de los datos calculados vs Datos experimentales.

# Pasos	Caudal	Temperatura	Resultado de Ensayos Interesterificación	Resultado predeterminad o cálculo matemático	Error
1	40	60	4.45	4.20	0.25
1	40	60	4.67	4.20	0.47
1	40	65	4.67	4.22	0.45
1	40	65	4.67	4.22	0.45
1	40	70	4.24	4.23	0.01
1	40	70	4.24	4.23	0.01
1	50	60	5.20	5.55	-0.35
1	50	60	6.00	5.55	0.45
1	50	65	6.97	5.57	1.40
1	50	65	6.97	5.57	1.40
1	50	70	5.67	5.59	0.08
1	50	70	5.67	5.59	0.08
1	60	60	7.14	6.90	0.24
1	60	60	5.14	6.90	-1.76
1	60	65	6.67	6.92	-0.25
1	60	65	6.24	6.92	-0.68
1	60	70	6.94	6.94	0.00
1	60	70	7.94	6.94	1.00
2	40	60	1.98	2.72	-0.74
2	40	60	2.00	2.72	-0.72
2	40	65	1.96	2.73	-0.77

2	40	65	2.00	2.73	-0.73
2	40	70	1.95	2.74	-0.79
2	40	70	2.00	2.74	-0.74
2	50	60	4.09	4.07	0.02
2	50	60	4.09	4.07	0.02
2	50	65	4.47	4.08	0.39
2	50	65	4.47	4.08	0.39
2	50	70	4.06	4.10	-0.04
2	50	70	3.00	4.10	-1.10
2	60	60	5.56	5.42	0.14
2	60	60	4.67	5.42	-0.75
2	60	65	4.65	5.43	-0.78
2	60	65	4.57	5.43	-0.86
2	60	70	5.34	5.45	-0.11
2	60	70	6.15	5.45	0.70
3	40	60	1.26	1.23	0.03
3	40	60	1.51	1.23	0.28
3	40	65	0.99	1.24	-0.25
3	40	65	1.30	1.24	0.06
3	40	70	0.94	1.25	-0.31
3	40	70	1.11	1.25	-0.14
3	50	60	3.51	2.58	0.93
3	50	60	3.51	2.58	0.93
3	50	65	3.30	2.59	0.71
3	50	65	3.30	2.59	0.71
3	50	70	3.05	2.61	0.44
3	50	70	2.46	2.61	-0.15
3	60	60	4.36	3.93	0.43
3	60	60	3.96	3.93	0.03
3	60	65	3.93	3.95	-0.02
3	60	65	3.46	3.95	-0.49
3	60	70	3.89	3.96	-0.07
3	60	70	4.05	3.96	0.09

Elaborado: Javier Chávez, 2012.

La tabla # 6.4. muestra los valores tanto los experimentales como los calculados y también el error de la diferencia entre dichos valores, mostrando de esta forma que la predicción de los valores calculados a través

de la ecuación definida brinda un valor aproximado del comportamiento del proceso de interesterificación enzimática en la empresa La Fabril S.A.

HIPÓTESIS.

H_0 = Con el modelo experimental en el proceso de interesterificación enzimática se mejorará la producción de las bases grasas, logrando lípidos estructurados funcionales para la aplicación industrial.

H_1 = Con el modelo experimental en el proceso de interesterificación enzimática no se mejorara la producción de las bases grasas, logrando lípidos estructurados funcionales para la aplicación industrial.

Se confirma la H_0 debido a que con la modelación experimental del proceso de interesterificación enzimática se logró determinar las variables significativas para el mismo, las cuales son el número de pasos, caudal y la temperatura cuando interactúa con el caudal, dichas variables pueden ser manipulables utilizando la ecuación matemática descrita en la página 102 del presente estudio, logrando de esta forma el control sobre dicho proceso con una relación de confiabilidad $R^2= 0.8762$, pudiendo predecir posibles comportamientos y garantizando resultados como los comparados en el capítulo V de la presente Investigación.

La mejora del proceso consecuentemente a lo antes mencionado en cuanto a calidad del producto, está dada debido a fundamentos teóricos, que demuestran que el proceso de interesterificación enzimática es un proceso natural lo hace que la grasa interesterificada sea un producto más noble que la obtenida mediante los procesos químicos.

En lo que respecta al proceso, con el modelo se logra obtener predicciones del comportamiento de las grasas bases para aplicación industrial y de esta

forma lograr el control del mismo sin afectar los parámetros de calidad, por cuanto de esta forma podemos obtener resultados con una mayor rapidez ahorrando tiempo y gastos de ensayos.

CONCLUSIONES:

- Se logró desarrollar la modelación del proceso de interesterificación enzimática para la obtención de bases grasas utilizando como catalizador la enzima LipozymeTL IM en lecho fijo, generando resultados satisfactorios.
- La modelación del proceso de interesterificación enzimática en la planta piloto, de la empresa La Fabril a través del diseño experimental utilizando como método estadístico el diseño Factorial General ha representado una alternativa ágil para definir y dar las pautas necesarias siendo así posible la manipulación de dicho proceso y de las variables significativas intervinientes.
- El proceso de interesterificación enzimática, al usar catalizadores enzimáticos no produce grasas “trans” debido a que este a su vez, lo que permite es un reacomodo de los ácidos grasos en la molécula del glicerol como se puede evidenciar en la Tabla # 5.1 en el que se muestra los cambios realizados en la estructura del triglicérido.
- Este proceso genera un aporte significativo para la empresa debido a que no solo únicamente genera productos utilizando procesos más nobles y económicos, sino que genera productos con altísimos niveles de calidad generando confianza para quienes consuman productos elaborados por La Fabril.

- La presente investigación ha sido de gran importancia para poder consolidar, los conocimientos brindados por la Universidad, evidenciando como se puede aplicar lo aprendido teóricamente y que estos a su vez haiga sido posibles comprobarlos en la práctica.

RECOMENDACIONES:

- Se recomienda el uso del proceso de interesterificación enzimática en la producción de bases Grasas para Shortening y Margarinas debido a que es un proceso más noble, por lo que al ser un proceso natural se reduce la probabilidad de causar efectos adversos a la salud de los consumidores.
- Se recomienda al área de Investigación y desarrollo de la empresa la Fabril S.A a utilizar este tipo de soluciones, haciendo más uso del diseño experimental.
- Se recomienda que la Facultad de ingeniería Industrial, siga incentivando la vinculación de los estudiantes con las industria, debido a que esto ayuda que los estudiantes generemos conocimientos significativos formando así profesionales más competitivos.

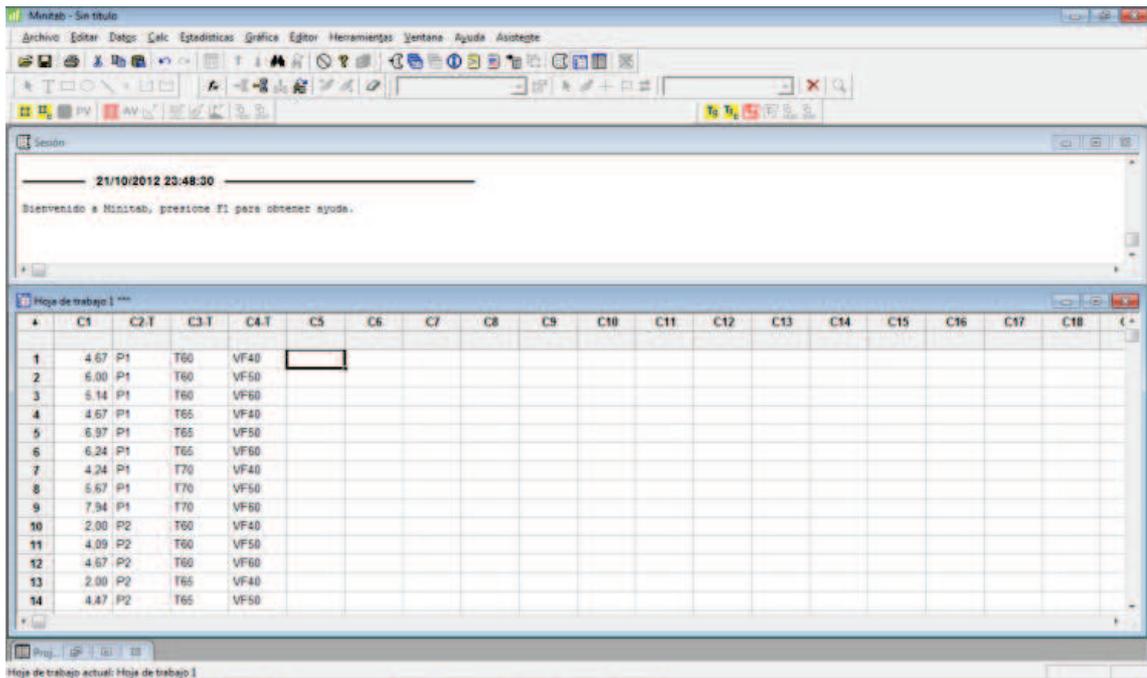
BIBLIOGRAFÍA:

- Bailey Alton E., Aceites y Grasas Industriales, IntersciencePublishers, Inc. New York, 1984.
- Berry S. Donald, Gere James M. Y Otros, Principles Of Unit Operation, DécimaEdición, 2006.
- Fabila Carrera, Gilberto, Diseño De Análisis De Experimentos Industriales, Mexico, 1998.
- Fennema Owen R., Hui Y.H., Marcus Karel, Otros, FoodLipids, Segunda Edición, Marcel Dekker, Inc., New York • Basel, 2002.
- Fennema, Owen R.; Damodaran, Srinivasan; Parkin L., Química De Los Alimentos Editorial Acribia, S.A. 3ra Edición. España 2010.
- Kazlauskas, R. J.; Bornscheuer, U. T. Em A Multi-Volume Comprehensive Treatise Biotechnology; Rehm, H. J.; Stader, P., Eds.; 1998, Vol. 8a.
- Koolman Jan Y Klaus- Rohm Heinrich. Bioquímica. Texto Y Atlas, Medica Panamericana, Madrid, 2004. 3a. Edición.
- Montgomery Douglas C., Diseño Y Análisis De Experimentos, 2a Edición, LimusaWiley. Mexico, 2005.
- Nancy Ajzenberg, Vol. 53. Fasc. 2 (2002), 229-238. Universitat Politècnica De Catalunya.

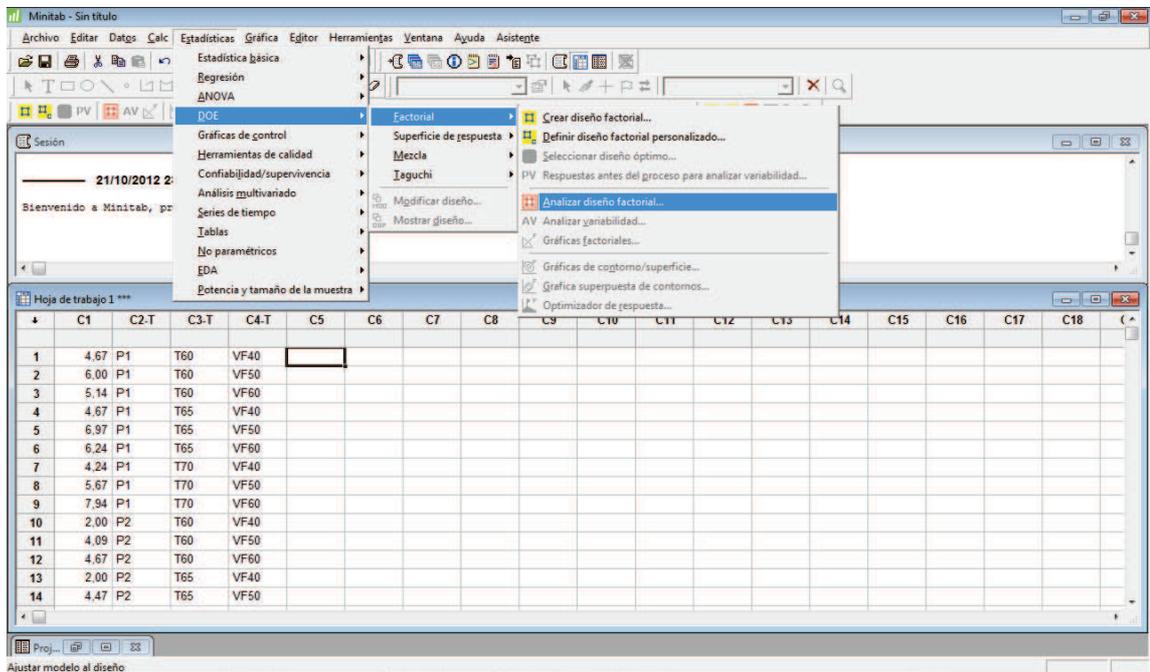
- Nirbri Benjamín, FreivaldsAndris, Ingeniera Industrial: Métodos, Estándares Y Diseño Del Trabajo. Décima Edición.
- Polaina Julio, Maccabe Andrew P. Industrial Enzymes, Structure, Function And Applications, Springer, 2007.
- Richard D. O'brien, Walter Farr, And Peter J. Wan. Introduction To Fast And Oils Technology, Aocs, 2da Edición, 2000.
- Streeter Victor L., Wylie E. Benjamin Y. Bedford Keith W, Novena Edición, Mcgraw-HillInteramericana S.A. 1999.
- Valencia R, Garzón A. Potencialidades De La Soya Y Sus Usos En La Alimentación Humana Y Animal. Segunda Edición, Corpoica, 2004.
- Vanaclocha Ana C, Diseño De Industrias Agroalimentarias, Ediciones Mundi-Prensa, Mexico, 2005.
- Vega T. Alberto, Guia Para La Elaboración De Acites Comestibles, Caracterización Y Procesamiento De Nueces. Convenio Andrés Bello. Bogotá 2004.
- Voet Donald Y Voet Judith G., Bioquímica, 3ra. Edición, Buenos Aires, Médica Panamericana, 2006.
- Vulfson, E. N. Em Lipases: Their Structure, Biochemistry And Application; Woolley, P.; Petersen, S. B., Eds.; Cambridge University Press: Great Britain, 1994.

ANEXOS

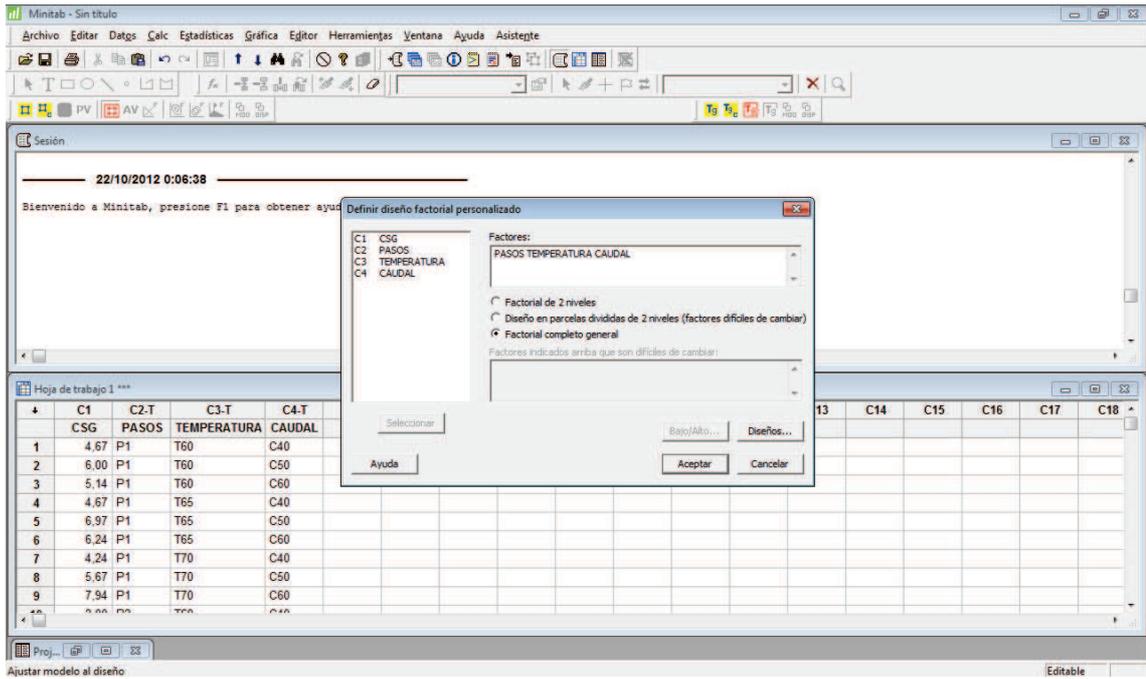
Anexo 1: Imagen de la pantalla luego de Codificado los datos para efectuar la corrida del diseño experimental.



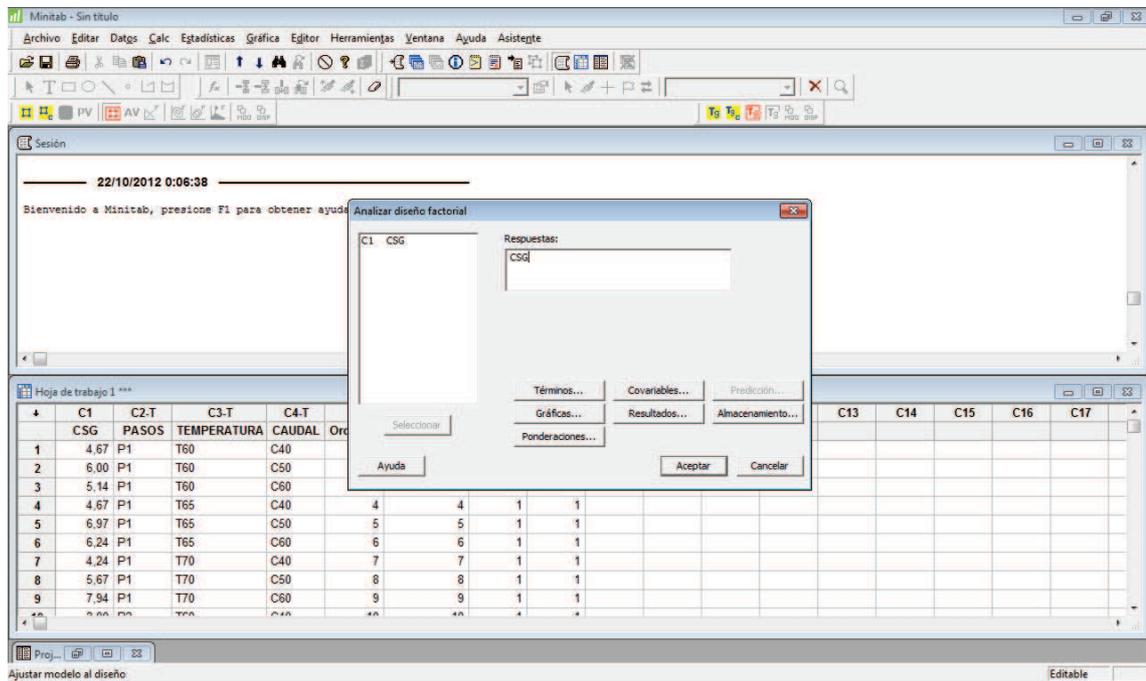
Anexo 2: Imagen de la pantalla al elegir la opción correspondiente para el desarrollo del proceso.



Anexo 3: Imagen de la pantalla al elegir la opción correspondiente para el desarrollo del proceso v los factores.



Anexo 4: Imagen de la pantalla al elegir la celda en la cual se encuentra la variable respuesta.



Anexo 5: Imagen de la pantalla al codificar los datos para definir la ecuación para la modelación del proceso.

The screenshot shows the Minitab software interface with a spreadsheet containing the following data:

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	C24
	pasos	caudal	temp																					
1	1	40	60	4.45																				
2	1	40	60	4.67																				
3	1	40	65	4.67																				
4	1	40	65	4.67																				
5	1	40	70	4.24																				
6	1	40	70	4.24																				
7	1	50	60	5.20																				
8	1	50	60	6.00																				
9	1	50	65	6.97																				
10	1	50	65	6.97																				
11	1	50	70	5.67																				
12	1	50	70	5.67																				
13	1	60	60	7.14																				
14	1	60	60	5.14																				
15	1	60	65	6.67																				
16	1	60	65	6.24																				
17	1	60	70	6.94																				
18	1	60	70	7.94																				
19	2	40	60	1.98																				
20	2	40	60	2.00																				
21	2	40	65	1.96																				
22	2	40	65	2.00																				
23	2	40	70	1.95																				
24	2	40	70	2.00																				

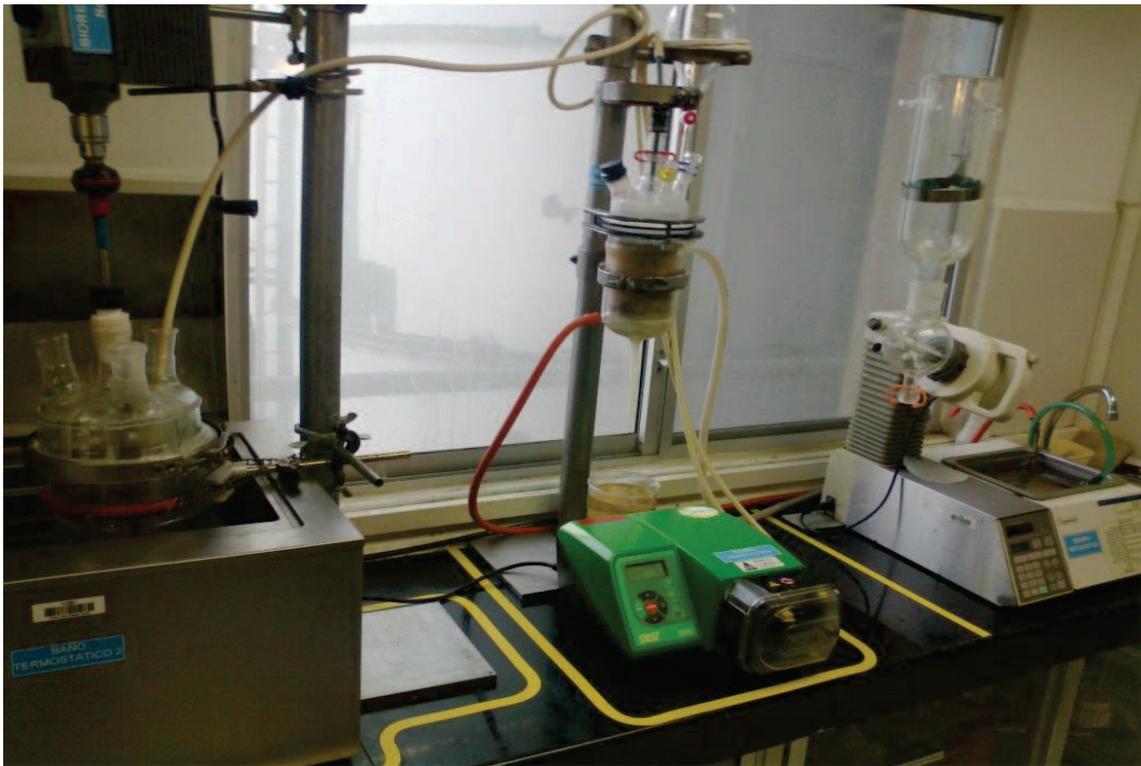
Anexo 6: Imagen de la pantalla al elegir la celda de respuesta y la definición del modelo.

The screenshot shows the Minitab software interface with the 'Regresión general' dialog box open. The dialog box contains the following information:

- Respuesta: C4
- Modelo: pasos+caudal+ temp* caudal
- Predictores categóricos (opcional):

The background spreadsheet is the same as in Anexo 5. The dialog box also includes buttons for 'Opciones...', 'Box-Cox...', 'Predicción...', 'Gráficas...', 'Resultados...', 'Almacenamiento...', 'Ayuda', 'Aceptar', and 'Cancelar'.

Anexo 7: Equipo de Interesterificación enzimática a escala Laboratorio.



Anexo 8: Realizando ensayos de interesterificación enzimática.



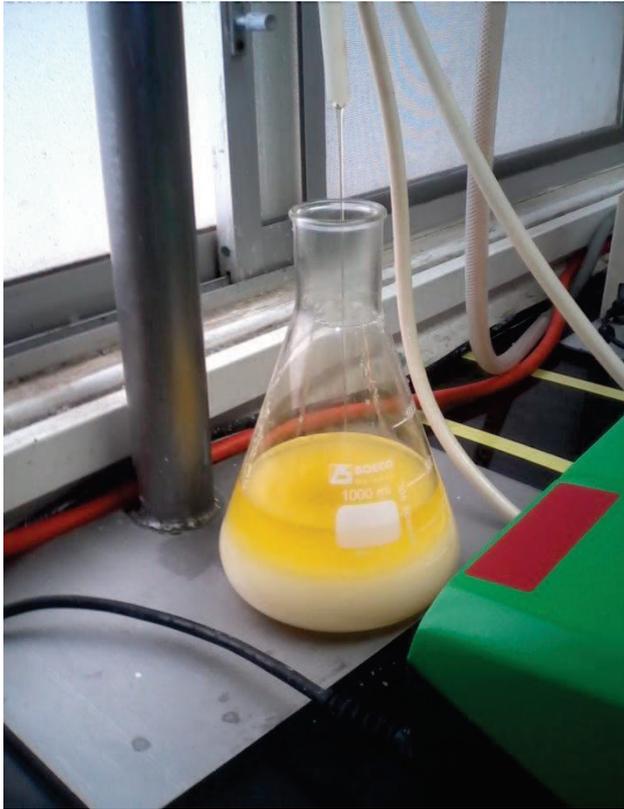
Anexo 9: Equipo de Interesterificación enzimática a escala Piloto.



Anexo 10: Realizando corrida experimental.



Anexo 11: Receptor de aceite interesterificado.



Anexo 12: Ubicación de tubos de ensayos en baño termostático para efectuar análisis.NMR.



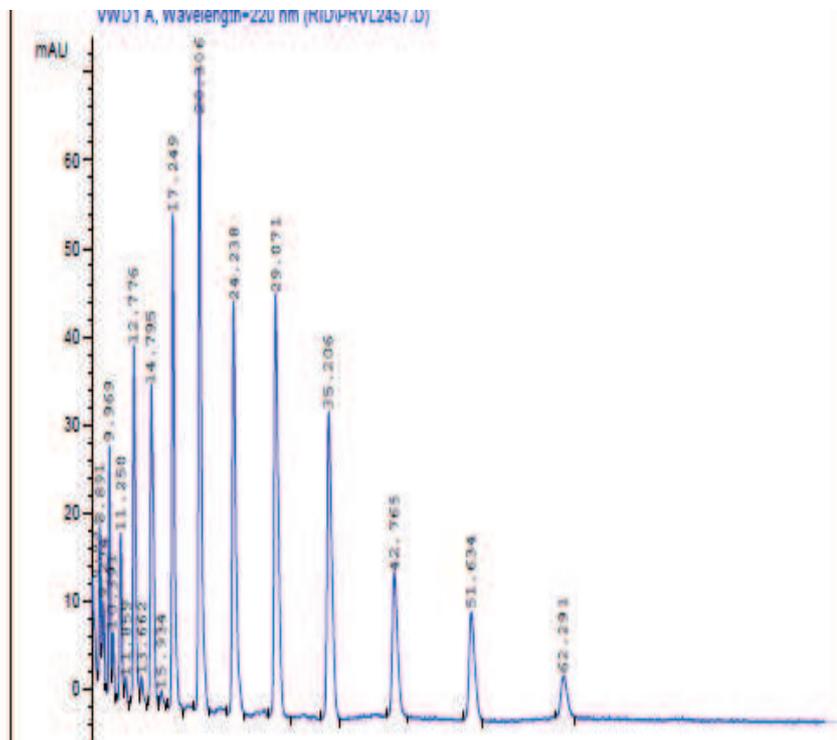
Anexo 13: Temperado de Muestras. A temperaturas de lectura.



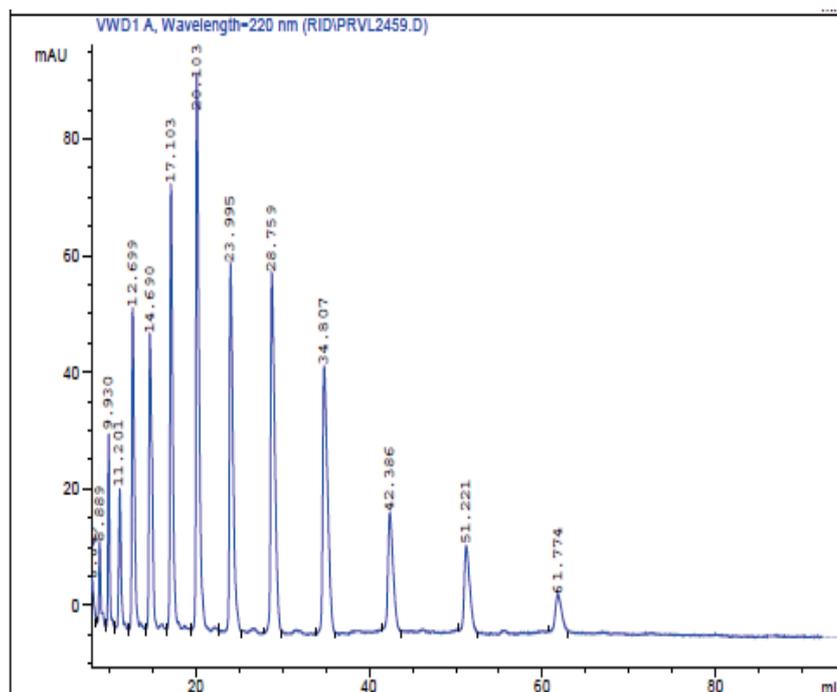
Anexo 14: Equipo Minispec para lectura de CSG.



Anexo 15: Curva de análisis HPLC. Para grasa inter-enzimática.



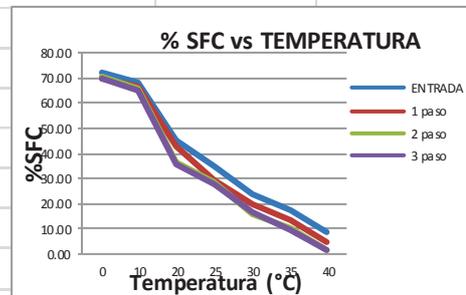
Anexo 16: Curva de análisis HPLC. para grasa inter-química.



Anexo 17: Resultado de los ensayos de la grasa (ST-PO/PK 85/15).
Para modelación experimental.

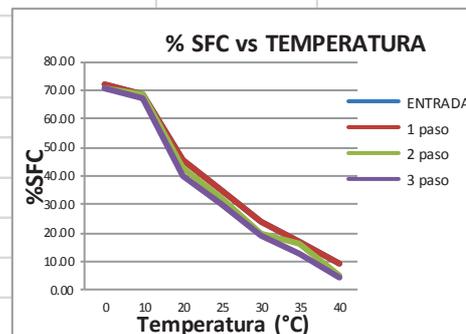
ENSAYO No.	1			
PRODUCTO:	Mescla 01			
Formulación				
Estearina Palma 85%	Palmiste 15%			
T°C	ENTRADA	1 paso	2 paso	3 paso
0	72.26	69.73	70.61	70.17
10	68.37	66.64	66.01	65.50
20	45.17	42.90	36.50	35.45
25	34.82	29.07	28.30	27.80
30	23.53	20.18	16.13	16.69
35	17.18	13.16	9.95	9.86
40	9.06	4.45	1.98	1.26

VARIABLES DEL PROCESO	
TEMPERATURA	60°C
FLUJO AGUA CAMISA REACTOR	200 ml/min
FLUJO ACEITE REAL	40 gr/min
PRESION	
TIEMPO POR /PASO	19 min.
TIPO DE ENZIMA:	TL IM



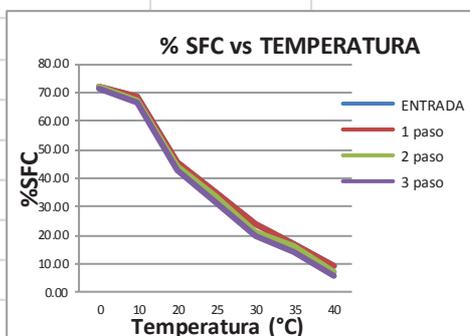
ENSAYO #	2			
PRODUCTO:	Mescla 01			
Formulación				
Estearina Palma 85%	Palmiste 15%			
T°C	ENTRADA	1 paso	2 paso	3 paso
0	72.26	72.26	70.73	70.61
10	68.37	68.37	68.64	67.15
20	45.17	45.17	42.45	40.20
25	34.82	34.82	32.18	30.45
30	23.53	23.53	19.87	19.02
35	17.18	17.18	15.93	12.67
40	9.06	9.06	5.20	4.09

VARIABLES DEL PROCESO	
TEMPERATURA	60°C
FLUJO AGUA CAMISA REACTOR	200 ml/min
FLUJO ACEITE REAL	50 gr/min
PRESION	
TIEMPO POR /PASO	19 min.
TIPO DE ENZIMA:	TL IM



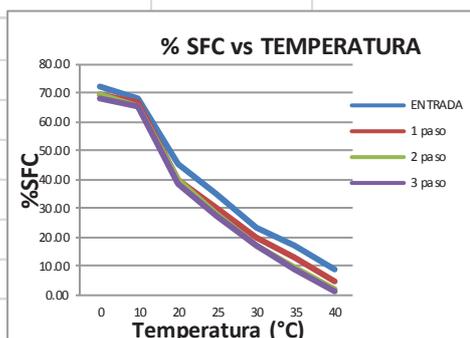
ENSAYO #	3			
PRODUCTO:	Mescla 01			
Formulación				
Estearina Palma 85%	Palmiste 15%			
T°C	ENTRADA	1 paso	2 paso	3 paso
0	72.26	72.26	71.73	71.53
10	68.37	68.37	67.10	66.64
20	45.17	45.17	44.20	42.55
25	34.82	34.82	33.80	31.23
30	23.53	23.53	21.17	19.45
35	17.18	17.18	16.20	14.10
40	9.06	9.06	7.14	5.56

VARIABLES DEL PROCESO	
TEMPERATURA	60°C
FLUJO AGUA CAMISA REACTOR	200 ml/min
FLUJO ACEITE REAL	60 gr/min
PRESION	
TIEMPO POR /PASO	19 min.
TIPO DE ENZIMA:	TL IM



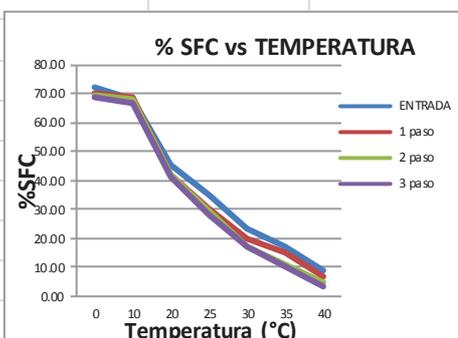
ENSAYO No.	4			
PRODUCTO:	Mescla 01			
Formulación				
Estearina Palma 85%	Palmiste 15%			
T°C	ENTRADA	1 paso	2 paso	3 paso
0	72.26	69.73	69.61	68.17
10	68.37	66.64	65.15	65.11
20	45.17	40.20	39.58	38.67
25	34.82	30.00	28.50	27.44
30	23.53	19.61	17.13	16.90
35	17.18	12.90	9.75	9.20
40	9.06	4.67	2.00	1.30

VARIABLES DEL PROCESO	
TEMPERATURA	65°C
FLUJO AGUA CAMISA REACTOR	200 ml/min
FLUJO ACEITE REAL	40 gr/min
PRESION	
TIEMPO POR /PASO	19 min.
TIPO DE ENZIMA:	TL IM



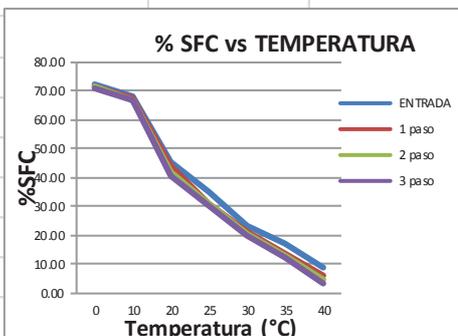
ENSAYO No.	5			
PRODUCTO:	Mescla 01			
Formulación				
Estearina Palma 85%	Palmiste 15%			
T°C	ENTRADA	1 paso	2 paso	3 paso
0	72.26	70.25	69.80	69.00
10	68.37	68.60	68.30	66.45
20	45.17	42.20	41.80	40.96
25	34.82	30.00	29.50	28.14
30	23.53	19.61	17.13	16.90
35	17.18	14.93	10.85	10.50
40	9.06	6.97	4.47	3.30

VARIABLES DEL PROCESO	
TEMPERATURA	65°C
FLUJO AGUA CAMISA REACTOR	200 ml/min
FLUJO ACEITE REAL	50 gr/min
PRESION	
TIEMPO POR /PASO	19 min.
TIPO DE ENZIMA:	TL IM



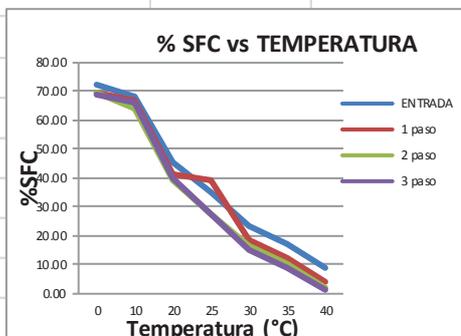
ENSAYO No.	6			
PRODUCTO:	Mescla 01			
Formulación				
Estearina Palma 85%	Palmiste 15%			
T°C	ENTRADA	1 paso	2 paso	3 paso
0	72.26	71.73	71.53	71.12
10	68.37	67.30	66.93	66.64
20	45.17	43.70	41.80	40.61
25	34.82	31.17	30.75	29.90
30	23.53	21.06	20.61	19.95
35	17.18	13.60	13.00	12.09
40	9.06	6.24	4.57	3.46

VARIABLES DEL PROCESO	
TEMPERATURA	65°C
FLUJO AGUA CAMISA REACTOR	200 ml/min
FLUJO ACEITE REAL	60gr/min
PRESION	
TIEMPO POR /PASO	19 min.
TIPO DE ENZIMA:	TL IM



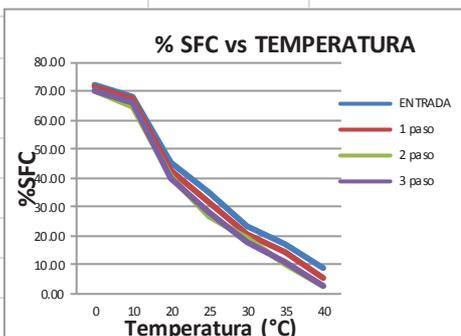
ENSAYO No.	7			
PRODUCTO:	Mescla 01			
Formulación				
Estearina Palma 85%	Palmiste 15%			
T°C	ENTRADA	1 paso	2 paso	3 paso
0	72.26	69.73	69.61	69.17
10	68.37	66.64	64.15	65.80
20	45.17	41.15	39.50	39.60
25	34.82	39.45	27.50	27.44
30	23.53	18.61	16.13	14.96
35	17.18	12.47	9.95	8.76
40	9.06	4.24	2.00	1.11

VARIABLES DEL PROCESO	
TEMPERATURA	70°C
FLUJO AGUA CAMISA REACTOR	200 ml/min
FLUJO ACEITE REAL	40gr/min
PRESION	
TIEMPO POR /PASO	19 min.
TIPO DE ENZIMA:	TL IM



ENSAYO No.	8			
PRODUCTO:	Mescla 01			
Formulación				
Estearina Palma 85%	Palmiste 15%			
T°C	ENTRADA	1 paso	2 paso	3 paso
0	72.26	71.83	70.45	70.10
10	68.37	67.64	64.45	65.90
20	45.17	42.67	40.57	39.63
25	34.82	31.85	26.50	28.34
30	23.53	20.57	19.31	18.09
35	17.18	14.05	9.95	10.96
40	9.06	5.67	3.00	2.46

VARIABLES DEL PROCESO	
TEMPERATURA	70°C
FLUJO AGUA CAMISA REACTOR	200 ml/min
FLUJO ACEITE REAL	50 gr/min
PRESION	
TIEMPO POR /PASO	19 min.
TIPO DE ENZIMA:	TL IM



ENSAYO No.	9			
PRODUCTO:	Mescla 01			
Formulación				
Estearina Palma 85%	Palmiste 15%			
T°C	ENTRADA	1 paso	2 paso	3 paso
0	72.26	71.23	70.91	70.39
10	68.37	67.01	65.46	65.24
20	45.17	43.26	41.16	40.28
25	34.82	33.12	32.95	32.38
30	23.53	22.58	21.15	19.83
35	17.18	15.26	12.95	12.76
40	9.06	7.94	6.15	4.05

VARIABLES DEL PROCESO	
TEMPERATURA	70°C
FLUJO AGUA CAMISA REACTOR	200 ml/min
FLUJO ACEITE REAL	60 gr. ml/min
PRESION	
TIEMPO POR /PASO	19 min.
TIPO DE ENZIMA:	TL IM

