



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

**ESTABLECER LOS TIEMPOS DE VIDA DE ANAQUEL RELATIVOS DE COLOIDES
OBTENIDOS EN PROCESOS BATCH CON AGITADOR Y CON HOMOGENIZADOR TIPO
JAULA ROTOR-ESTATOR, DENTRO DE UNA EMPRESA COSMÉTICA TIPO PYME**

Luis Alejandro González Barrios

Asesorado por el Ing. Guillermo Alejandro Lam Guzmán

Guatemala, febrero de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTABLECER LOS TIEMPOS DE VIDA DE ANAQUEL RELATIVOS DE COLOIDES
OBTENIDOS EN PROCESOS BATCH CON AGITADOR Y CON HOMOGENIZADOR TIPO
JAULA ROTOR-ESTATOR, DENTRO DE UNA EMPRESA COSMÉTICA TIPO PYME**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

LUIS ALEJANDRO GONZÁLEZ BARRIOS
ASESORADO POR EL ING. GUILLERMO ALEJANDRO LAM GUZMÁN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, FEBRERO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Otto Raúl De León De Paz
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
EXAMINADOR	Ing. José Manuel Tay Oroxom
SECRETARIO	Ing. Julio Ismael González Podszueck

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**ESTABLECER LOS TIEMPOS DE VIDA DE ANAQUEL RELATIVOS DE COLOIDES
OBTENIDOS EN PROCESOS BATCH CON AGITADOR Y CON HOMOGENIZADOR TIPO
JAULA ROTOR-ESTATOR, DENTRO DE UNA EMPRESA COSMÉTICA TIPO PYME**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha mayo de 2012.



Luis Alejandro González Barrios

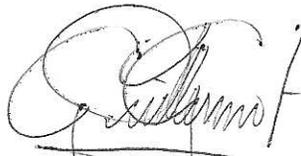
Guatemala, 09 de noviembre de 2012

Ingeniero
Víctor Manuel Monzón Valdéz
Director Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
USAC

Estimado Ingeniero Monzón:

Por medio de la presente le manifiesto mi aprobación del contenido técnico del Informe final del trabajo de Investigación, titulado: **"ESTABLECER LOS TIEMPOS DE VIDA DE ANAQUEL RELATIVOS DE COLOIDES OBTENIDOS EN PROCESOS BATCH CON AGITADOR Y CON HOMOGENIZADOR TIPO JAULA ROTOR-ESTATOR, DENTRO DE UNA EMPRESA COSMÉTICA TIPO PYME"** que efectuara bajo mi asesoramiento el estudiante de la carrera de Ingeniería Química, Luis Alejandro González Barrios, carné No. 8712339.

Atentamente,



Guillermo Alejandro Lam Guzmán
Ingeniero Químico
Colegiado Activo No.545

GUILLERMO A. LAM GUZMÁN
INGENIERO QUÍMICO
Colegiado No 545



Guatemala, 07 de noviembre de 2012.
Ref.EPS.DOC.1462.11.12.

Inga. Sigrid Alitza Calderón de León
Directora Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimada Ingeniera Calderón de León.

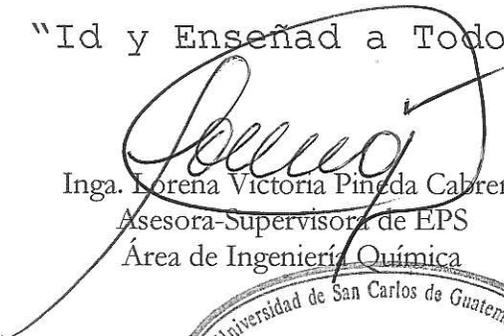
Por este medio atentamente le informo que como Asesora-Supervisora de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Luis Alejandro González Barrios** de la Carrera de Ingeniería Química, con carné No. **8712339**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **"ESTABLECER LOS TIEMPOS DE VIDA DE ANAQUEL RELATIVOS DE COLOIDES OBTENIDOS EN PROCESOS BATCH CON AGITADOR Y CON HOMOGENIZADOR TIPO JAULA ROTOR-ESTATOR, DENTRO DE UNA EMPRESA COSMÉTICA TIPO PYME"**.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

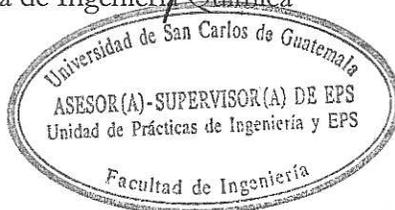
Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Inga. Lorena Victoria Pingda Cabrera
Asesora-Supervisora de EPS
Área de Ingeniería Química

c.c. Archivo
LVPC/ra





Guatemala, 07 de noviembre de 2012.
Ref.EPS.D.945.11.12.

Ing. Victor Manuel Monzón Valdéz
Director Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Monzón Valdéz.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"ESTABLECER LOS TIEMPOS DE VIDA DE ANAQUEL RELATIVOS DE COLOIDES OBTENIDOS EN PROCESOS BATCH CON AGITADOR Y CON HOMOGENIZADOR TIPO JAULA ROTOR-ESTATOR, DENTRO DE UNA EMPRESA COSMÉTICA TIPO PYME"** que fue desarrollado por el estudiante universitario **Luis Alejandro González Barrios**, quien fue debidamente asesorado y supervisado por la Ingeniera Lorena Victoria Pineda Cabrera.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte de la Asesora -Supervisora de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"

Inga. Sigrid Alitza Calderón de León
Directora Unidad de EPS



SACdL/ra



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Guatemala, 27 de noviembre de 2012
Ref. EI.Q.TG-IF.061.2012

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

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el Acta TG-051-2012-IF le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN
-Modalidad EPS-

Solicitado por el estudiante universitario: **Luis Alejandro González Barrios**

Identificado con número de carné: **87-12339**

Previo a optar al título de INGENIERO QUÍMICO.

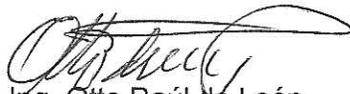
Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

**ESTABLECER LOS TIEMPOS DE VIDA DE ANAQUEL RELATIVOS DE COLOIDES
OBTENIDOS EN PROCESOS BATCH CON AGITADOR Y CON HOMOGENIZADOR TIPO
JAULA ROTOR-ESTATOR, DENTRO DE UNA EMPRESA COSMÉTICA TIPO PYME**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **Guillermo Alejandro Lam Guzmán**.

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

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. Otto Raúl de León
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo





El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Ejercicio Profesional Supervisado (**EPS final**) del estudiante **LUIS ALEJANDRO GONZÁLEZ BARRIOS** titulado: **"ESTABLECER LOS TIEMPOS DE VIDA DE ANAQUEL RELATIVOS DE COLOIDES OBTENIDOS EN PROCESOS BATCH CON AGITADOR Y CON HOMOGENIZADOR TIPO JAULA ROTOR-ESTATOR, DENTRO DE UNA EMPRESA COSMÉTICA TIPO PYME"**.
Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.


Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, febrero de 2013

Cc: Archivo
VMMV/dle



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **ESTABLECER LOS TIEMPOS DE VIDA DE ANAQUEL RELATIVOS DE COLOIDES OBTENIDOS EN PROCESOS BATCH CON AGITADOR Y CON HOMOGENIZADOR TIPO JAULA ROTOR-ESTATOR, DENTRO DE UNA EMPRESA COSMÉTICA TIPO PYME**, presentado por el estudiante universitario **Luis Alejandro González Barrios**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, febrero de 2013

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser la razón de mi vida, mi compañía, mi fortaleza y mi refugio.
- Mis padres** Rodolfo Gustavo González (q.e.p.d.) y Zoila Irma Barrios Pérez de González, quienes con su inmenso amor y dedicación, sembraron valores en mi vida que nunca olvidaré.
- Mi esposa** Sandra Martínez, por su cariño y apoyo.
- Mis hijos** María Alejandra y Luis Estuardo, porque al verlos y recibir su amor, puedo percibir la belleza de la vida y la supremacía de Dios en mi vida.
- Mis hermanos** Gustavo Adolfo, Mónica Isabel, Lisbeth Carolina, Pablo Roberto e Irma Cindy Del Carmen, por tanto amor que he recibido de ustedes. Han sido fuente de inspiración en mi vida.
- Mis cuñados y cuñadas** Por ser las parejas de mis hermanos y hermanas, que luchan con ellos día a día por ser mejores personas. Gracias por su cariño y respeto.

Mis sobrinos

Andrea María González, Gustavo González, Ana Lucía González, Paula González, Daniel González, Jimena Castillo, Ellen Roest, Jimena González y Jan Roest, por hacerme sentir un tío querido, gracias por su cariño. Los quiero mucho.

Mis suegros

Sarbelio Arturo Martínez y Amanda Cardona de Martínez (q.e.p.d.) por el cariño y respeto que me brindaron siempre.

AGRADECIMIENTOS A:

La Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser parte fundamental de mi desarrollo y por brindarme la oportunidad de superarme.
Facultad de Ingeniería	Por la oportunidad que me brindó de formarme en una carrera apasionante y útil para mi país.
Mis catedráticos	Por ser parte de mi formación, a quienes admiro y respeto por su calidad humana y profesional.
Inga. Lorena Pineda	Por el apoyo y esmero profesional que me brindó en la realización del presente trabajo.
Ing. Guillermo Lam	Por su ayuda invaluable, su profesionalismo y sus aportes tan acertados, que ayudaron a dar forma a las ideas principales del presente trabajo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS/HIPÓTESIS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Operación unitaria de mezclado	5
2.1.1. Fluidos	6
2.1.1.1. Fluidos compresibles	6
2.1.1.2. Fluidos incompresibles	6
2.1.1.3. Fluidos newtonianos	6
2.1.1.4. Fluidos no newtonianos	6
2.2. Objetivos del mezclado.....	7
2.3. Consideraciones sobre el proceso de mezclado	7
2.4. Tipos de mezcladores.....	8
2.4.1. Mezcladores de flujos	9
2.4.2. Mezclador de paletas o brazos	9
2.4.3. Mezclador de hélices o de propela	10
2.4.4. De turbina	10
2.4.5. De tambor	11
2.4.6. De molino coloidal	11

2.4.7.	Homogenizadores	11
2.5.	Procesos involucrados en la manufactura en estudio.....	12
2.5.1.	Mezclas sólido-líquido	12
2.5.2.	Dispersión de gases	13
2.5.3.	Mezcla líquido-líquido de materiales no miscibles...	13
2.5.4.	Mezcla de soluciones y líquidos miscibles	14
2.5.4.1.	Mezclas líquido-líquido no viscosos	14
2.5.4.2.	Mezclas líquidos viscoso-no viscoso....	14
2.6.	Propiedades físicas y químicas deseadas en los productos ...	15
2.7.	Coloides	16
2.8.	Sinéresis	17
2.9.	Tixotropía	17
2.10.	Número de Reynolds.....	17
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	19
3.1.	Variables	19
3.1.1.	Variables a manipular (variables independientes)...	19
3.1.2.	Variable de respuesta (variable dependiente)	24
3.2.	Delimitación de campo de estudio	24
3.3.	Recurso humano disponible.....	24
3.4.	Recursos materiales disponibles.....	24
3.5.	Técnica cuantitativa.....	25
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información	25
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	27
3.8.	Análisis estadístico.....	27
3.9.	Equipos de mezclado en competencia y detalles.....	28
4.	RESULTADOS.....	33

4.1.	Condiciones de operación	33
4.2.	Mediciones de viscosidad antes de pruebas de estabilidad acelerada.....	35
4.3.	Mediciones de viscosidad después de pruebas de estabilidad acelerada.....	36
4.4.	Comparación de viscosidad (μ), antes y después de pruebas de estabilidad acelerada.....	37
4.5.	Relación adimensional entre valores de viscosidades finales	38
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	41
	CONCLUSIONES	47
	RECOMENDACIONES	49
	BIBLIOGRAFÍA.....	51
	APÉNDICES	53
	ANEXOS.....	55

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Combinaciones de coloides según el estado de sus fases	16
2.	Equipo de agitación de propelas	21
3.	Patrón de circulación axial del fluido	21
4.	Equipo homogenizador tipo jaula rotor-estator.....	23
5.	Patrón de circulación radial del fluido.....	23
6.	Esquema de equipo de agitación de propelas y flujos	29
7.	Esquema de homogenizador tipo jaula rotor-estator.....	30
8.	Esquema del interior de la jaula rotor-estator.....	31
9.	Comparación de viscosidades finales producto gel	39
10.	Comparación de viscosidades finales producto crema	39

TABLAS

I.	Variables involucradas en el proceso.....	19
II.	Condiciones de operación con equipo de agitación	33
III.	Condiciones de operación con equipo homogenizador tipo jaula rotor-estator.....	34
IV.	Parámetros utilizados en pruebas de estabilidad acelerada.	34
V.	Equipo y parámetros para medición de viscosidad.	35
VI.	Viscosidad promedio con equipo de agitación, antes de pruebas de estabilidad acelerada	35
VII.	Viscosidad promedio con homogenizador tipo jaula rotor-estator, antes de pruebas de estabilidad acelerada.....	36

VIII.	Viscosidad promedio con equipo de agitación, después de pruebas de estabilidad acelerada	36
IX.	Viscosidad promedio con homogenizador tipo jaula rotor-estator, después de pruebas de estabilidad acelerada.....	37
X.	Comparación de viscosidad (μ), utilizando equipo de agitación, antes y después de pruebas de estabilidad acelerada.	37
XI.	Comparación de viscosidad (μ), utilizando homogenizador tipo jaula rotor-estator, antes y después de pruebas de estabilidad acelerada....	38
XII.	Relación adimensional entre valores de viscosidad finales, después de pruebas de estabilidad acelerada.	38

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
HP	Caballos de fuerza
cP	Centipoise
z	Constante de probabilidad
ρ	Densidad
D	Diámetro del impulsor
pH	Grado de acidez
e	Grado de error
°C	Grados Celcius
°K	Grados Kelvin
h	Hora
kg	Kilogramo
NRe	Número de Reynolds

Pa	Pascal
%	Porcentaje
P	Presión
s	Segundos
n	Tamaño de muestra
T	Temperatura
N	Velocidad del agitador
μ	Viscosidad
V	Voltaje

GLOSARIO

Alcohol graso	Materiales tipo ceras, de cadena de carbonos lineal con altos pesos moleculares. Se utilizan como emulsificantes u opacificantes.
BPM	Conjunto de normas y recomendaciones de la Organización mundial de salud, aplicables a los procesos de fabricación con el propósito de garantizar su eficiencia, seguridad y eficacia.
Coalescencia	Fenómeno en el cual, dos moléculas de fase dispersa se unen para formar otra mayor, perdiendo ambas su identidad, provocando un efecto irreversible.
Densidad	Es una medida intensiva referida a la cantidad de masa contenida en un determinado volumen.
Emulsificación	Proceso por medio del cual un líquido es dispersado en otro en forma de gotas pequeñas.
Estabilidad acelerada	Estudios diseñados para lograr el incremento de la velocidad de degradación química o física de un producto.

Fluido	Sustancia que no permite en forma permanente la distorsión
Granel	Sustancia fabricada que no tiene asignado un envase específico en el cual será depositado para su posterior almacenaje, distribución y consumo.
O/W	Emulsiones aceite en agua, por sus siglas en inglés.
Parámetro	Variable que identifica una característica del fenómeno a estudiar.
Presión	Es una magnitud física que mide la fuerza ejercida por unidad de área de una superficie.
Presión atmosférica	Presión ejercida por las partículas de la atmósfera terrestre medida mediante un barómetro. Al nivel del mar, esta presión es aproximadamente de 760 mm de mercurio (29,9 pulgadas) de mercurio absoluto ó 14,7 psia (libras por pulgada cuadrada absoluta), estos valores definen la presión atmosférica estándar.
Principio activo	Sustancia química a la cual se le atribuye una actividad apropiada que caracteriza la funcionalidad de un producto.

Proceso	Conjunto de acciones que persiguen la transformación de un producto en otro, cambiándole una o varias características físicas o químicas, generalmente usando energía en cualquiera de sus formas.
Proceso de fabricación	También denominado proceso industrial, producción o manufactura. Es el conjunto de operaciones necesarias para transformar las materias primas en productos.
Pyme	Acrónimo de pequeña y mediana empresa. Son entidades independientes con una alta predominancia en el comercio, generalmente con un número reducido de trabajadores y que registra ingresos moderados.
Rango	Valores comprendidos entre los límites superior e inferior del instrumento.
RPM	Abreviatura de revoluciones por minuto. Unidad de frecuencia, utilizada para medir la velocidad angular.
Solubilidad	Es una medida de la capacidad que tiene una sustancia para disolverse en otra.
Temperatura	Propiedad intensiva que mide el equilibrio térmico entre dos o más sistemas.

Variable	Característica física de un proceso que puede tomar diferentes valores, por ejemplo: temperatura, presión, etc.
Variable controlada	Conocida como variable de proceso, es la cantidad o condición que se mide y controla. Por lo común, la variable controlada es la salida del sistema.
Variable manipulada	Cantidad o condición que el controlador modifica para afectar el valor de la variable controlada.
Viscosidad	Propiedad de un fluido que tiende a oponerse a su flujo cuando se aplica una fuerza.

RESUMEN

El presente estudio consistió en el establecimiento de los tiempos de vida de anaquel relativos, de coloides obtenidos en procesos de fabricación por lote o tipo *batch*, con la utilización de diferentes equipos. Con agitador y con homogenizador tipo jaula rotor-estator, dentro de una empresa cosmética tipo Pyme.

El estudio fue experimental, con grado de confianza del 90%. Se seleccionaron, específicamente, dos productos representativos de los coloides cosméticos; gel y crema humectante, ambos para el cabello.

Se determinó, que bajo las mismas condiciones de operación y formulación dentro del proceso de fabricación, utilizando dos diferentes equipos de mezclado, dentro de las etapas finales del proceso, se podía lograr una diferencia sustancial en el mejoramiento del tiempo de vida de anaquel de los productos evaluados, valiéndose de la comparación de sus propiedades fisicoquímicas más representativas.

No se pretendía establecer el tiempo de vida de anaquel como un valor absoluto, porque por lo general, las características de los productos pueden presentar cambios hasta en años, dependiendo de múltiples factores externos.

Es entonces donde fue necesario auxiliarse del análisis de estabilidad acelerada, con la finalidad de simular condiciones extremas de manejo y distribución, que sufren los productos dentro de la cadena de suministro en la vida real.

OBJETIVOS

General

Establecer las diferencias relativas en el tiempo de vida de anaquel, de coloides cosméticos manufacturados mediante dos procesos de fabricación; con agitador y con homogenizador tipo jaula rotor-estator, en procesos batch, utilizando la propiedad físico-química de la viscosidad como parámetro relacional.

Específicos

1. Determinar la propiedad físico-química de la viscosidad de las muestras de granel obtenidas en cada uno de los dos procesos de fabricación seleccionados.
2. Someter las muestras obtenidas a estudios de estabilidad acelerada de calentamiento y de vibración mecánica.
3. Determinar la propiedad físico-química de la viscosidad de las muestras sometidas a estudios de estabilidad acelerada.
4. Establecer la relación numérica adimensional mediante un cociente entre las mediciones de viscosidad obtenidas, para la interpretación de los resultados.

HIPÓTESIS

Científica

La utilización de equipo de agitación y su comparación con equipo de homogenización tipo jaula rotor-estator en los coloides cosméticos; gel para el cabello y crema rinse enjuague para el cabello, en procesos tipo *batch*, evaluando la propiedad físico-química de la viscosidad, determina los valores óptimos del tiempo de vida de anaquel relativo de los productos manufacturados en la empresa cosmética tipo Pyme.

Estadística

- **Ho:** el equipo utilizado (agitador y homogenizador tipo jaula rotor-estator), para la elaboración de coloides cosméticos, afecta significativamente la vida de anaquel relativa del producto.
- **Ha:** el equipo utilizado (agitador y homogenizador tipo jaula rotor-estator), para la elaboración de coloides cosméticos, no afecta significativamente la vida de anaquel relativa del producto.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, en las empresas tipo Pyme (pequeña y mediana empresa) de productos cosméticos se presentan procesos de producción a pequeña escala. Esta situación genera oportunidades de investigación y desarrollo en algunos procesos productivos. En una buena parte debido a que los equipos de producción utilizados en las grandes industrias, en la mayoría de los casos, están diseñados para procesos continuos o semi-continuos.

Esto no significa, que a pequeña escala, no se pueda realizar la manufactura de manera adecuada. El presente trabajo abarca la fabricación tipo *batch* (por lotes) de los productos que requieren, dentro de las diferentes etapas del proceso de producción, la aplicación de la operación unitaria de agitación y mezclado.

Debido a la competitividad del mercado actual, en este tipo de industria, es necesario que los productos cosméticos del tipo coloide, que llevan procesos de agitación y mezclado en sus combinaciones sólido-líquido, gas(aire)-líquido y líquido-líquido inmiscibles, cumplan con las especificaciones requeridas de un tiempo de vida de anaquel relativo aceptable.

Esto representa para las empresas mayor competitividad y muchos otros beneficios derivados de las mejoras en productividad. Adicionalmente, ayuda a la diferenciación de los productos ante los consumidores por calidad y no sólo por precio como usualmente se considera.

El propósito primario del presente trabajo es establecer los tiempos de vida de anaquel relativos de coloides obtenidos en procesos *batch* mediante la utilización de un agitador, comparado con la utilización de un homogenizador tipo jaula rotor-estator en las fabricaciones dentro de una empresa cosmética tipo Pyme.

1. ANTECEDENTES

La industria manufacturera cosmética en Guatemala, con el transcurrir del tiempo, se encuentra en una situación de competitividad cada vez más alta, debido a que las expectativas de los clientes han aumentado. En parte, debido al desarrollo de nuevas tecnologías en el diseño de los empaques y a la constante creatividad de los fabricantes al modificar la reología y estética de los productos.

Pero hay que considerar que existen propiedades físico-químicas básicas que los productos deben cumplir, para lograr la funcionalidad requerida. En el caso de las geles y cremas humectantes para el cabello, la viscosidad y homogeneidad, deben ser duraderas y permanentes durante el tiempo de vida útil del producto. Debido a que los mismos deben soportar diferentes condiciones de almacenaje y distribución, en algunos casos extremas tanto por diferentes condiciones climáticas o de manejo inapropiado.

A causa de la competitividad, algunas empresas se enfocan en satisfacer la demanda del mercado y descuidan el análisis, cuando se presentan problemas por deficiencias técnicas en la manufactura. Es común observar en el mercado productos fabricados mediante procesos líquido-líquido inmiscibles con fases separadas, de igual manera productos fabricados mediante procesos sólido-líquido, gas(aire)-líquido, con la fase continua o de mayor cantidad en el producto visiblemente expuesta casi en su totalidad.

Se ha observado que este tipo de problema no ocurre en los procesos de fabricación líquido-líquido miscibles, debido a la naturaleza inherente de sus materias primas.

Algunas empresas, en la actualidad, realizan procesos tradicionales de agitación y mezcla, lo que no permite la suficiente estabilidad y características requeridas para productos tipo coloides como geles y cremas humectantes para el cabello.

Previo a la elaboración del presente trabajo de investigación se realizó una revisión sobre trabajos realizados con respecto al tema, de parte de la empresa y no se encontró alguno. De la misma manera se hizo una revisión en el tesario de la Facultad de Ingeniería desde 1967, hasta la presente fecha, y no se encontró un trabajo de tópico similar, sin embargo, se encontraron trabajos de graduación relacionados a algunos procesos que se involucran en el presente informe final, los cuales se describen a continuación;

- Diseño de un tanque homogenizador para la elaboración de vacuna emulsionada para un laboratorio productor de biológicos veterinarios, de Carlos Leonel Gómez Vallejo, USAC, 1996: aporta conocimientos de diseño enfocados a equipos de fabricación industrial en mediana y pequeña escala, como también hace referencia a los procesos de homogenización.
- Análisis comparativo de estabilidad acelerada y estabilidad a largo plazo de jarabe de ambroxol en dos diferentes comparaciones, adultos y niños, de Paola María Lemus González, USAC, 2006: aporta conocimientos sobre lo que los estudios de estabilidad acelerada representan y cómo se pueden aplicar. Concluye por experimentación, en que los efectos de las

variables son los mismos tanto para el corto y el largo plazo, es decir, que los efectos de corto plazo se pueden considerar de forma predictiva para el largo plazo. Dicha conclusión ayuda a sustentar la confiabilidad de este tipo de pruebas.

- Comparación del costo y el beneficio en la fabricación de emulsiones cosméticas de acuerdo al consumo energético, de David Antonio Vásquez López, USAC, 2008: adicionalmente al objetivo de comparación de costo y beneficio, presenta una alternativa de fabricación de emulsiones sin calentamiento, detalla una serie de posibles materias primas de interés y hace énfasis en las condiciones de los procesos productivos relacionados.
- Aplicación del diseño experimental en el desarrollo de las prácticas internas, en el área de Operaciones Unitarias, de Memphis Sofonías Reyes Mazariegos, USAC, 2009: establece la aplicación del diseño experimental en la carrera de Ingeniería Química, mediante una metodología. Implicando resultados más consistentes y de mayor significación, como fundamento para la formulación de conclusiones en la investigación experimental.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Operación unitaria de mezclado

Muchas operaciones en las industrias químicas de proceso dependen, en alto grado, del mezclado efectivo de los fluidos. Ésta es una de las operaciones unitarias de la ingeniería química más difíciles de someter a un análisis científico.

Debido a la dificultad en la aplicación de una ecuación que determine el grado de verificación de la mezcla o de la velocidad con que se realiza en determinadas condiciones, en la mayoría de las ocasiones, el consumo de energía eléctrica de los equipos proporcionan una medida real del grado en que se ha completado una mezcla, debido a que se necesita una cierta cantidad de trabajo para el proceso. Sin embargo, no es del todo real, pues existen interferencias imposibles de evaluar, tales como corrientes transversales y corrientes parásitas que se establecen.

El mezclado se refiere a forzar un fluido por medios mecánicos. En el sistema de fabricación tipo *batch* se busca que el fluido adquiera un movimiento circulatorio en el interior del recipiente.

El mezclado implica partir de dos fases individuales, como en el caso de un líquido y un sólido pulverizado, el caso de dos líquidos o el caso de dos fluidos, con el objetivo de que las fases involucradas se distribuyan entre sí.

2.1.1. Fluidos

Se entiende por fluido a un tipo de medio continuo formado por alguna sustancia entre cuyas moléculas hay una fuerza de atracción débil. Existen diferentes clasificaciones de los mismos de acuerdo a diferentes características:

2.1.1.1. Fluidos compresibles

Incluyendo los líquidos, se refieren a los fluidos que muestran una variación significativa de la densidad como resultado de fluir.

2.1.1.2. Fluidos incompresibles

Se consideran a los fluidos incompresibles cuando la densidad permanece aproximadamente constante a lo largo de todo el flujo.

2.1.1.3. Fluidos newtonianos

Se consideran aquellos cuya viscosidad permanece constante en el tiempo, por ejemplo, el agua.

2.1.1.4. Fluidos no newtonianos

Se consideran aquellos fluidos cuya viscosidad varía con la temperatura y tensión cortante aplicada. Como resultado no tiene un valor de viscosidad definido y constante. Sin embargo, si es posible determinar sus valores, por ejemplo, utilizando los conocidos viscosímetros Brookfield, pero se tienen que especificar diferentes variables, por ejemplo, tamaño de la muestra, número de aguja determinado, tiempo de análisis y RPM (revoluciones por minuto).

En el caso del presente proyecto, los productos en gel, son un ejemplo de fluidos no newtonianos.

2.2. Objetivos del mezclado

El objetivo fundamental del mezclado es conseguir la máxima interposición entre varios componentes y una distribución lo más homogénea posible de los mismos. Esto depende de los materiales a mezclar y por consiguiente, se pueden tener diferentes objetivos según requiera el caso particular, los cuales puede ser:

- Mezclado de dos líquidos miscibles
- Disolución de sólidos en líquidos
- Dispersión de un gas en líquido en forma de burbujas pequeñas
- Suspensión de partículas sólidas finas en un líquido
- Aumentar la transferencia de calor entre el fluido y un serpentín o una camisa en las paredes del recipiente

2.3. Consideraciones sobre el proceso de mezclado

Existe la creencia en las personas que los agitadores y los mezcladores son sinónimos. Sin embargo, la literatura puntualiza que los agitadores efectúan numerosas funciones adicionales, como la suspensión de partículas sólidas en los fluidos para las lechadas o reacciones, dispersan gases en forma de

burbujas en los líquidos; emulsifican un líquido en forma de gotas dentro de otro y promueven la transferencia de calor entre un fluido y una superficie sólida.

Es decir, cumplen con los objetivos básicos del mezclado. Sin embargo, los mezcladores son más específicos en su aplicación, tienen como objetivo la difusión o el corte microscópico que conduzcan a una homogeneidad más completa de la mezcla. Básicamente, la naturaleza del fluido o del sólido que se está procesando define el equipo a utilizar.

No se puede generalizar el uso del mismo. Es decir, una mezcla de fluidos miscibles no requieren el mismo equipo, siempre dentro del proceso de mezclado, que el que requiere una mezcla sólido-líquido, aire-líquido o líquido-líquido inmiscible. Aún dentro de estos materiales se encuentran diferentes grados de viscosidad, de miscibilidad, que exigen condiciones variadas a los equipos a utilizar.

Dentro de los equipos a utilizar, no sólo se tiene que tomar en cuenta el elemento mezclador, sino el tipo de proceso; *batch* o continuo, el tamaño y la forma del recipiente. Existe un número muy grande de dispositivos de mezcla y algunos de ellos tienen ventajas y desventajas, dependiendo del material a utilizar, en algunos procesos es necesario utilizarlos de forma combinada. La tecnología de la mezcla puede avanzar si se consideran nuevos modelos en base a la investigación y desarrollo.

2.4. Tipos de mezcladores

Los tipos de mezcladores a utilizar dependen de los materiales a mezclar, del tamaño del lote, de las características deseadas en el producto final y de

muchos otros factores específicos para cada producto a fabricar. A continuación se mencionan los más comúnmente utilizados en la industria.

2.4.1. Mezcladores de flujos

Existen los que utilizan, por lo regular, una bomba de impulsión para introducir los materiales, y la mezcla se produce por interferencia de sus flujos. Se emplean, mayoritariamente, en sistemas continuos o circulantes de fluidos miscibles. Rara vez se usan para mezclar dos fases. Es importante hacer notar que la turbulencia como tal, no implica por necesidad, una mezcla satisfactoria.

También existen los mezcladores de chorros, los cuales utilizan presión, su mayor aplicación está en la mezcla de combustibles gaseosos. Adicionalmente existen otros tipos como de inyectores de columnas con orificios, sistemas de circulación mixta, bombas centrífugas y de torres rellenas y de rociada.

2.4.2. Mezclador de paletas o brazos

Es el tipo más antiguo de mezclador, consistente en una o varias paletas horizontales, verticales o inclinadas, unidas a un eje horizontal, vertical o inclinado que gira axialmente dentro del recipiente, no siempre centrado con el mismo. Se utilizan, frecuentemente, porque son muy conocidos por la gente y de bajo costo. Se utilizan, generalmente, para fluidos viscosos.

Existen diferentes variaciones de estos equipos como: de brazos rectos o paletas en forma de remos, de rastrillo, de paletas con lengüetas o dedos fijos intercalados, tipo herradura, paletas corredizas, cubetas giratorias con paletas

excéntricas, paletas de doble movimiento, paletas de movimiento planetario, agitador con elevador por aire y amasador, entre otros.

2.4.3. Mezclador de hélices o de propela

Se utilizan en un gran número de casos, tienen un bajo costo y es un mecanismo más sencillo y compacto para fabricaciones en pequeña escala. La acción de sus hélices al girar, empujan constantemente el fluido hacia adelante. Se utiliza, preferentemente, en tanques cilíndricos. Se pueden emplear en fluidos con viscosidades no mayores a 2 000 centipoises (2 Pa·s en el Sistema Internacional) y en los casos de mezclas de fluidos con sólidos ligeros, con viscosidades de hasta 4 000 centipoises (4 Pa·s en el Sistema Internacional).

En el caso de fluidos con sólidos no ligeros, es difícil evitar la sedimentación, pues es prácticamente imposible dirigir la corriente producida por las propelas a todas las partes del tanque. Algunas variaciones en los tanques de agitación, que ayudan a este tipo de equipo, incluyen la colocación de ventiladores para agitar los gases, y las derivadas de cambiar la posición de las propelas en cuanto a su ubicación o inclinación dentro del tanque.

2.4.4. De turbina

Los impulsores de las turbinas están montados sobre ejes parecidos a propelas, pero generalmente, son mucho más grandes y giran a baja velocidad. Éstos caen dentro de un flujo radial o axial. Estos impulsores radiales pueden observarse como estrellas de aspas planas, como los impulsores de las bombas centrífugas. Descargan líquido a gran velocidad en dirección radial.

Actúa como un mezclador de chorro, que arrastra al fluido que lo rodea al mismo tiempo que crea dos sistemas de circulación, uno por encima del impulsor y otro por debajo. Este tipo de impulsores son mejores para la dispersión de gases.

Los impulsores axiales son similares a los radiales, excepto que las aspas están inclinadas generalmente a un ángulo aproximado de 45 grados. Esto hace que el flujo se mueva hacia abajo paralelamente al eje y después hacia arriba, a lo largo de la pared del recipiente. Esos impulsores son mejores para la suspensión de sólidos, la dispersión de líquidos no miscibles, la promoción de las reacciones químicas y el mejoramiento de la transferencia de calor entre el fluido y la pared que lo contiene.

2.4.5. De tambor

Es un sistema sencillo que consiste en un recipiente cilíndrico montado sobre un eje horizontal y que gira con él. La mezcla se realiza cuando se hace girar el cilindro o tambor, es utilizado en mezclas de concreto.

2.4.6. De molino coloidal

Utilizado para realizar dispersiones sumamente finas. Trabajan con circulación continua, son de alto costo, de alto consumo energético y tienden a calentar el material.

2.4.7. Homogenizadores

Pueden describirse como bombas de desplazamiento positivo de alta presión, en la que se descarga radialmente a través de un disco o válvula

fuertemente oprimido contra el extremo de la tubería por medio de un resorte. Algunos equipos hacen pasar el fluido por una segunda válvula en serie con la primera.

Son utilizados para dividir las grasas en las mezclas destinadas a fabricación de helados, leche evaporada, productos alimenticios y emulsiones. No pueden utilizarse con materiales que produzcan efecto abrasivo, por su naturaleza intrínseca pues podría dañar, destruir el equipo o contaminar el fluido.

2.5. Procesos involucrados en la manufactura en estudio

En la sección anterior se observa que existen múltiples equipos, los cuales generan diferentes características a las mezclas de fluidos. Es motivo de análisis y evaluación la utilización del equipo adecuado para los procesos requeridos por la empresa.

Considerando también que, en algunos casos, se deberá combinar la utilización de los equipos y en otros casos, determinar la secuencia adecuada para cada proceso. Dichos procesos son:

2.5.1. Mezclas sólido-líquido

Proceso requerido dentro de una las etapas de la fabricación de los productos en gel. Esta etapa requiere, inicialmente, la suspensión de partículas sólidas en líquidos. La sedimentación es un factor importante a considerar para establecer el equipo a utilizar.

2.5.2. Dispersión de gases

Este es otro proceso que se requiere para generar aspectos estéticos en algunos productos cosméticos y de higiene personal. Si se considera al aire como una mezcla de gases, el proceso requiere la dispersión del mismo en el fluido. Por ser un sistema que utiliza aire, no es necesario un sistema de tanque rociador para lograr mayores tiempos de residencia del gas.

Este efecto se logra mediante una agitación intensa al crear un vórtice, el aire que está en la superficie líquida, circulará a través de la espuma continuamente.

2.5.3. Mezcla líquido-líquido de materiales no miscibles

Proceso conocido como emulsificación, se utiliza para la fabricación de diferentes productos, que van desde cremas para el cabello hasta cremas corporales varias.

Las emulsiones son suspensiones de líquidos no miscibles, en la cuales las gotas dispersas (de 1 a 1,5 μm de diámetro) son demasiado pequeñas para chocar y separarse.

Tradicionalmente, para crear una emulsión se emplean agitadores axiales con una gran energía y aspas de alta velocidad. También se utilizan los homogenizadores con circulación forzada, por acción de una bomba de desplazamiento positivo, que es el equipo más usado comúnmente, pero con un costo elevado. Este tipo de procesos utiliza diferentes materias primas, algunas de las cuales forman la fase grasosa, la fase acuosa, así como materias primas tensoactivas o surfactantes que sirven de enlace entre ambas fases.

Las formulaciones en este tipo de productos es extensa, pues existen diferentes tipos de productos en emulsión con propiedades variadas. Básicamente se utilizan como un vehículo de uso tópico (o externo), para la aplicación adecuada de los ingredientes activos, que son los que finalmente caracterizan al producto final.

2.5.4. Mezcla de soluciones y líquidos miscibles

Es un proceso que también se utiliza comúnmente, para dos tipos de productos:

2.5.4.1. Mezclas líquido-líquido no viscosos

Con viscosidades muy parecidas a la del agua. Es un proceso que no presenta mayores complicaciones, por la propia naturaleza de sus materias primas, aplicado a las lociones corporales. Se puede realizar por medio de la utilización de agitadores tipo propela.

2.5.4.2. Mezclas líquidos viscoso-no viscoso

Es un proceso sencillo en su operación, pero fundamental para la fabricación de shampoo, por ejemplo, en sus diferentes etapas, ya que debido a la naturaleza de las materias primas utilizadas, no se puede utilizar un agitador de propela o de turbina común debido a la cantidad de espuma que se puede generar.

En este proceso es recomendable la utilización de un homogenizador, no de corriente forzada, sino del tipo propuesto en el presente trabajo, por la poca generación de espuma que ocasionaría.

2.6. Propiedades físicas y químicas deseadas en los productos

Dependiendo del tipo de manufactura que se realiza, es deseable que los productos finales fabricados posean las siguientes propiedades físicas y químicas:

- Migración mínima del color en el producto
- Homogeneidad del color y olor
- Cristalinidad constante
- Estabilidad de las burbujas de aire encapsulado
- Textura (variada, dependiendo del producto)
- Extensibilidad en la aplicación
- pH sin variabilidad
- Resistencia a la centrifugación
- Resistencia a los cambios de temperatura
- Viscosidad constante
- Densidad constante

Es importante hacer notar que existen diferentes propiedades físicas y químicas, como las listadas anteriormente que se desean en los productos. Sin embargo, la propiedad seleccionada para el presente trabajo, por su representatividad relacionada con la propiedad de la tixotropía, es la viscosidad.

2.7. Coloides

Conocido también como sistema coloidal, sistema fisicoquímico formado por dos o más fases, principalmente una continua, normalmente fluida y otra dispersa en forma de partículas, siendo esta la fase que se halla en menor proporción. Existen diferentes tipos de coloides según el estado de sus fases continua y dispersa, como se muestran en la figura 1.

Figura 1. **Combinaciones de coloides según el estado de sus fases**

		-FASE DISPERSA-		
		-GAS-	-LÍQUIDO-	-SÓLIDO-
-FASE CONTINUA-	-GAS-	No es posible, los gases son solubles entre sí.	<u>AEROSOL LÍQUIDO</u> Ejemplos: niebla, bruma.	<u>AEROSOL SÓLIDO</u> Ejemplos: humo, polvo en suspensión.
	-LÍQUIDO-	<u>ESPUMA</u> Ejemplo: espuma de afeitado.	<u>EMULSIÓN</u> Ejemplos: leche, salsa, mayonesa, crema de manos, sangre.	<u>SOL</u> Ejemplos: pinturas, tinta china.
	-SÓLIDO-	<u>ESPUMA SÓLIDA</u> Ejemplo: aerogeles.	<u>GELES</u> Ejemplos: gelatina, queso.	<u>SOL SÓLIDO</u> Ejemplo: cristal de rubí.

Fuente: CHANG, Raymond. Química. p. 1110.

2.8. Sinéresis

Es la separación de las fases que componen una suspensión o mezcla. Es la expulsión del líquido de un gel, por lo que el gel deja de ser una sustancia homogénea por una segregación de componentes sólidos separados, que se contienen en la fase líquida.

2.9. Tixotropía

Es la propiedad de algunos fluidos no newtonianos, de presentar cambios en su viscosidad en función del tiempo. Un fluido tixotrópico es un fluido que tarda un tiempo finito en alcanzar una viscosidad de equilibrio. Algunos geles y coloides son considerados como materiales tixotrópicos, pues forman una forma estable en reposo y se tornan fluidos al ser agitados.

2.10. Número de Reynolds

Es un número adimensional que se utiliza en fenómenos de transporte para caracterizar el movimiento. Este número relaciona la densidad, viscosidad, velocidad y dimensión típica de un fluido. Relaciona el hecho de que el flujo pueda ser laminar o turbulento.

El número de Reynolds para tanques agitados se define por:

$$N_{Re} = D^2 \cdot N \cdot \rho / \mu$$

Donde:

D = diámetro del impulsor (m)

ρ = densidad del fluido (Kg/m^3)

μ = viscosidad ($\text{Pa}\cdot\text{s}$)

N = velocidad del agitador (rad/s)

Si el número de Reynolds es superior a 10 Pa·s (10 000 centipoises) el flujo se considera turbulento. Este es un dato importante porque está relacionado a las características del agitador y de la fuente de motricidad. Y en algunas etapas del proceso se requieren ciertos niveles de turbulencia. Para coloides del tipo emulsión se requiere esta condición en la etapa de mezclado a alta temperatura 348,15 °K (75 °C) y para los del tipo gel se requiere tal condición de operación en la etapa de encapsulado de aire en la mezcla, antes de ser neutralizado.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

Las variables son propiedades, características o atributos que pueden darse en ciertos sujetos de estudio, permite categorizar o clasificar y son susceptibles de identificación y medición.

Tabla I. **Variables involucradas en el proceso**

1	Equipo de agitación de propelas (condiciones de operación)
2	Equipo homogenizador tipo jaula rotor-estator (condiciones de operación)
3	Masa de operación (kg)
4	Viscosidad (Pa·s)
5	Densidad (kg/m ³)
6	Temperatura (°K)
7	Presión atmosférica (Pa)

Fuente: elaboración propia.

3.1.1. Variables a manipular (variables independientes)

Las variables independientes en investigación experimental, como en el presente estudio, son aquellas propiedades, características o atributos que el investigador manipula.

- Equipo de agitación de propelas (ver figura 2) y patrón de circulación del fluido, tipo axial, generado por el equipo (ver figura 3).

- Condiciones de operación
 - 220 V

 - 248,57 Watts (1/3 HP)

 - 1 725 RPM

 - Presión: 85 726,28 Pa (643 mm Hg)

 - Temperatura gel: 293,15 °K (20 °C)

 - Temperatura crema humectante: 348,15 °K (75 °C)

 - Tamaño del lote: 100 kg

 - Tiempo de operación gel: 1 800 seg (0,5 hora)

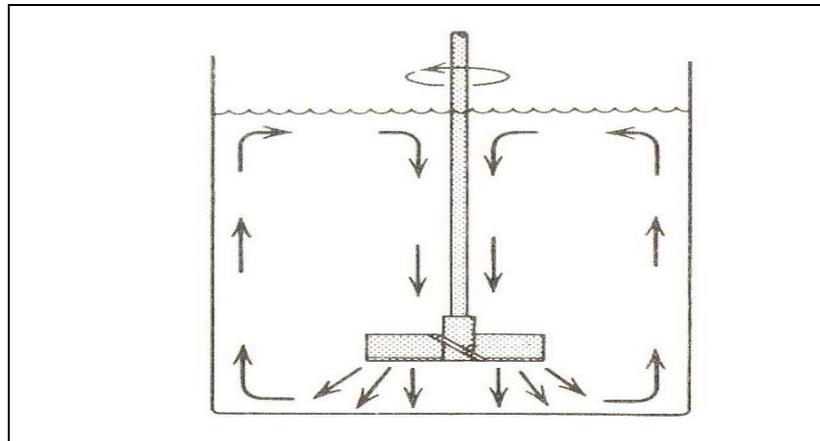
 - Tiempo de operación crema: 3 600 seg (1 hora)

Figura 2. **Equipo de agitación de propelas**



Fuente: http://www.soling.cl/productos_agitadores.html. Consulta: 13 de abril de 2012.

Figura 3. **Patrón de circulación axial del fluido**



Fuente: ULRICH, Gael. Procesos de ingeniería química. p. 196.

- Equipo homogenizador tipo jaula rotor-estator (ver figura 4) y patrón de circulación del fluido, tipo radial, generado por el equipo (ver figura 5).

- Condiciones de operación
 - 220 V

 - 248,57 Watts (1/3 HP)

 - 1 725 RPM

 - Presión: 85 726,28 Pa (643 mm Hg)

 - Temperatura gel: 293,15 °K (20 °C)

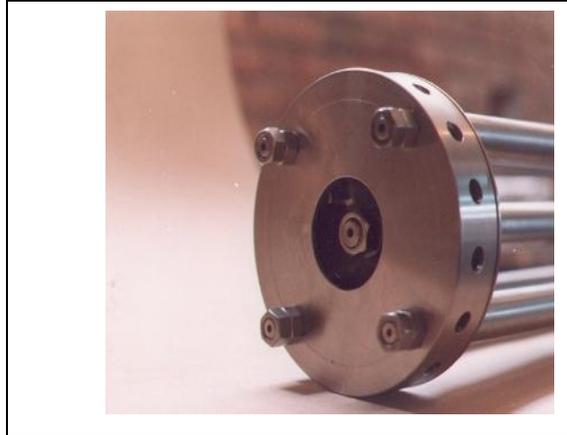
 - Temperatura crema humectante: 348,15 °K (75 °C)

 - Tamaño del lote: 100 kg

 - Tiempo de operación gel: 1 800 seg (0,5 hora)

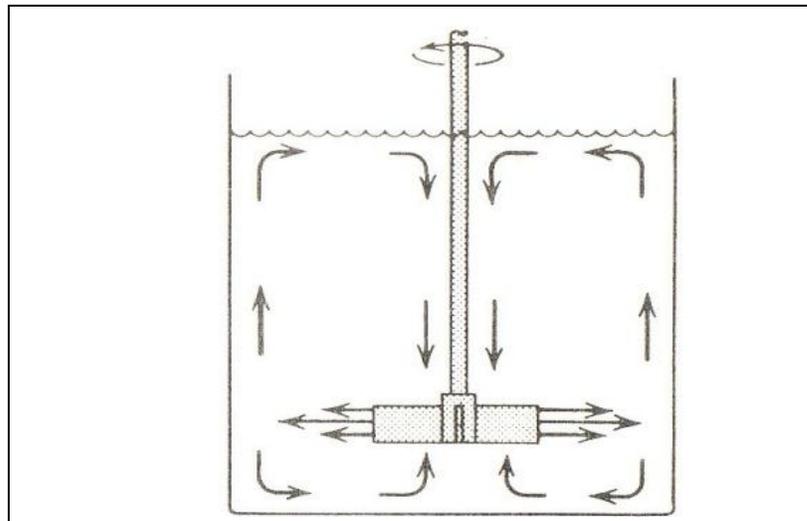
 - Tiempo de operación crema: 3 600 seg (1 hora)

Figura 4. **Equipo homogenizador tipo jaula rotor-estator**



Fuente: <http://www.dispersores.com.ar/es-equipos-industrial/>. Consulta: 13 de abril de 2012.

Figura 5. **Patrón de circulación radial del fluido**



Fuente: ULRICH, Gael. Procesos de ingeniería química. p. 196.

3.1.2. Variable de respuesta (variable dependiente)

Viscosidad (Pa·s), variable seleccionada debido a la propiedad tixotrópica de los fluidos en estudio.

3.2. Delimitación de campo de estudio

El estudio se llevó a cabo en procesos tipo *batch* de coloides cosméticos, dentro de una empresa tipo Pyme, (pequeña y media empresa) de la ciudad capital de Guatemala. Se seleccionaron los procesos de fabricación de gel y crema humectante para el cabello. Procesos que incluyeron las combinaciones coloidales sólido-líquido, gas(aire)-líquido y líquido-líquido inmiscibles.

3.3. Recurso humano disponible

- Investigador: Luis Alejandro González Barrios
- Asesor: Ing. Químico Guillermo Lam Guzmán
- Auxiliar de fabricaciones en la empresa
- Subcontratación de empresa para análisis fisicoquímicos

3.4. Recursos materiales disponibles

- Equipo de calentamiento
- Tanque mezclador

- Equipo de agitación de propelas
- Homogenizador tipo jaula rotor-estator
- Equipo de vibración mecánica
- Balanza electrónica
- Beaker, termómetro
- Materias primas (ver anexo 4)
- Computadora con impresora

3.5. Técnica cuantitativa

La presente investigación fue cuantitativa del tipo experimental, en donde el investigador tuvo el control sobre la variable independiente, que fueron los dos equipos utilizados en los procesos seleccionados. Para realizar los análisis se llevaron a cabo diferentes mediciones de la propiedad de la viscosidad. Con la finalidad de comparar su nivel de degradación se realizaron, también pruebas de estabilidad acelerada, así como cálculos relacionales entre los resultados de las mediciones.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

La información necesaria para los fines del presente trabajo, se obtienen mediante análisis y experimentación.

- a) Establecer los procesos de producción a medir, siendo éstos los de fabricación de gel y crema humectante, ambos para el cabello.

- b) Definir las condiciones de operación de cada proceso, en cuanto a parámetros de voltaje, potencia, RPM, presión y temperatura.

- c) Definir los equipos a utilizar en cada proceso seleccionado. Un proceso con agitador y otro con homogenizador tipo jaula rotor-estator.

- d) Realizar la toma de muestras con el proceso de fabricación de gel para el cabello que utilizó el equipo de agitador.

- e) Realizar la toma de muestras con el proceso de fabricación de gel para el cabello que utilizó el equipo homogenizador tipo jaula rotor-estator.

- f) Medir la viscosidad de las muestras tomadas de gel para el cabello de los incisos d) y e).

- g) Realizar la toma de muestras con el proceso de fabricación de crema humectante para el cabello que utilizó el equipo de agitador.

- h) Realizar la toma de muestras con el proceso de fabricación de crema humectante para el cabello que utilizó el equipo homogenizador tipo jaula rotor-estator.

- i) Medir la viscosidad de las muestras tomadas de crema humectante para el cabello de los incisos g) y h).

j) Someter las muestras de fabricación del inciso f a pruebas de estabilidad acelerada de calentamiento y vibración mecánica.

k) Someter las muestras de fabricación del inciso i) a pruebas de estabilidad acelerada de calentamiento y vibración mecánica.

l) Medir la viscosidad de las muestras del inciso j) después de haberse realizado los análisis de estabilidad acelerada.

m) Medir la viscosidad de las muestras del inciso k) después de haberse realizado los análisis de estabilidad acelerada.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Con la información obtenida en la sección anterior, se realizó un manejo de datos mediante la tabulación de los mismos en tablas de control, que permitieron el ordenamiento de las mediciones para cada proceso de manera ordenada y clara para realizar los cálculos relacionales necesarios, los datos tabulados se encuentran en el apéndice 3.

3.8. Análisis estadístico

En el tratamiento de la información, para la obtención de resultados con un 90% de confianza se aplicó la fórmula para la determinación del número de muestras:

$$n = z^2 p q N / (Ne^2 + z^2 pq)$$

Donde:

n = tamaño de muestra

z = constante de 1,65 para (probabilidad) $p=q=0,5$

N = 2 variables independientes

e = 0,1 grado de error

En este caso se tenía N el valor de 2 (dos tipos de equipos), que fueron las variables independientes.

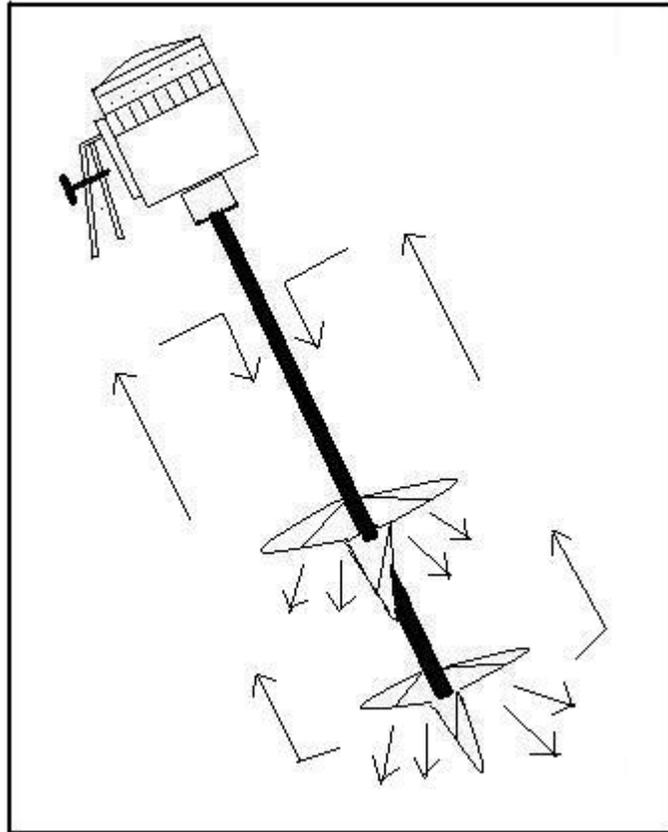
Al valuar n , se obtuvo como resultado el valor de 1,9429, es decir, aproximadamente 2 muestras para cada tipo de producto evaluado, de gel para el cabello y de crema humectante para el cabello, las cuales se evaluaron al realizar el proceso y después de haber sido sometidas a análisis de estabilidad acelerada.

Se utilizó el programa computacional Microsoft Excel versión 2007 para la realización de los datos promedios y de los cálculos relacionales.

3.9. Equipos de mezclado en competencia y detalles

A continuación se presentan esquemas de los equipos utilizados para las comparaciones y detalles del patrón de flujo que siguen cada uno de ellos. Así como también el diagrama del interior del sistema encajuelado del homogenizador tipo rotor-estator.

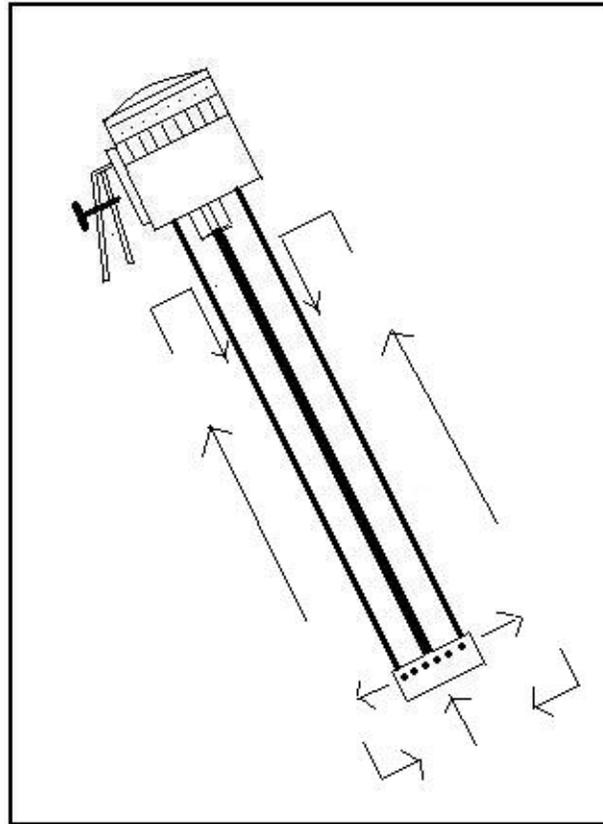
Figura 6. **Esquema de equipo de agitación de propelas y flujos**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 6 se puede observar el patrón de flujo axial del fluido, generado por este tipo de equipo.

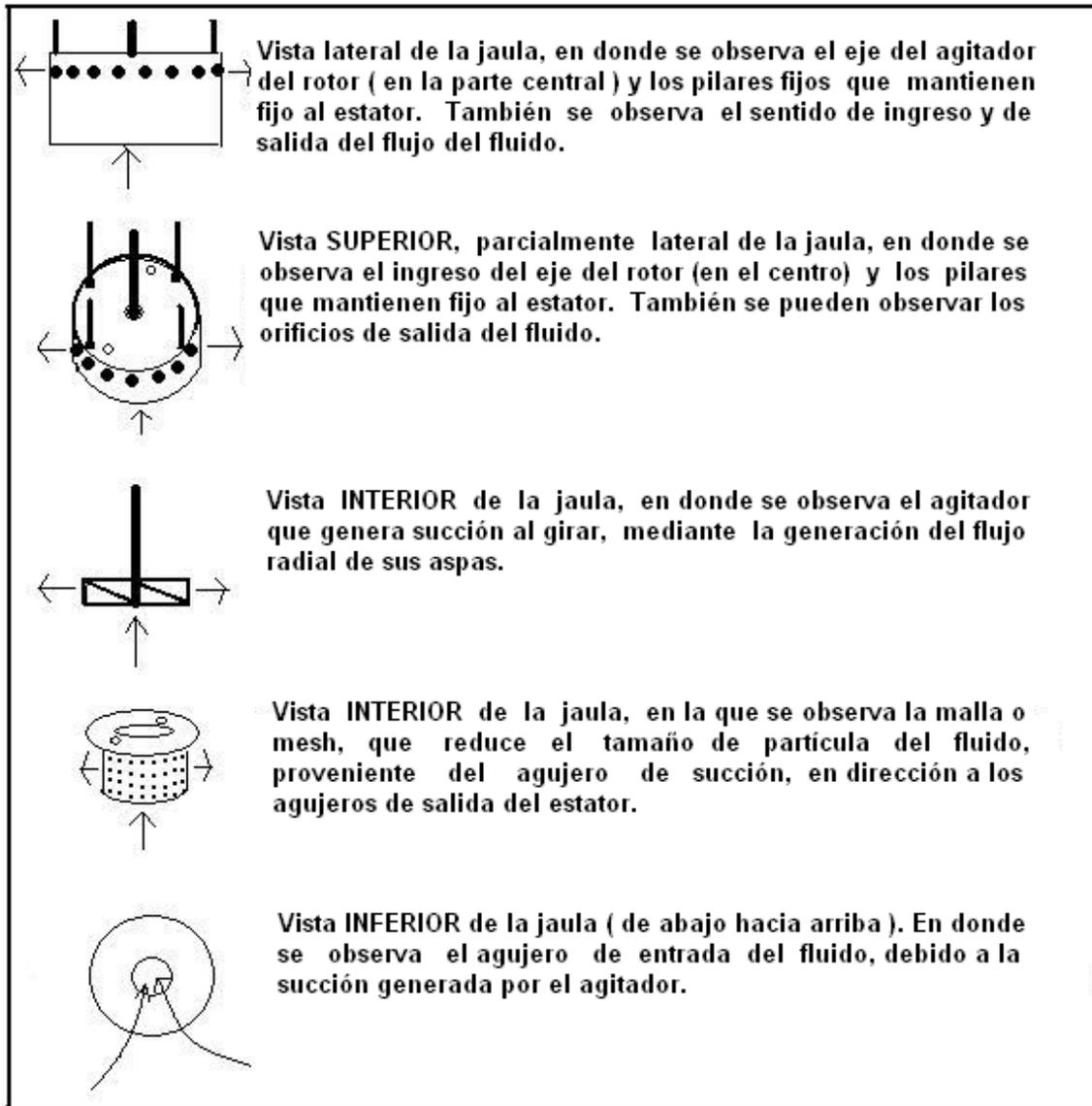
Figura 7. **Esquema de homogenizador tipo jaula rotor-estator**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 7 se puede observar el patrón de flujo radial del fluido, generado por este tipo de equipo. Y en la figura 8 se puede apreciar el detalle de cómo se compone interiormente la jaula tipo rotor- estator.

Figura 8. Esquema del interior de la jaula rotor-estator



Fuente: elaboración propia.

4. RESULTADOS

4.1. Condiciones de operación

El conocimiento de las condiciones de operación para cada proceso de fabricación realizado es algo de suma importancia para poder evaluar cualquier tipo de análisis posterior relacionado. Es conocer las condiciones bajo las cuales el experimento fue realizado.

Tabla II. **Condiciones de operación con equipo de agitación**

Descripción parámetro	Valor del parámetro
Voltaje	220 V
Potencia	248,57 Watts (1/3 HP)
Revoluciones por minuto	1 725 RPM
Presión	85 726,28 Pa (643 mm Hg)
Temperatura proceso para gel	297,15 °K (24 °C)
Temperatura proceso crema humectante	348,15 °K (75 °C)
Tamaño del lote	100 kg
Tiempo de operación proceso gel	1 800 segundos (0,5 hora)
Tiempo de operación proceso crema	3 600 segundos (1 hora)

Fuente: elaboración propia.

Tabla III. **Condiciones de operación con equipo homogenizador tipo jaula rotor-estator**

Descripción parámetro	Valor del parámetro
Voltaje	220 V
Potencia	248,57 Watts (1/3 HP)
Revoluciones por minuto	1 725 RPM
Presión	85 726,28 Pa (643 mm Hg)
Temperatura proceso para gel	297,15 °K (24 °C)
Temperatura proceso crema humectante	348,15 °K (75 °C)
Tamaño del lote	100 kg
Tiempo de operación proceso gel	1 800 seg (0,5 hora)
Tiempo de operación proceso crema	3 600 seg (1 hora)

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Parámetros utilizados en pruebas de estabilidad acelerada**

Descripción parámetro	Valor del parámetro
Temperatura	313,15 °K \pm 2 °K
Humedad relativa	> 80%
Tiempo de vibración mecánica	3 600 seg (1 hora)

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Equipo y parámetros para medición de viscosidad**

Descripción parámetro	Valor del parámetro
Tipo de viscosímetro	Brookfield, modelo RVDVE 115
Aguja (rotor) para crema	#6
Aguja (rotor) para gel	#7
Tamaño de muestra	0,250 Kg (250 grs)
Voltaje	110 V
RPM	50 RPM
Rango de torque (cremas)	13,6% - 16,3%
Rango de torque (gel)	26,8% - 31,8%
Tiempo de agitación	300 seg
Presión	85 726,28 Pa (643 mm Hg)
Temperatura	297,15 °K (24 °C)

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos del Laboratorio de Análisis Industrial.

4.2. Mediciones de viscosidad antes de pruebas de estabilidad acelerada

Estas constituyen las mediciones de viscosidad de las fabricaciones de los productos, sin estar expuestos a ningún factor que pueda generar deterioro.

Tabla VI. **Viscosidad promedio con equipo de agitación, antes de pruebas de estabilidad acelerada**

Descripción del producto	Valor viscosidad (μ)
Gel para el cabello	21,44 Pa·s
Crema humectante para el cabello	2,84 Pa·s

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos del Laboratorio de Análisis Industrial.

Tabla VII. **Viscosidad promedio con homogenizador tipo jaula rotor-estator, antes de pruebas de estabilidad acelerada**

Descripción del producto	Valor viscosidad (μ)
Gel para el cabello	25,44 Pa·s
Crema humectante para el cabello	3,26 Pa·s

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos del Laboratorio de Análisis Industrial.

4.3. Mediciones de viscosidad después de pruebas de estabilidad acelerada

Estas mediciones son realizadas después de haber simulado situaciones de deterioro en los productos de manera acelerada, de tal manera que se pueda determinar la variación de la propiedad de la viscosidad de forma relativa.

Tabla VIII. **Viscosidad promedio con equipo de agitación, después de pruebas de estabilidad acelerada**

Descripción del producto	Valor viscosidad (μ)
Gel para el cabello	19,61 Pa·s
Crema humectante para el cabello	2,66 Pa·s

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos del Laboratorio de Análisis Industrial.

Tabla IX. **Viscosidad promedio con homogenizador tipo jaula rotor-estator, después de pruebas de estabilidad acelerada**

Descripción del producto	Valor viscosidad (μ)
Gel para el cabello	24,41 Pa·s
Crema humectante para el cabello	3,17 Pa·s

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos del Laboratorio de Análisis Industrial.

4.4. Comparación de viscosidad (μ), antes y después de pruebas de estabilidad acelerada

Estas comparaciones en los valores de viscosidad, antes y después de las pruebas de estabilidad acelerada realizadas con ambos equipos, proporcionan el grado de deterioro que sufrieron los productos.

Tabla X. **Comparación de viscosidad (μ), utilizando equipo de agitación, antes y después de pruebas de estabilidad acelerada**

Descripción del producto	μ (tabla VI)	μ (tabla VIII)
Gel para el cabello	21,44 Pa·s	19,61 Pa·s
Crema humectante para el cabello	2,84 Pa·s	2,66 Pa·s

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Comparación de viscosidad (μ), utilizando homogenizador tipo jaula rotor-estator, antes y después de pruebas de estabilidad acelerada**

Descripción del producto	μ (tabla VII)	μ (tabla IX)
Gel para el cabello	25,44 Pa·s	24,41 Pa·s
Crema humectante para el cabello	3,26 Pa·s	3,17 Pa·s

Fuente: elaboración propia.

4.5. Relación adimensional entre valores de viscosidades finales

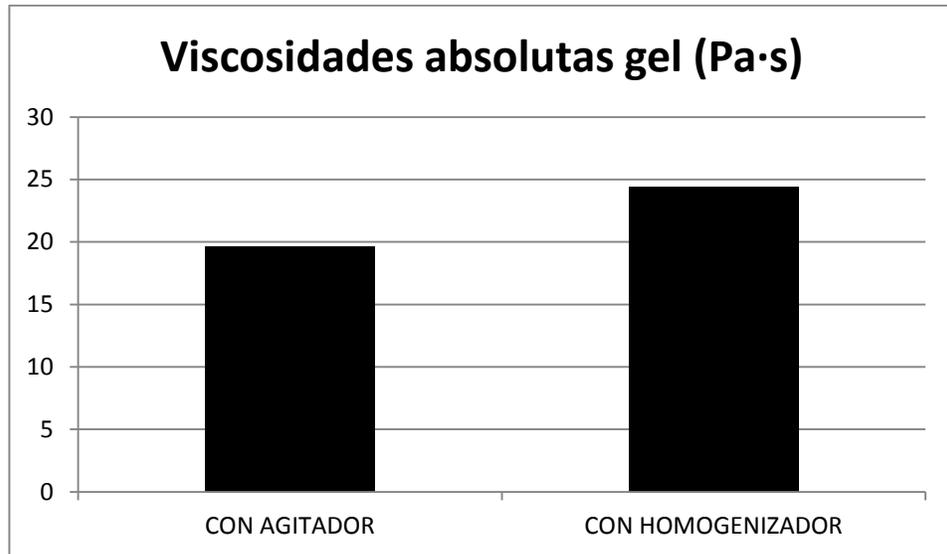
Esta comparación permite evaluar los datos obtenidos como valores absolutos y como valores relativos, ambos valores serán de suma importancia en la interpretación de los resultados. Son valores de viscosidad finales antes y después de pruebas de estabilidad acelerada, utilizando equipo de agitación vrs. equipo homogenizador tipo jaula rotor-estator.

Tabla XII. **Relación adimensional entre valores de viscosidad finales, después de pruebas de estabilidad acelerada**

Descripción del producto	A= μ (Agitador)	B= μ (Homogenizador)	B/A
Gel para el cabello	19,61 Pa·s	24,41 Pa·s	1,24
Crema humectante	2,66 Pa·s	3,17 Pa·s	1,19

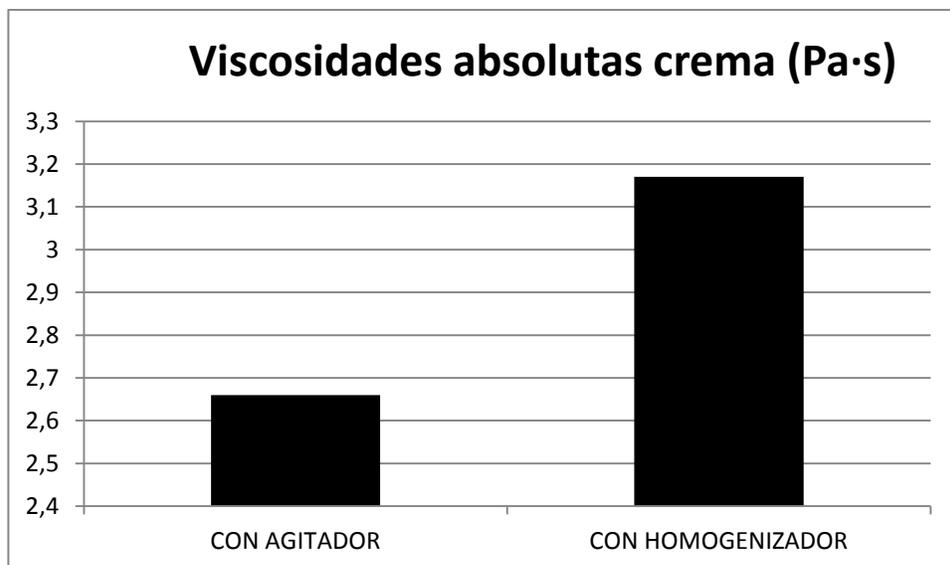
Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Comparación de viscosidades finales producto gel**



Fuente: elaboración propia.

Figura 10. **Comparación de viscosidades finales producto crema**



Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En la sección anterior se presentan diferentes tablas con la finalidad de establecer las condiciones de operación, dentro de las cuales se desarrolló la presente investigación. Se observa que al variar las condiciones de operación se generan diferentes resultados como valores absolutos, aunque las tendencias entre los datos obtenidos presentan patrones de comportamiento similares, en cuanto a la mejora del tiempo de vida del producto, basándonos en la viscosidad como propiedad relacional y por supuesto, considerando la comparación entre los equipos que se plantean.

En las tablas II y III se muestran los parámetros que constituyen las condiciones de operación de los procesos seleccionados, uno con agitador y otro con homogenizador tipo jaula rotor-estator tanto para la fabricación del gel para el cabello como para la fabricación de la crema humectante para el cabello. El conocimiento de las condiciones de operación del proceso es clave para poder interpretar los resultados obtenidos al evaluar las propiedades fisicoquímicas del producto. Éstas se ven afectadas dependiendo las condiciones de temperatura y presión utilizadas.

Por ejemplo, aun siendo el agua (H_2O) un fluido newtoniano, y por consiguiente, poseer valores de viscosidad constantes, estos valores cambian en función de la temperatura y presión. En la tablas se puede observar que se trabaja en condiciones de temperatura ambiente para la fabricación del gel y en el caso de la crema humectante, el proceso es en caliente a una temperatura de $348,15\text{ }^{\circ}K$.

La presión es la atmosférica, medido al valor de ciudad de Guatemala. Las condiciones de la agitación y mezclado, dadas para el equipo de acción mecánica, generadas por un dispositivo eléctrico, en este caso, son parámetros importantes a tener en cuenta al evaluar los procesos de fabricación, ya que las RPM de salida es un factor determinante para que se puedan alcanzar niveles de turbulencia adecuados, sin que sea demasiado alto el valor que pueda hacer incontrolable el proceso o pueda romper la emulsión por acción mecánica.

El tamaño del lote también influye en este valor, porque la potencia requerida para manejar un lote de 100 Kg, como en el presente caso no es igual a la potencia requerida en un lote de 1 000 Kg, por citar un ejemplo. El tiempo de agitación es otro factor que contienen las tablas en mención que afecta el proceso. Si es corto no genera el efecto deseado, y si es extenso se convierte en ineficiente además de que genera gasto de energía innecesario.

Por ejemplo, en el caso de las cremas humectantes, al enfriarse el producto después de cierto tiempo, el agitador ya no es efectivo, pues al generarse la emulsión, la viscosidad es tal que, el agitador por sí solo no puede mover el contenido. Pero por otra parte, tampoco es necesaria la continuación de la operación del mezclado a partir de ese punto.

En la tabla IV se pueden observar los parámetros utilizados para las pruebas de estabilidad acelerada aplicadas para simular condiciones de deterioro extremas.

Las pruebas o análisis de estabilidad acelerada son bastante amplias, ya que se aplican a muchos tipos de productos, y evalúan diversas propiedades según sean las características de interés.

Según el tipo de producto en análisis del presente estudio, se consideraron las pruebas de estabilidad acelerada de manejo que llevan los productos dentro de la cadena de distribución, a través de su comercialización hacia el cliente final. Las apropiadas eran de calentamiento y de vibración mecánica.

La tabla V contiene los parámetros utilizados para determinar los valores de la propiedad fisicoquímica de la viscosidad (μ). Tomando en cuenta que los fluidos analizados son no newtonianos y por lo tanto los valores de la misma no guardan una proporción directa entre el esfuerzo de corte y el gradiente de velocidad aplicado, es necesario considerar estos factores para la evaluación de la propiedad a cada muestra evaluada, porque de esta forma, la comparación es válida.

Es importante hacer notar que los parámetros utilizados por los equipos de evaluación de viscosidad son de suma importancia, no sólo por el hecho de que debido a ellos es posible replicar las mediciones en subsecuentes evaluaciones, sino también, por el hecho de que son el resultado de ajustes que se realizan al evaluar las muestras de producto.

Tal es el caso de la evaluación experimental del torque aplicado a la muestra para que provoque la fluidez del mismo, como también la determinación del tiempo requerido para la estabilización de la muestra, evitando con ello lecturas erróneas y no válidas.

Las tablas VI y VII contienen los datos promedio de las viscosidades obtenidas en los dos tipos de procesos en estudio, antes de ser realizadas las pruebas de estabilidad acelerada. Así también las tablas VIII y IX contienen las mediciones después de haber sido realizadas dichas pruebas.

Las tablas X y XI brindan una comparación de las viscosidades, antes y después del deterioro simulado en condiciones extremas, con la característica de que, esta comparación se realiza tomando en cuenta la utilización del mismo proceso de fabricación y del mismo equipo utilizado en cada caso.

Es decir, la finalidad que tienen estas tablas es hacer notar el grado de deterioro que ha sufrido el fluido considerando condiciones de operación idénticas, sin incluir la variante de la propuesta de otro equipo que se plantea en el presente trabajo. En la tabla X, que se refiere al equipo de agitación, se puede observar un deterioro aproximado del 8,54% en el caso de la gel para el cabello y del 6,34% para la crema humectante para el cabello.

En la tabla XI, que se refiere al equipo de homogenizador tipo jaula rotor-estator, se puede observar un deterioro aproximado del 4,05% en el caso de la gel para el cabello y del 2,76% para la crema humectante para el cabello.

Cabe notar el hecho de que el grado de deterioro es mayor en el caso del equipo de agitación y es mucho menor en el caso del equipo homogenizador, considerando que todavía no se hacen comparaciones entre equipos como sucede al comparar los resultados en la tabla XII.

La tabla XII muestra los valores de las viscosidades obtenidas antes y después del deterioro simulado en condiciones extremas, pero con la variante de la anterior comparación, de que la misma se realiza tomando en cuenta la utilización de los dos equipos propuestos en el presente trabajo. También se observa la relación adimensional entre los resultados absolutos de las viscosidades, como resultado objetivo.

Dichos valores indican la mejora sustancial que implica en el tiempo de vida de anaquel del producto, la utilización del equipo homogenizador tipo jaula rotor-estator sobre el equipo de agitación tradicional utilizado. En el caso de la gel para el cabello, la mejora es del orden del 24% y para el caso de la crema humectante para el cabello del orden del 19%.

Como se indica en la sección 2.3 del presente trabajo de investigación, acerca de las consideraciones sobre el proceso de mezclado, existe la creencia en las personas, que los agitadores y mezcladores son sinónimos. Ambos realizan las mismas funciones. Y posiblemente esta situación da lugar a una confusión. El agitador muestra un patrón de circulación axial, empujando el fluido hacia abajo y el homogenizador un patrón de circulación radial, empujando el fluido hacia las paredes del recipiente que lo contiene.

El hecho de agregar un sistema de rotor y uno de estator, hace que el fluido, en el caso del homogenizador, experimente una patrón forzado de flujo diferente al del agitador normal, que no tiene un encajuelado que limita la salida del mismo.

Este hecho hace que el fluido sea succionado y forzado a pasar por una serie de orificios previamente diseñados en su dirección radial. Lo que pasa con este sistema es que reduce el tamaño de la partícula, de manera controlada.

Estas características, definitivamente conllevan muchos beneficios, por ejemplo, facilita el contacto químico entre las sustancias, uniformidad en el tamaño de partícula de salida y mayor superficie de contacto. Razones por las cuales los resultados han sido mejores al utilizar este tipo de equipos.

Es importante considerar que el uso excesivo del homogenizador en cuanto a tiempo de operación se refiere, puede llevar a romper las emulsiones en el caso de productos con viscosidades bajas y también llegar a no generar ningún tipo de movimiento mecánico en productos con viscosidades elevadas, generando gasto por pérdida de energía.

CONCLUSIONES

1. En el estudio comparativo de vida de anaquel de los productos gel y crema humectante, ambos para el cabello, fabricados con dos equipos: de agitación y homogenizador tipo jaula rotor-estator, se determinó con un 90% de confianza que es mayor la estabilidad de los productos fabricados con homogenizador tipo jaula rotor-estator, que los fabricados con agitador, en una razón de 24% para gel y de 19% para la crema humectante
2. Los productos fabricados, gel y crema humectante, ambos para el cabello, se clasifican como fluidos no newtonianos, de comportamiento dependiente directamente de la cantidad de tiempo durante el cual el fluido es sometido a esfuerzo cortante. Razón por la cual se estableció que la variable tiempo (t), es uno de los parámetros más importantes de controlar, en el equipo de medición de la viscosidad (μ) de las muestras.
3. La viscosidad de los fluidos en estudio, varían con la temperatura y presión, al afectar las fuerzas de cohesión y velocidad de transferencia de momentum a las moléculas. Debido a tal situación, las mediciones se realizaron en condiciones similares de temperatura de 297.15 °K (24 °C) y presión de 85 726,28 Pa (643 mm Hg), para minimizar las variaciones de los resultados.

4. Los análisis de estabilidad acelerada para productos coloides: gel y crema humectante, ambos para cabello, fueron seleccionados para simular condiciones presentadas en la cadena logística de manejo y distribución de los productos, según los antecedentes del presente trabajo de investigación. Se llegó a la determinación de que las pruebas apropiadas eran de calentamiento y vibración mecánica.
5. La selección del equipo a utilizar, agitador y homogenizador tipo jaula rotor-estator para la elaboración de coloides cosméticos, afecta significativamente la vida de anaquel relativa del producto.
6. El equipo homogenizador tipo jaula rotor-estator sobre el equipo de agitación para la fabricación de los coloides cosméticos; gel para el cabello y crema humectante para el cabello, en procesos tipo *batch*, evaluando la propiedad físico-química de la viscosidad, mejora significativamente la vida de anaquel relativa de los productos.

RECOMENDACIONES

1. Tomar en cuenta los parámetros que conforman las condiciones de operación bajo las cuales los productos en el presente estudio se fabrican, de tal manera que las características obtenidas sean consistentes y las evaluaciones de los mismos sean correctas.
2. Realizar comparaciones de los procesos de fabricación con formulaciones idénticas, evitando de esta manera variantes en los resultados, permitiendo de ésta manera, un mejor enfoque en el análisis comparativo de los equipos que mejoren el tiempo de vida de anaquel de los productos.
3. Evaluar qué tipo de producto se está fabricando, clasificándolo según el tipo de fluido al que pertenece. Respecto a su relación con la Ley de Newton, que relaciona el esfuerzo cortante y el gradiente de velocidad aplicado. Es decir, si son newtonianos o no newtonianos. Este paso es de suma importancia, porque no todos los fluidos se comportan de la misma manera, y por lo tanto, los equipos para evaluar propiedades, pueden no ser los correctos, y la interpretación de los resultados pueden dar resultados erróneos.
4. Realizar pruebas de ajuste de tiempo de medición al evaluar la viscosidad de los productos coloides gel y crema humectante para el cabello, ya que la variable tiempo (t) es una de las más importantes en la medición de dicha propiedad.

5. Implementar, lo antes posible, la utilización del equipo homogenizador tipo jaula rotor-estator en el proceso de fabricación de coloides tipo gel para el cabello y crema humectante para el cabello, para mejorar el tiempo de vida de anaquel de los productos.
6. Continuar con el trabajo investigativo, mediante evaluaciones relacionadas con formulaciones y embalajes que puedan mejorar aún más el tiempo de vida de anaquel relativo de los productos.
7. Determinar dentro de los procesos productivos que se realizan dentro de la empresa, cuáles equipos son los adecuados a utilizar, ya que no se puede generalizar el uso de los mismos. Es necesario realizar una evaluación previa.
8. Capacitar al personal de fabricación sobre el uso de los equipos que se utilizan. De agitación, como también de homogenizador tipo jaula rotor-estator, con la finalidad de optimizar el consumo de energía, la durabilidad del mismo y la seguridad del personal que lo utiliza.

BIBLIOGRAFÍA

1. DEL CID ARRIOLA, Mario Ernesto. *Guía práctica de operación de plantas de cosméticos y perfumería a nivel nacional*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1975. 126 p.
2. GAITAN OVALLE, Paula Karina. *Estudio sobre las operaciones unitarias más utilizadas en los procesos de manufactura por las industrias de procesamiento de materiales instaladas en Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2008. 274 p.
3. GEANKOPLIS, Christie J. *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. 2ª. ed. México: CECSA, 1995. 759 p.
4. IXCOT VILLAVICENCIO, Jorge Francisco. *Guía para la instalación y manejo de una pequeña industria en Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1972. 163 p.
5. LÓPEZ CIFUENTES, Jorge Neftalí. *Clasificación de bibliografía para la carrera de ingeniería química y su utilización práctica*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1991. 42 p.

6. McCABE, Warren; SMITH, Julian C. y HARRIOT, Peter. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. 7ª. ed. México: McGraw-Hill, 2007. 1189 p.
7. MEDINILLA RODRÍGUEZ, Gisela Emperatriz. *Evaluación del efecto de las variables de fabricación sobre viscosidad del producto final, en el proceso de fabricación de una emulsión industrial*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1998, 58 p.
8. PERRY, Robert H. *Manual del ingeniero químico*. 5ª. ed. México: McGraw-Hill, 1982. 2230 p.
9. SÁNCHEZ LEGRAND DE MOLLER, Ilna. *Guía para la selección de emulsificantes usados en la industria cosmética*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1981. 43 p.
10. ULRICH, Gael D. *Diseño y economía de los procesos de ingeniería química*. México: INTERAMERICANA, 1986. 513 p.
11. VÁSQUEZ LÓPEZ, David Antonio. *Comparación del costo y el beneficio en la fabricación de emulsiones cosméticas de acuerdo al consumo energético*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2008. 53 p.

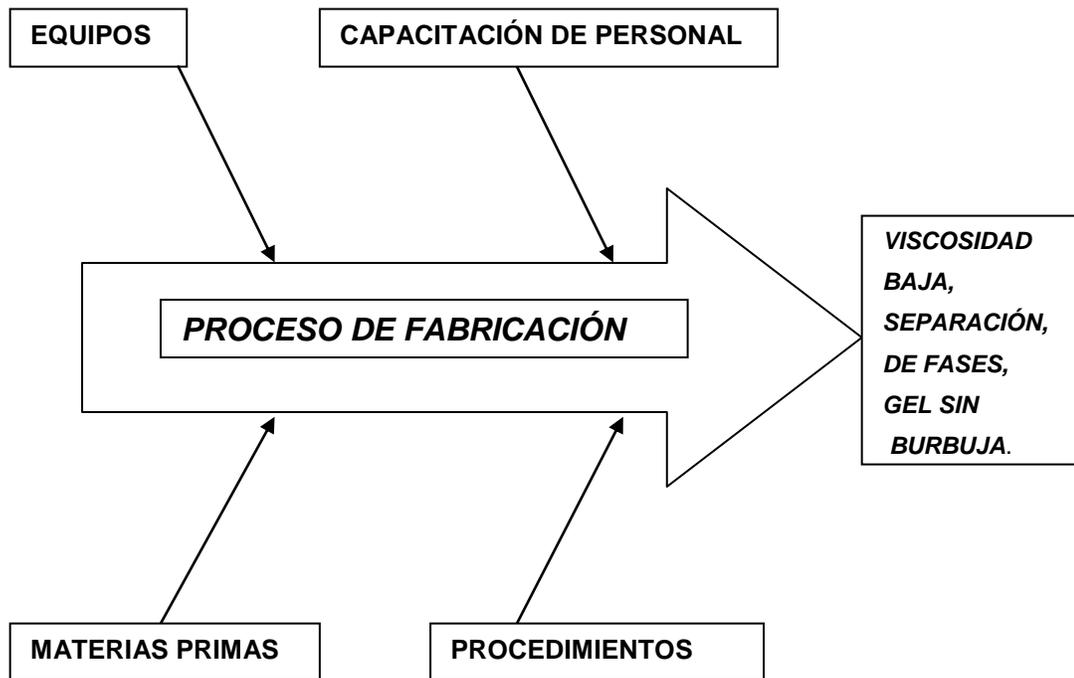
APÉNDICES

Apéndice 1. Tabla de requisitos académicos

1er paso Carrera	Licenciatura en Ingeniería Química					
2do paso Área	Química	Operaciones Unitarias	Fisicoquímica	Ciencias Básicas y Complementarias	Especialización	
3er paso Tema Genérico	Análisis Cuantitativo	Flujo de fluidos IQ-2	Fisicoquímica1	Trasferencia de masa IQ-5	Operaciones unitarias IQ-6	
4to paso Tema Específico	Métodos Analíticos	Transferencia de momento	Procesos Químicos Industriales	Contacto interfacial sólido-líquido, líquido-líquido inmiscibles	Manejo de Sólidos	
5to paso Especificación	Métodos de medición de propiedades	Agitación y Mezclado	Propiedades físicas de la materia	Coloides	Reología	
6to paso Problema a Resolver	Establecer los tiempos de vida de anaquel relativos de coloides cosméticos gel para el cabello y crema humectante para el cabello obtenidos en procesos batch mediante la comparación de dos equipos diferentes: agitador y homogenizador tipo jaula rotor-estator.					
7 mo paso Hipótesis	La utilización de equipo de agitación y su comparación con equipo de homogenización tipo jaula rotor-estator en los coloides cosméticos: gel para el cabello y crema humectante para el cabello, en procesos tipo <i>batch</i> , evaluando la propiedad fisicoquímica de la viscosidad, determina los valores óptimos, del tiempo de vida de anaquel relativo de los productos manufacturados en la empresa cosmética tipo Pyme.					
8 avo paso Temario Tentativo	Índice de ilustraciones Lista de símbolos Glosario	Resumen Objetivos Hipótesis	Introducción Agitación y mezclado Fluidos	Equipos de agitación Metodología Resultados	Interpretación de resultados Conclusiones Recomendaciones	Bibliografía Apéndices Anexos

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo 1. **Instrumentos de recolección de información, ampliación de métodos y procedimientos a utilizar.**

En toda investigación cuantitativa, aplicamos un instrumento para medir las variables contenidas en la hipótesis o las variables de interés cuando no hay hipótesis.

Requisitos que debe cumplir un instrumento de medición: Toda medición o instrumento de recolección de datos debe reunir tres requisitos esenciales:

1. Confiabilidad
2. Validez
3. Objetividad

Una vez que hemos seleccionado el diseño de investigación apropiado y la muestra adecuada de acuerdo con nuestro problema de estudio e hipótesis, la siguiente etapa consiste en recolectar los datos pertinentes sobre los atributos, conceptos, cualidades o variables de los participantes, casos, sucesos, comunidades u objetos involucrados en la investigación.

Recolectar los datos, implica elaborar un plan detallado de procedimientos que nos conduzcan a reunir datos con un propósito específico.

El plan nos permite determinar:

1. Cuáles son las fuentes de donde vamos a obtener los datos?
2. En dónde se localizan tales fuentes?
3. A través de qué medio o método vamos a recolectar los datos?
4. De qué forma vamos a preparar los datos recolectados para que puedan analizarse y respondamos al planteamiento del problema.

El plan se nutre de diversos elementos:

1. Las variables
2. Las definiciones operacionales
3. La muestra
4. Los recursos disponibles

Fuente: HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto. *Metodología de la investigación*. México: McGraw Hill, 1997. 447 p.

Anexo 2. Buenas Prácticas de Manufactura

1. Conceptos

Las Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) se refiere a todas aquellas acciones planificadas y sistemáticas necesarias para proporcionar la adecuada confianza de que los productos que se fabrican satisfarán los requisitos de calidad dados, garantizando la seguridad al consumidor.

Orienta a los fabricantes sobre la forma de organizar y llevar a cabo la fabricación de los productos, de manera que los factores humanos, técnicos y administrativos, que puedan tener influencia en la calidad de los mismos, estén bajo control, para que puedan preverse, reducirse y eliminar cualquier deficiencia.

2. BPM para cosméticos

Enfoca el concepto general de las Buenas Prácticas de Manufactura, específicamente para la industria cosmética. Está dirigido a los aspectos de fabricación, empaque, almacenamiento y distribución, bajo condiciones sanitarias controladas después de que el producto haya sido claramente definido y desarrollado.

2.1. Estructura Organizativa y Funciones

2.1.1. Organización

La estructura organizativa debe estar claramente definida a efecto de comprender la organización y funcionamiento de la compañía.

Cada miembro del personal debe conocer sus responsabilidades, tareas específicas y encontrar un lugar definido en la estructura.

- El responsable de control de calidad será independiente del responsable de producción.
- Las empresas cosméticas deberán tener una organización adecuada, la cual demuestre a través de organigramas generales su estructura jerárquica.
- Deben existir por escrito las funciones y atribuciones de cada puesto dentro de la empresa y hacerlas del conocimiento del personal.
- La empresa debe contar con un número adecuado de personal calificado para realizar y supervisar las funciones operativas.
- Toda empresa dedicada a la manufactura de productos cosméticos debe contar con los servicios de un director técnico, quién será un profesional idóneo para el desempeño de sus funciones.

2.1.2. Personal

Cada empresa en función de la cantidad y diversidad de sus producción debe tener una planilla adecuada a los diferentes campos de actividad. La planilla debe estar integrada por personal con los conocimientos, experiencia, competencia y motivación que su puesto requiera.

- El personal debe tener la educación, capacitación y experiencia o combinación de éstas, que le permitan un buen desempeño en las tareas asignadas.
- Es necesario que el personal responsable o de gestión esté contratado a tiempo completo o por el tiempo que la empresa se encuentre produciendo.
- Es importante identificar las necesidades de capacitación que tenga el personal, cualquiera que sea su nivel dentro de la jerarquía de la empresa, y diseñar planes adecuados para alcanzar los propósitos de la capacitación, la cual deben realizarse en forma continua. Los cursos de entrenamiento pueden ser realizados por la misma empresa o por empresas externas especializadas, de acuerdo a sus recursos. El programa de capacitación debe ser objeto de revisiones y seguimiento periódicos, dejando registros de su cumplimiento.

2.2. Higiene y saneamiento

2.2.1. Empresa

Para la industria cosmética, un producto terminado no debe afectar adversamente a la salud del consumidor, ni sufrir deterioro alguno en su calidad, debido a la presencia o multiplicación de microorganismos en el mismo. Para alcanzar esto, es esencial cumplir con buenas prácticas de higiene. Para este propósito la empresa deberá mantener los ambientes, equipos, maquinas e instrumentos, así como materias primas, graneles y productos terminados en buenas condiciones de higiene.

- Los equipos de fabricación, maceración, llenado y empaque deben limpiarse y desinfectarse de acuerdo a su diseño y uso.
- Las diferentes etapas de fabricación deben ser llevadas a cabo bajo condiciones de higiene industrial adaptadas a la naturaleza del producto con objeto de impedir cualquier riesgo de contaminación.
- En el área de fabricación debe evitarse cualquier riesgo de estancamiento de agua, polvo en la atmósfera, presencia de insectos y otros animales.
- Los productos de limpieza deben de estar claramente identificados para que nunca entren en contacto con los cosméticos.
- La empresa aplicará un programa de fumigación y eliminación de roedores llevando un registro de su cumplimiento.
- La empresa tendrá en funcionamiento un programa de limpieza, se verificará periódicamente el cumplimiento del mismo llevando un registro de lo actuado.

2.2.2. Personal

El personal debe respetar prácticas de higiene y seguir las instrucciones de la empresa sobre como trabajar.

- Para garantizar que el personal goza de buena salud antes de ser contratado debe solicitársele su tarjeta de salud vigente.

- El personal debe someterse a exámenes médicos periódicos, a través de control interno o de controles médicos externos, durante el tiempo de empleo.
- Cualquier afección en la piel será causal de separación temporal del trabajador del área de producción.
- Debe evitarse el contacto directo de las manos del operario con materias primas y productos intermedios o a granel, durante las operaciones de fabricación y envasado.
- Se le debe proporcionar al personal uniforme completo y adecuado para sus funciones, así como también los implementos de protección como zapatos especiales, máscaras, anteojos, guantes, protección auditiva y otros elementos protectores para el manejo de sustancias inflamables, tóxicas u otras que su manejo así lo requiera.

2.3. Edificio e instalaciones

La planta productora deberá ubicarse en lo posible alejada de fuentes contaminantes y velar porque sus alrededores se mantengan limpios. Los locales deben ser diseñados y construidos o adaptados y mantenidos acordes a las necesidades propias de la actividad. La iluminación, temperatura, humedad y ventilación, no deben afectar directa o indirectamente la calidad del producto, durante su manufactura o puesta en *stock*.

- Los edificios é instalaciones deben tener un tamaño adecuado a las necesidades de la empresa, su material de construcción y estado no afectará la calidad de los productos, ser resistente a agentes limpiadores,

deben estar limpios y ordenados, las condiciones de pisos, ventanas y paredes, deberán ser fácilmente limpiables, y tener una iluminación y ventilación adecuada.

- En las áreas de producción no debe haber personas ajenas a las mismas.
- Las plantas destinadas a la elaboración de cosméticos, se dedicarán exclusivamente a dicho fin.
- Deben disponer de áreas específicas y separadas para las diferentes actividades que se efectúen en ellas, a saber: fabricación, envase, acondicionamiento y empaque, control de calidad, almacenes, vestidores, servicios sanitarios, cafetería.

2.3.1. Vestidores

Los vestidores y servicios sanitarios deben estar instalados cerca de las zonas de trabajo, convenientemente separados de las áreas de manufactura.

- Deben estar identificados correctamente.
- Deben existir vestidores, baños, y servicios separados para damas y caballeros en condiciones sanitarias higiénicas, en orden y en número suficiente para la cantidad de personal. Una unidad para cada 10 personas.
- Los servicios sanitarios deben contar con lavamanos, papel, jabón, toallas desechables o secadores de manos.

- Deben tener lockers y zapateras.

2.3.2. Almacenes de materiales

La recepción de todos los materiales para la fabricación (materias primas, material de acondicionamiento y empaque, etc.) debe hacerse de acuerdo a un procedimiento establecido y colocarse en un área determinada de cuarentena, hasta su posterior aprobación, luego serán almacenados en condiciones adecuadas según su naturaleza y de forma ordenada para asegurar la identificación correcta y rotación de existencias mediante el sistema PEPS (Primero entra primero sale). Debe existir un área para colocar cualquier material no conforme (área de rechazo).

- Las áreas utilizadas para almacenamiento deben estar debidamente identificadas y ser de un tamaño adecuado a las necesidades de la empresa.
- El material de la construcción y su estado no debe afectar la calidad de los productos que se almacenan.
- Deben tener tarimas y/o estanterías limpias y ordenadas.
- Diseñadas de manera que dentro del área haya suficiente ventilación e iluminación.
- Debe de disponerse de áreas de almacenamiento con condiciones especiales para productos que así lo requieran, por ejemplo: productos inflamables, termolábiles, etc.

2.3.3. Área de pesaje

Debe ser un área físicamente separada de las demás dependencias, con paredes, pisos y techo liso y de fácil limpieza, con un sistema de ventilación e iluminación adecuado y estar identificada.

- Las balanzas y equipo de medida deben ser calibrados regularmente dejando registro de esto.
- Los materiales usados para las pesadas y medidas (recipientes, espátulas, pipetas, etc.), deben estar limpios y guardados en un lugar que así lo asegure.
- Los materiales después de ser pesados o medidos deben ser etiquetados inmediatamente a fin de evitar confusiones.

2.3.4. Áreas de producción

Las áreas de fabricación deben diseñarse, construirse y mantenerse para satisfacer las condiciones estipuladas por las actividades para las que son destinadas, especialmente en cuanto a iluminación, temperatura, humedad y ventilación. Dependiendo de las actividades que se realizan en la empresa estas pueden tener: área de fabricación, mezcla, llenado y compactado de sólidos, área de fabricación, mezcla y llenado de líquidos y semi-sólidos, área de empaque.

2.3.5. Sistemas de agua

Siendo el agua una materia prima importante en la industria cosmética, debe prestársele especial atención por lo que las instalaciones y los sistemas de tratamiento de agua deben garantizar la calidad de la misma que incidirá en la calidad de los productos terminados. La calidad química y microbiológica del agua debe ser objeto de control periódico, de acuerdo a procedimientos escritos, dejando registro de los mismos. Debe existir una adecuada señalización para la identificación de las conducciones de agua tales como caliente, fría, desmineralizada, etc.

2.4. Maquinaria y equipo

Los equipos y maquinaria deben diseñarse, construirse e instalarse de manera que faciliten las operaciones de limpieza, sanitización, ajuste y mantenimiento, asegurando la factibilidad de los controles y la uniformidad de la producción. Previniendo la introducción de contaminantes en operaciones anteriores. Deben existir procedimientos para:

- Limpieza, sanitización y mantenimiento del equipo y utensilios con sus respectivos registros.
- Calibración del equipo que así lo requiera.
- Debe de existir un programa para darle mantenimiento constante al equipo y maquinaria el cual puede ser efectuado por el personal de la empresa o puede contratarse el servicio a terceros, debiendo dejar registros del mismo.

2.5. Operaciones de calidad

Estas operaciones se realizan para asegurar el cumplimiento de la calidad de los productos, durante todo el proceso de fabricación. Se inician con el control del ingreso de los diferentes materiales recibidos, con controles durante el proceso de fabricación para lo cual deberá tener: especificaciones, procedimientos de muestreo, métodos de inspección y comprobación, límites de aceptación, mantenimiento de los récords de calidad, etc., hasta el control final de los productos terminados.

Estas operaciones de calidad deben estar bajo la responsabilidad de un profesional idóneo. Pudiéndose contratar los servicios de una organización externa de control de calidad para aquellos ensayos que no puedan realizarse por falta de instrumental propio.

2.6. Documentación

La utilización de documentos es indispensable para evitar posibles errores que surjan al transmitir verbalmente las distintas indicaciones. Estos documentos deben concordar con los procedimientos establecidos, las instrucciones de fabricación, las especificaciones de los productos. Es importante también implementar procedimientos escritos y sus registros para documentar todas las actividades que se realizan dentro de la empresa (Por ejemplo, recepción de materiales, toma de muestras, limpieza de áreas, despeje de línea, redacción, aprobación y emisión de las fórmulas maestras, limpieza e higiene personal, control de calidad, etc.)

- Debe existir una fórmula maestra para cada producto y una orden de fabricación, con el objetivo de asegurar la uniformidad de cada lote

fabricado acompañada de los procedimientos necesarios, definiendo todos los pasos para la correcta manufactura, empaque y envase de los mismos.

- Los documentos deben estar redactados en forma clara que evite toda ambigüedad o confusión.
- Tienen que ser aprobados, firmados y fechados por personas autorizadas.
- No deben ser manuscritos salvo cuando requieran la introducción de datos o fecha y firma que se pondrán en el momento que se requiera y no a posteriori.
- Cualquier modificación que se haga debe fecharse y firmarse por la persona responsable y la modificación no debe impedir la lectura del dato inicial.
- Registro de datos que posibiliten la recuperación histórica de los mismos.
- Toda la documentación debe revisarse y ponerse al día periódicamente, teniendo cuidado de retirar cualquier documento obsoleto.
- Es necesario contar con un archivo actualizado de los documentos existentes en la empresa.

2.7. Quejas, reclamos y devoluciones

La empresa debe contar con procedimientos en los que indica el manejo de las quejas y reclamos recibidos y se designará a un responsable para

tratarlas y seguir el procedimiento escrito sobre el manejo de las mismas, dejando registro de lo actuado.

2.8. Inspecciones y auditorías

Debe establecerse un sistema de inspecciones y auditorías internas. Deben ser realizadas por personas competentes especialmente designadas. El objetivo de las mismas es verificar el grado de cumplimiento de las buenas prácticas de manufactura de la empresa. Se debe informar de los resultados de las auditorías tanto a la dirección de la empresa como al personal auditado, de forma que éstos puedan participar en la puesta en marcha de acciones de mejora y comprobarse que dichas acciones sean llevadas a cabo.

Fuente: MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL, DIRECCIÓN GENERAL DE REGULACIÓN Y CONTROL DE PRODUCTOS FARMACÉUTICOS Y AFINES. *MANUAL DE BUENAS PRÁCTICAS DE MANUFACTURA PARA LA INDUSTRIA COSMÉTICA*. Guatemala: 2003

Anexo 3. **Procesos de producción**

1. Conceptos

Un proceso de producción es un sistema de acciones que se encuentran interrelacionadas de forma dinámica y que se orientan a la transformación de ciertos elementos . De esta manera, los elementos de entrada (conocidos como “factores”) pasan a ser elementos de salida (productos), tras un proceso en que se incrementa su valor. Los factores, son los bienes que se utilizan con fines productivos (las materias primas). Los productos en cambio, están destinados a la venta al consumidor o mayorista.

Las acciones productivas son las actividades que se desarrollan en el marco del proceso. Pueden ser acciones inmediatas (que generan servicios que son consumidos por el producto final, cualquiera sea su estado de transformación) o acciones mediatas (que generan servicios que son consumidos por otras acciones o actividades del proceso).

También se denomina proceso de fabricación, el cual se define como el conjunto de operaciones unitarias necesarias para modificar las características de las materias primas. Dichas características pueden ser de naturaleza muy variada tales como la forma, la densidad, la resistencia, el tamaño o la estética. Se realizan en el ámbito de la industria.

Para la obtención de un determinado producto serán necesarias multitud de operaciones individuales de modo que, dependiendo de la escala de observación, puede denominarse “proceso” tanto al conjunto de operaciones desde la extracción de los recursos naturales necesarios hasta la venta del

producto como a las realizadas en un puesto de trabajo con una determinada máquina o herramienta.

La gran variedad de bienes y servicios da lugar a procesos productivos muy diferentes, pero los distintos procesos pueden incluirse en algunos de estos tipos:

- Proceso por proyectos: supone la fabricación de un producto exclusivo, lo que conlleva diseñar un proceso único para cada proyecto. Son procesos largos y complejos.

- Producción intermitente:
 - Producción por talleres: se trabaja en lotes pequeños de una gran cantidad de productos que se adaptan a las necesidades que el cliente señala

 - Producción por lotes o *batch*: sistema conocido como producción en centros de trabajo. Se trabaja también con lotes variados. Cada lote llega a un centro de trabajo para una operación y cuando se completa se traslada al siguiente centro. Requiere baja automatización.

- Producción en serie:
 - Producción en masa: las máquinas y los centros de trabajo se sitúan unos a continuación de otros, según la secuencia de tareas a realizar.

- Producción continua: el producto va pasando por una serie de operaciones distintas de forma continua, sin apenas paradas en el proceso de producción. Requiere alta automatización y está en funcionamiento las 24 horas del día.

Fuente: SCHROEDER, Roger G. *Administración de operaciones*. 3ª. Edición. México: McGraw Hill, 1994. 855 p.

Anexo 4. Descripción de materias primas

1. Conceptos

Todas las fórmulas de los productos que se consumen, tanto tradicionales como actuales, tienen una base común:

- Los principios activos
- El excipiente
- Los aditivos

Los principios activos son ingredientes o materias primas que realizan la actividad del producto (hidratan, reafirman, cohesionan, regeneran), lo que da resultados visibles y lo que determina el precio del producto. Estos principios activos pueden ser de origen vegetal, mineral, animal o sintéticos (de laboratorio).

El excipiente es el medio en donde el principio activo se transporta, los principios activos por su inestabilidad y pureza, difícilmente se pueden aplicar directamente a la piel. Los excipientes le dan forma o textura prácticamente a los productos, puede ser en forma de crema, espuma, gel, etc. El ingrediente o materia prima principal del excipiente es el agua (60%-90%), pero también el alcohol y productos derivados de la petroquímica lo son.

Los aditivos son materias primas que proporcionan características adicionales al producto, como los colorantes, los preservantes y los perfumes.

2. Materias primas utilizadas

- Alcohol ceto estearílico: combinación de alcohol cetílico(C-16) y alcohol estearílico (C-18). Son alcoholes grasos de alta masa molecular se utilizan como espesantes, estabilizantes de emulsiones y poseen propiedades cosméticas emolientes, humectantes y suavizantes.
- Cloruro de cetrimonio (Dehyquart-A): sal cuaternaria de amonio, se emplea como emulsificante, acondicionador capilar, suavizante y antiestático.
- Bronidox : propilenglicol y 5-Bromo-5-Nitro-1,3-dioxano se utiliza como preservante, para evitar la contaminación microbiana.
- Metilparaben y propilparaben: son ésteres del ácido 4-hidroxibenzoico, se utilizan como preservantes por su acción bactericida y fungicida.
- Colorantes FD&C: colorantes artificiales autorizados y utilizados en Estados Unidos.
- Carbopol 940: polímero reticulado de poliacrilato se utiliza como modificador reológico, genera alta viscosidad. Produce geles y cremas hidroalcohólicas.
- PVP : polivinilpirrolidona, se utiliza como formador de película en fijadores para el cabello.
- Fragancias: aditivos para caracterizar el producto.

- Polisorbato 20: monooleato de polioxietileno sorbitan es un surfactante, se utiliza como surfactante y emulsionante.