



# **UNIVERSIDAD NACIONALAUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLÁN**

**VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES  
REOLÓGICAS EN LA FORMULACIÓN DE  
UNA CREMA**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE :

**LICENCIADO EN QUÍMICA INDUSTRIAL**

**P R E S E N T A :**

**RIGOBERTO ROMÁN MARTÍNEZ VEGA**

ASESOR: M en C GRACIELA MARTÍNEZ CRUZ



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# AGRADECIMIENTOS

A mis padres

Rigoberto Martínez Rodríguez

Gregoria Vega Torres

Por el inmenso amor, comprensión, apoyo, dedicación y ejemplo que me han brindado, con lo cual he logrado una de las metas más importantes de mi vida.

A mis hermanos

David, Marisol, Viridiana, José Roberto, Daniel, Moises

Todos, evidencia clara de que el amor, dedicación y trabajo tienen frutos abundantes.

A mis sobrinos

David y Sofía

Que nunca se den por vencidos, el camino es largo pero satisfactorio.

A mi asesor

El mas sincero agradecimiento a mi directora de tesis por haberme dedicado tiempo y apoyo para realizar este trabajo. Gracias por ser tan paciente, humano y profesional.

Al M.C. Gilberto Amaya por su ayuda y consejos para la conclusión de este trabajo ... Gracias maestro por su confianza

A mis sinodales

Por sus observaciones y consejos acerca de este trabajo.

A mis amigos

Por el cariño, ayuda y estimulo que me han brindado

Víctor Hugo Sánchez, Miguel Ángel (Tiba), Alejandro Sauza (Parca), Ivette Balderas, Héctor Amaro(Bebáis), David Romero, Joel Martínez, Félix Gonzáles, Cesar Pacheco(Gordo), José Manuel Sánchez (Pato), Lucio Solorio, Miguel Sauza.

A la memoria de Xochitl y Marisol

Donde quiera que estén las recuerdo con cariño

# CONTENIDO

	Página
<b>Contenido</b>	i
<b>Índice de figuras</b>	v
<b>Índice de tablas</b>	vii
<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>OBJETIVOS</b>	4
<b>1 GENERALIDADES</b>	5
1.1 Cremas de limpieza	5
1.1.2 Cold cream	6
1.1.3 Cremas de noche y cremas de masaje	6
1.2 Cremas emolientes	6
1.2.1 Cremas humectantes	7
1.2.2 Cremas de mano y cuerpo	7
1.2.3 Cremas de uso general	8
1.3 Cremas de acabado	8
1.3.1 Cremas evanescentes	8
1.3.2 Cremas de base pigmentada	8
1.3.3 Cremas base	9
1.4 Emulsiones	10
1.4.1 Definición de emulsión	10
1.4.2 Tipos de emulsiones	10
1.4.3 Estabilidad de emulsiones	11

	Página
1.4.3.1 Cremación	12
1.4.3.2 Floculación	13
1.4.3.3 Coalescencia	13
1.4.3.4 Ruptura de emulsión	14
1.4.4 Agentes emulsificantes o tensoactivos	15
1.4.5 Clasificación de los agentes emulsificantes	16
1.4.5.1 Agentes emulsificantes sintéticos	17
1.4.5.2 Agentes emulsificantes naturales	19
1.4.5.3 Agentes semisintéticos	20
1.4.5.4 Hidrocoloides sintéticos	20
1.4.5.5 Emulsores sólidos finamente divididos o finalmente dispersados de la partícula	20
1.4.5.6 Agentes emulsificantes auxiliares	21
1.4.6 Sistema HBL	21
<b>2 FUNDAMENTOS REOLÓGICOS</b>	<b>23</b>
2.1 Sólido de Hooke	23
2.2 Fluido newtoniano	25
2.3 Esfuerzo de corte o cizalla	27
2.4 Velocidad de corte o cizalla	28
2.5 Viscosidad	28
2.6 Viscosidad aparente	28
2.7 Número de Deborah	29
2.8 Fluidos no newtonianos	30
2.8.1 Comportamiento independiente del tiempo	30
2.8.1.1 Fluidos pseudoplástico	30
2.8.1.2 Fluidos dilatante	31

	Página
2.8.1.3 Fluido de Bingham	32
2.8.2 Fluidos no newtonianos dependientes del tiempo	33
2.8.2.1 Fluidos tixotrópicos	33
2.8.2.2 Antitixotropía o reopecticidad	35
2.9 Sustancias viscoelásticas	35
2.9.1 Modelo de Maxwell	36
2.9.2 Modelo de Kevin-voigt	37
2.9.3 Modelo de Burger	38
2.10 Aparatos de medición	39
2.10.1 Reómetros	39
2.10.1.1 Reómetros rotatorios	40
2.10.1.2 Geometría cono y plato	41
2.10.1.3 Geometría de cilindros concéntricos	42
2.10.1.4 Geometría de platos paralelos	44
<b>3 MATERIALES Y MÉTODOS</b>	46
3.1 Material, equipos y reactivos	46
3.2 Metodología	47
3.2.1 Preparación de la crema	47
3.2.2 Caracterización reológica de la crema	48
3.2.3 Caracterización reológica a diferentes temperaturas, a través del tiempo	49
<b>4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	51
4.1 Resultados	51
4.2 Discusión	59



	Página
<b>5 CONCLUSIONES</b>	62
<b>6 BIBLIOGRAFÍA</b>	64
<b>ANEXO A</b>	67
<b>ANEXO B</b>	74
<b>ANEXO C</b>	80

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura.1.1 Diferentes tipos de emulsión	11
Figura.1.2 Estabilidad de la emulsión	14
Figura 1.3 Tensión superficial	16
Figura.2.1 Modelo del sólido de Hooke	24
Figura.2.2 Modelo del fluido newtoniano	25
Figura 2.3 Definición del flujo newtoniano	27
Figura 2.4 Gráfico de viscosidad aparente	29
Figura 2.5 Fluidos no newtonianos y newtonianos	33
Figura 2.6 Representación gráfica de un fluido tixotrópico	34
Figura 2.7 Representación gráfica de un fluido reopectico	35
Figura 2.8 Modelo de Maxwell	36
Figura 2.9 Modelo de Kevin-Voigt	38
Figura 2.10 Modelo de Burger	39
Figura 2.11 Viscosímetro cono y plato	42
Figura 2.12 Viscosímetro de cilindros concéntricos	43
Figura 2.13 Viscosímetro de platos paralelos	45
Figura 3.1 Fotografía del reómetro Rheolab paraphisica MC 120	46
Figura 4.1 Curva viscosimétrica representativa de las 11 formulaciones	51
Figura 4.2 Curva viscosimétrica de la formulación 00 a 25 C	53
Figura 4.3 Curva viscosimétrica de la formulación 19 a 25 C	54
Figura 4.4 Curva viscosimétrica de la formulación 28 a 25 C	54
Figura 4.5 Calculo del porcentaje de tixotropía	56

	Página
Figura 4.6 Curvas de viscosidad de la semana 24 de las formulaciones 55 y 64 a 10 C y 35 C	57
Figura: 4.7 Curva representativa de todas las mediciones a través de 24 semanas	57
Figura B.1 Curva viscosimétrica de la formulación 37 a 25 C	74
Figura B.2 Curva viscosimétrica de la formulación 46 a 25 C	74
Figura B.3 Curva viscosimétrica de la formulación 55 a 25 C	75
Figura B.4 Curva viscosimétrica de la formulación 64 a 25 C	75
Figura B.5 Curva viscosimétrica de la formulación 73 a 25 C	76
Figura B.6 Curva viscosimétrica de la formulación 82 a 25 C	76
Figura B.7 Curva viscosimétrica de la formulación 91 a 25 C	77
Figura B.8 Curva viscosimétrica de la formulación 10 a 25 C	77
Figura B.9 Curva viscosimétrica de la formulación 55 a 10 C durante 24 semanas	78
Figura B.10 Curva viscosimétrica de la formulación 55 a 35 C durante 24 semanas	78
Figura B.11 Curva viscosimétrica de la formulación 64 a 10 C durante 24 semanas	79
Figura B.12 Curva viscosimétrica de la formulación 64 a 35 C durante 24 semanas	79

## ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 3.1 Formulaciones de los 11 sistemas	47
Tabla 3.2 Formulaciones de los sistemas 55 y 64	50
Tabla 4.1 Parámetros físicos para las diferentes concentraciones a 25 C	53
Tabla 4.2 Porcentaje de tixotropía a 25 C a diferentes tiempos de medición	55
Tabla 4.3 Parámetros físicos a diferentes temperaturas relacionando el tiempo	58
Tabla A.1 Constantes K y n de la formulación 10 a 25 C	67
Tabla A.2 Constantes K y n de la formulación 91 a 25C	67
Tabla A.3 Constantes K y n de la formulación 82 a 25 C	67
Tabla A.4 Constantes K y n de la formulación 73 a 25 C	68
Tabla A.5 Constantes K y n de la formulación 64 a 25 C	68
Tabla A.6 Constantes K y n de la formulación 55 a 25 C	68
Tabla A.7 Constantes K y n de la formulación 46 a 25 C	68
Tabla A.8 Constantes K y n de la formulación 37 a 25 C	69
Tabla A.9 Constantes K y n de la formulación 28 a 25 C	69
Tabla A.10 Constantes K y n de la formulación 19 a 25 C	69
Tabla A.11 Constantes K y n de la formulación 00 a 25 C	69
Tabla A.12 Constantes k y n de la formulación 55 a 10 C	70
Tabla A.13 Constantes k y n de la formulación 55 a 35 C	71
Tabla A.14 Constantes k y n de la formulación 64 a 10 C	72
Tabla A.15 Constante k y n de la formulación 64 a 35 C	73

# INTRODUCCIÓN

El estudio de las emulsiones es de gran interés para conocer las características físicas, químicas, organolépticas, de flujo, en una inmensa cantidad de productos que utilizamos a diario como son las cremas para el cuidado personal, pintalabios, algunos alimentos (helados, leche, mantequilla) y productos agroquímicos como los insecticidas y pesticidas.

En el sector de los cosméticos, las cremas hidratantes, cremas de limpieza, protectoras para los rayos UV, etc. son emulsiones de partículas aceitosas dispersas en agua.

La posibilidad de determinar las propiedades de fluidez de productos cosméticos es importante con el fin de satisfacer los requerimientos prácticos y estéticos de los clientes. Las mediciones y la interpretación de los resultados se utilizan para saber como se va a comportar el producto antes, durante y después de su uso.

Las demandas de cómo diferentes productos cosméticos deben comportarse en varias etapas de la producción y la aplicación sugiere que es necesario ser capaz de cuantificar un rango de características reológicas.

La reología puede definirse como el ámbito de la ciencia que estudia la deformación y el flujo de materiales causadas por la aplicación de un esfuerzo.

La reología aplicada estudia las características que debe tener un producto para que su comportamiento sea óptimo desde el punto de vista de su aplicación, por lo que es de extrema importancia en el desarrollo y calidad del producto final la determinación de todas las características reológicas; se deduce por tanto que la reología permite la obtención de parámetros físicos de gran utilidad en la elaboración y conservación de las emulsiones cosméticas. [7,22]

El comportamiento reológico de los emulsiones es muy complejo y a la vez desempeña un papel muy importante en muchos sistemas de proceso.

La utilidad de la reología en la industria de las emulsiones son múltiples, entre otras se pueden citar:

- Diseño de tuberías y selección de bombas.
- Diseño y análisis de equipos de extrusión.
- Selección y operación de equipos de mezclado.
- Procesos en los que se realizan recubrimientos.
- Selección de envases.

Un reómetro elegido adecuadamente puede medir estas propiedades y cuantificar las características de cada producto de manera que puedan ser conocidas y controladas.

En este trabajo se tiene como objetivo general realizar un estudio reológico para la evaluación de una emulsión cosmética, que permite la elaboración del preparado, así como predecir el comportamiento del producto durante su uso como una medida de

la estabilidad del sistema (que influye en el tiempo de vida del producto), y como específicos: estudiar el comportamiento reológico de la emulsión cosmética, llevar a cabo el análisis de los reógramas para determinar si el sistema presenta un comportamiento tixotrópico, y proponer el modelo reológico de la formulación y realizar el tratamiento estadístico de los resultados experimentales para obtener el mejor ajuste de los parámetros del modelo reológico.

# **OBJETIVOS**

## **Objetivo general**

- Caracterizar reológicamente una formulación cosmética, en un reómetro usando la geometría cono y plato y determinar si presenta un comportamiento tixotrópico con base en sus parámetros reológicos para deducir un modelo de esfuerzo-deformación dependiente del tiempo

## **Objetivos particulares**

- Estudiar la evolución del comportamiento reológico de una emulsión cosmética en función del tiempo, a diferentes concentraciones, variando la temperatura de almacenamiento.
- Determinar si la emulsión cosmética presenta un comportamiento tixotrópico.
- Deducir el modelo matemático esfuerzo-rapidez de deformación dependiente del tiempo, con base en sus parámetros reológicos de la formulación cosmética.



# 1 GENERALIDADES

La palabra crema es de uso tan común que su definición es casi superflua. En el contexto de los cosméticos, el término crema corresponde a una emulsión de sustancias oleosas y acuosas en forma sólida o semisólida, aunque igual se aplique a productos no acuosos tales como máscaras basadas en cera-disolvente, sombra de ojos líquidas y ungüentos.<sup>24</sup> Si una emulsión tiene una viscosidad suficientemente baja como para poderse verter, es decir, fluir bajo la única influencia de la gravedad, se denomina loción.

Según su función y comportamiento fisicoquímico, las cremas cutáneas forman tres grupos principales: limpiadoras, emolientes y de acabado. Casi todas las cremas de limpieza y todas las emolientes, son emulsiones de agua en aceite; casi todas las cremas de acabado son emulsiones aceite en agua.

## 1.1 Crema de limpieza

Son de tres tipos: cremas frías, cremas que se licuan rápidamente y cremas limpiadoras líquidas. Una crema de limpieza satisfactoria es una emulsión de agua en aceite que se funde con la temperatura del cuerpo y se extiende fácilmente sobre la piel.

La limpieza de la superficie de la piel se efectúa de modo eficaz y agradable, gracias a una asociación de agua y la acción disolvente de los aceites, los cuales deben ser bastantes ligeros para penetrar un poco, limpiar las impurezas y de fácil eliminación.

### **1.1.2 Cold cream**

Este producto alude a una crema limpiadora con el efecto refrescante que produce en la piel el agua al evaporarse. Son de las primeras emulsiones cosméticas descritas en la literatura.

### **1.1.3 Cremas de noche y cremas de masaje.**

En este caso se trata casi siempre de tipos de emulsiones de agua en aceite, son por lo tanto, más grasas que las cremas de día y así también su acción. Por eso deben evitarlas las personas con piel muy grasa.<sup>6</sup> Se han diseñado para dejarse sobre la piel durante varias horas o para permanecer inamovible en la piel aún después de un vigoroso frotamiento; para mejorar la penetración pueden contener tensoactivos.

## **1.2 Cremas emolientes**

Las cremas emolientes se emplean para prevenir o aliviar la sequedad de la piel impartiendo suavidad y sensación general de bienestar a la piel, como se comprueba por el tacto.<sup>11</sup>

La piel seca se caracteriza por uno o más de los siguientes síntomas:

- a) Aspecto cremoso y áspero al tacto.
- b) Menos flexible que lo normal.
- c) Fisurada, agrietada, cuarteada.

### **1.2.1 Cremas humectantes**

Las cremas humectantes tienen la finalidad de restaurar el agua en una piel seca para protegerla formando una película aislante en las capas más profundas de la epidermis, evitando así la deshidratación de la piel. Se ha demostrado que el agua es el principal plastificante del estrato córneo y que es capaz de dar elasticidad a la capa más externa y muerta de la epidermis para dotarla del atributo más deseado llamado piel "suave y tersa".

### **1.2.2 Crema de manos y cuerpo**

Esta crema es utilizada para restituir las características normales de la piel, suavizando e hidratando la piel dañada, luego del baño o del trabajo con detergentes y otros elementos que puedan alterar el equilibrio natural de la piel.

Las principales características de las buenas cremas de manos son las de ser fáciles y rápidas de aplicar sin dejar una película pegajosa, suavizar las manos y quizás, ayudar a curarlas sin intervenir en la transpiración normal de las manos.

Generalmente, están coloreadas y ligeramente perfumadas para hacer agradable su empleo, pero sin interferir con el perfume utilizado por el usuario.

### **1.2.3 Cremas de uso general**

Las cremas de uso general no deberían de llamarse así, puesto que para servir para todos los usos tal preparación debería de cumplir como crema base, crema limpiadora, crema de manos, cremas protectoras y cremas emolientes. Es evidente que no hay ningún producto único que pueda satisfacer todas las necesidades requeridas por el usuario.

## **1.3 Crema de acabado**

### **1.3.1 Cremas evanescentes**

Las cremas evanescentes en realidad no desaparecen en la piel sino que extienden sobre ella una película delgada apenas visible. Están compuestas en la fase oleosa, de ésteres emolientes; por su alto contenido de agua, que se evapora rápidamente al extender la crema sobre la piel, y el carácter de astringente que presenta, dan la sensación de una muy rápida penetración. Estas cremas se reconocen fácilmente por su brillo perláceo.

### **1.3.2 Cremas base pigmentada**

Las cremas base pigmentadas contienen del 3 al 25 por 100 de pigmentos. Si están bien formuladas, estas bases pigmentadas (llamadas también maquillaje en pasta y base para polvo) pueden usarse en cualquier tipo de piel.

Las que contienen entre un 3 y 10 por 100 son un sustrato adecuado para una posterior aplicación de polvo, mientras que aquellas otras con mayor concentración de pigmentos se utilizan como maquillaje completo y, con frecuencia se designa el nombre de cremas en polvo. Algunos de estos productos se aplican como cremas evanescentes, tomándolos directamente del tubo o el tarro y se extienden con cuidado sobre la piel. Otros en forma de pastilla comprimida de crema o pasta, se aplican con agua y una esponja, y después se dejan secar.

### **1.3.3 Crema base**

Estas cremas son formuladas para ser usadas de día como protectoras y acondicionadoras la piel limpia. Son excelentes bases para el maquillaje, al dejar la piel con una apariencia mate y sin apariencia grasosa, haciendo que el polvo se adhiera sin dificultad sobre la película residual y además, resultan más fáciles de retirar con la crema de limpieza.

## **1.4 EMULSIONES**

### **1.4.1 Definición de emulsión**

Una emulsión es un sistema heterogéneo constituido, por lo menos, por un líquido no miscible disperso íntimamente en otro en forma de gotas. El líquido presente como pequeñas gotas es la fase dispersa o interna, mientras que el líquido que lo rodea es la fase continua o externa. Una de las fases de la emulsión está constituida por una fase acuosa, que puede contener un cierto número de sustancias hidrófilas (alcoholes, glicoles, azúcares, sales minerales y orgánicas, etc.) y la otra por una fase oleosa que puede contener sustancias lipófilas (ácidos grasos, alcoholes grasos, ceras y principios activos liposolubles).

### **1.4.2 Tipos de emulsiones** <sup>[14, 15,26]</sup>

En la mayoría de los casos en los cuales se hace una emulsión con dos líquidos inmiscibles, uno de los líquidos es una fase acuosa y el otro una fase aceite u orgánica. Se usarán las abreviaturas W (water) y O (oil) para dichas fases, ya que en castellano las palabras agua y aceite empiezan por la misma letra.

Las emulsiones pueden pertenecer a cualquiera de los dos tipos siguientes:

Emulsiones de fase acuosa “aceite en agua”. Si se dispersan gotitas de aceite(O) en agua (W), se habla de una emulsión de aceite en agua (O/W de fase interna oleosa), donde la fase continua es el agua.

Emulsiones de fase oleosa “agua en aceite”, un sistema en el que el agua está dispersada en el aceite se designa por W/O, donde la fase continua es el aceite.

Es posible también formar emulsiones múltiples; donde, una pequeña gota de agua puede emulsionarse en una gota mayor de aceite que, a su vez, está dispersa en agua. Esto da lugar a una emulsión agua en aceite en agua (W/O/W), siendo también probable la alternativa O/W/O,

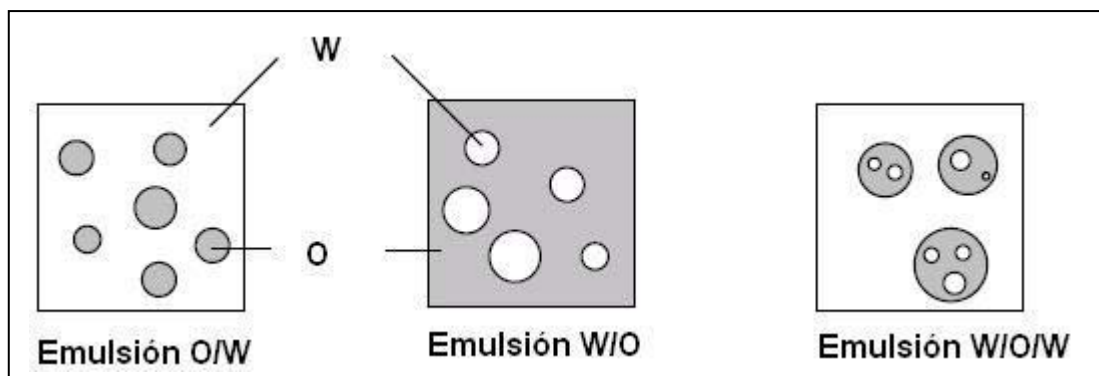


Fig.1.1 Diferentes tipos de emulsión

### 1.4.3 Estabilidad de emulsiones

Como todo sistema heterogéneo disperso, una emulsión es un sistema termodinámicamente inestable que debido al valor negativo de su energía libre superficial, tenderá de manera espontánea a destruirse para alcanzar el equilibrio termodinámico que corresponde a la separación neta en dos fases continuas. Las interfases líquido-líquido presentan en general una tensión superficial y, en consecuencia una energía libre superficial. [11, 24,26]

Una emulsión estable es aquella que puede mantener el mismo número y tamaño de gotas de la fase dispersa por unidad de peso o volumen de la fase continua. La energía interfacial debe permanecer invariable con el tiempo de acuerdo a esta definición.

En una crema, cualquier alteración en la apariencia y/o consistencia la harán inaceptable por que cualquier separación insignificante hacen al producto cosmético desagradable a la vista del consumidor.

Para los productos cosméticos la estabilidad es el tiempo de almacenamiento y de uso; esta parte cuando una formulación se encuentra en su envase final, conservando sus especificaciones físicas, químicas, biológicas, toxicológicas y de viabilidad constante y definida, durante largos periodos de tiempo.

El proceso de ruptura de las emulsiones puede ocurrir mediante cuatro mecanismos de inestabilidad diferentes, la figura 1.2 muestra una representación gráfica de cada uno de los procesos. Cabe destacar que la cremación y la floculación son procesos similares.

[1,5]

#### **1.4.3.1 Cremación**

Es el movimiento migratorio de los glóbulos en una emulsión, manteniendo su individualidad como tales, acumulándose en la superficie de la emulsión; Este proceso se debe a que las partículas de la fase dispersa de la emulsión presentan una densidad distinta de las del medio de dispersión y por lo tanto tenderán a acumularse, por acción de la gravedad, en el fondo o en la superficie de la emulsión.



Cuando los glóbulos de la fase dispersa se acumulan en la parte inferior de la emulsión, se dice que la emulsión ha sedimentado y este proceso es fácilmente reversible si se homogeniza mediante una agitación suave.

#### **1.4.3.2 Floculación**

Es la formación de grumos o agregados de pequeñas gotas íntegras e individuales, resultante de la coalición de unas partículas con otras, que se mantienen unidas a través de fuerzas de atracción electrostáticas de Van der Waals, y repulsivas de tipo estéricas y de hidratación. Esto es ocasionado cuando la función del emulsificante se ve disminuida y las fuerzas de repulsión entre los glóbulos son menores que las de atracción; En este fenómeno no se presentan cambios en el tamaño de gotas, ni en su distribución de tamaño, pero si en el incremento de agregados dentro de la emulsión. Este proceso es reversible al agitar vigorosamente la mezcla.

#### **1.4.3.3 Coalescencia**

La coalescencia es uno de los mecanismos responsables para la destrucción de emulsiones. La coalescencia es un proceso diferente a la floculación, el cual comúnmente le precede. Mientras que la floculación es el agrupamiento de glóbulos, la coalescencia es la fusión de dos o más partículas para formar gotas más grandes, este fenómeno se presenta cuando se rompe la película fina (de la fase continua), que se forma entre gotitas vecinas y como resultado se forma una sola gota más grande.

La coalescencia es normalmente rápida cuando dos líquidos inmiscibles son agitados, ya que no existe una barrera energética que prevenga la fusión de las gotas por lo que nuevamente ocurre la formación de las dos fases originales.

Las macromoléculas como las gomas se han usado mucho como estabilizadores de emulsiones farmacéuticas y cosméticas provocando la formación de una película interfacial estable “piel protectora” alrededor de las gotitas que puede reducir la coalescencia dependiendo de la eficiencia del agente emulsificante.

#### 1.4.3.4 Ruptura de emulsión

Es un desequilibrio irreparable de la estructura química de la mezcla que da como resultado la pérdida total o parcial de sus propiedades fisicoquímicas y biológicas, causada por la pérdida del efecto emulsificante, esto es debido a que la película del emulsificante que envolvía los glóbulos se destruyó.

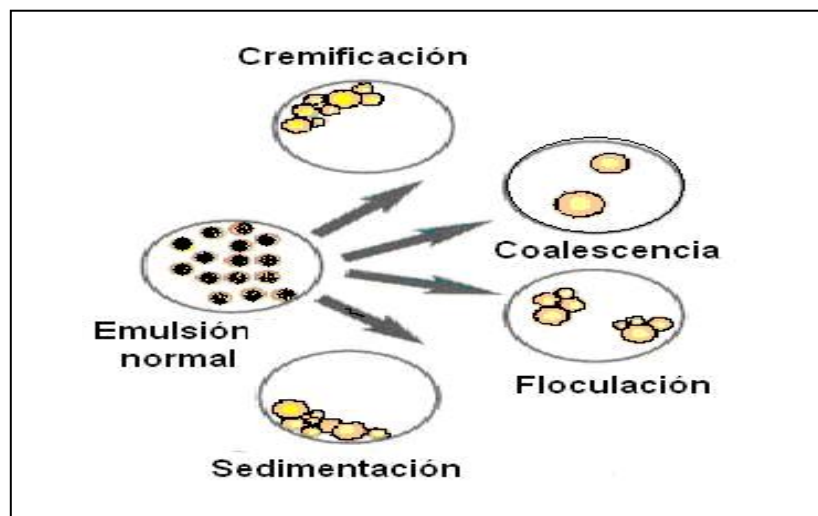


Fig.1. 2 Estabilidad de la emulsión

#### **1.4.4 Agentes emulsificantes o tensoactivos**

Se conocen como agentes emulsificantes a aquellos compuestos de tipo orgánico capaz de romper o modificar los fenómenos de contacto (tensión superficial) producidos en la superficie de separación entre un líquido y otro cuerpo o bien modificando la tensión interfacial que existe en los sistemas líquido –líquido o líquido -sólido.

Se caracteriza por poseer un grupo polar, un grupo hidrofílico, que se asocia con el agua; y un grupo no polar o hidrofóbico que no se asocia con el agua.

Las soluciones de tensoactivos resultan ser activas al colocarse en forma de capa monomolecular adsorbida en la superficie entre las fases hidrofílicas e hidrofóbicas. Las moléculas del tensóactivo se alinean ellas mismas en la interfase polar hidrofílica en la fase acuosa y en la no polar hidrofóbica en la fase aceite. Esta ubicación "impide" el tráfico de moléculas que van de la superficie al interior de líquido en busca de un estado de menor energía, disminuyendo así, el fenómeno de tensión superficial.

La tensión superficial es una propiedad de los líquidos que los distingue de los gases. La molécula en la superficie es atraída hacia el seno del líquido, mientras que la molécula en el interior es atraída en todos los sentidos.

La interacción entre el aire y el líquido es casi nula para las moléculas rodeadas de otras en continuo movimiento.

La fuerza actúa perpendicularmente a la superficie del líquido y esta dirigida hacia el seno de este es la tensión superficial

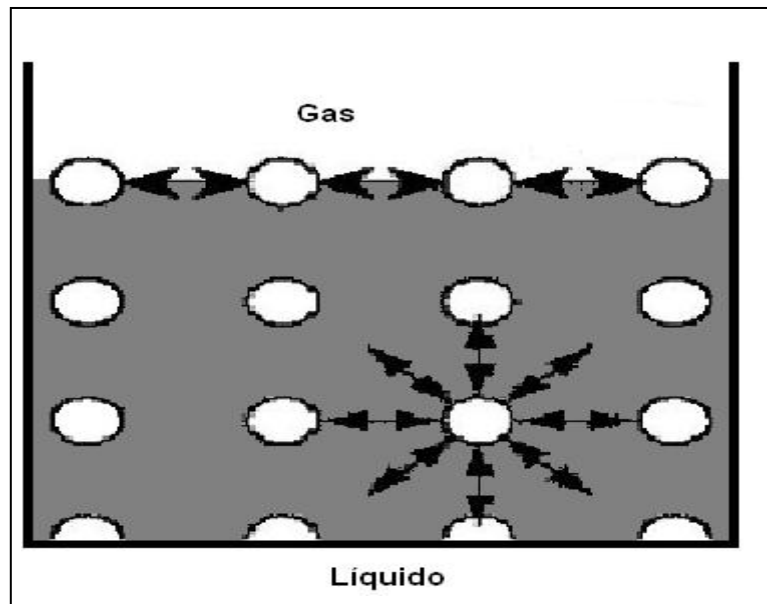


Fig.1.3 Tensión superficial

Algunos agentes realzan la estabilidad, impartiendo una carga en la superficie de la gotita que reduce así el contacto físico entre las gotitas y que disminuye el potencial para la fusión.<sup>23</sup> Algunos de los agentes emulsificantes comúnmente usados incluyen la goma de tragacanto, el sulfato láureo del sodio, el sulfosuccinato dioctil de sodio, y los polímeros conocidos como los palmos.

#### 1.4.5 Clasificación de los agentes emulsificantes

Los agentes emulsionados se pueden clasificar según:

- 1) Estructura química
- 2) Mecanismo de acción

Según la estructura química se dividen en sólidos sintéticos, naturales, finalmente dispersados y agentes auxiliares.

De acuerdo al mecanismo de acción se clasifican como: películas monomoleculares, multimoleculares y sólidas de la partícula.

Sin importar su clasificación, todos los agentes emulsionados deben ser químicamente estables en el sistema, inertes y químicamente no-reactivos con otros componentes de la emulsión, no tóxico, ni irritantes. Deben también ser de costos bajos y bastante inodoros.

#### **1.4.5.1 Agentes emulsificantes sintéticos**

##### **a) Aniónicos**

Se llaman así por que están formados por aniones, elementos que en la electrólisis se dirigen hacia el polo positivo o ánodo y por lo tanto en medio acuoso presentan carga negativa. Estos tensoactivos constituyen la base de los detergentes sintéticos y jabones ya que atraen con mayor eficacia la suciedad (carga positiva). Sin embargo tienen poca afinidad con la piel, lo que no impide que alteren la función de la barrera cutánea y en ocasiones provocan irritabilidad.

La gran ventaja de estos tensoactivos es la facilidad para producir espuma y espesarse, aspectos que el consumidor aprecia positivamente. La desventaja es que tienen una acción limitada en la separación y suspensión de partículas sólidas de la superficie cutánea.

## **b) No iónicos**

Sus moléculas no poseen grupos polares iónicos y como consecuencia, no presentan disociación iónica en soluciones acuosas.

Los emulsionantes no iónicos, al carecer de carga, brindan un mayor avance a la cosmética de higiene, pues alteran escasamente la función barrera cutánea. Aunque tienen serios problemas para conseguir una buena espumación y una adecuada viscosidad, presentan buena tolerancia pero proporcionan un escaso poder limpiador. Estas características permiten utilizarlos como estabilizadores de espumas y modificadores de la viscosidad.

## **c) Anfóteros**

Son moléculas que presentan cargas positivas o negativas dependiendo del pH del medio, pues poseen dos grupos polares en la molécula, un catión y un anión. A pH ácido se comportan como cationicos y a pH básico se comportan como aniónicos.

Si en una formulación se utilizan solamente tensoactivos anfóteros, lograremos una buena tolerancia cutánea, pero una escasa actividad espumante y detergente.

## **d) Catiónicos**

Su grupo hidrófilo es un catión que al disociarse se carga positivamente, proporcionando gran afinidad y sustentividad cutáneas y una limitada capacidad detergente. Generalmente

derivan de sales de amonio cuaternario y su capacidad neutralizante y acondicionadora dependerá del volumen y el número de sustituciones en la estructura iónica, de tal forma que los tensoactivos catiónicos más eficientes e inocuos, presentan por lo general tres sustituciones muy voluminosas ó importantes en la estructura del amoniaco y los menos eficaces e irritantes son monosustituidos y contienen moléculas de escaso peso molecular.

#### **1.4.5.2 Agentes emulsificantes naturales**

Una variedad de emulsores son productos naturales derivados del tejido fino de la planta o animal. La mayoría de los emulsores forman los coloides hidratados (llamados hidrocoloides) los cuales ejercen un efecto de coloide protector, reduciendo el potencial para la fusión; sus funciones son:

- Abastecer de una envoltura protectora alrededor de las gotitas.
- Impartir una carga a las gotitas dispersadas (de modo que se rechacen).
- El hincharse para aumentar la viscosidad del sistema, de modo que las gotitas tengan menor posibilidad de combinarse.

Los emulsores hidrocoloideos se pueden clasificar como:

- Derivados vegetales: acacia, tragacanto, agar, pectina, lecitina.
- Derivados animales: gelatina, lanolina, colesterol.
- Agentes semisintéticos: metilcelulosa, carboximetilcelulosa.
- Agentes sintéticos: Carbopols®

Los hidrocoloides de la plantas tienen la ventaja de ser baratos, fáciles de manipular, y no son tóxicos. Sus desventajas son que requieren cantidades relativamente grandes para ser eficaces como emulsores, y están propensas a crecimiento microbiano y sus formulaciones requieren así un preservativo. Los derivados vegetales se limitan generalmente para utilizar como emulsores de o/w.

#### **1.4.5.3 Los agentes semisintéticos**

Son emulsores más fuertes, no son tóxicos, y son menos susceptibles a desarrollar crecimiento microbiano.

#### **1.4.5.4 Hidrocoloides sintéticos**

Son los emulsores más fuertes, no son tóxicos, y no favorecen el crecimiento microbiano. Sin embargo, su costo puede ser elevado. Estos agentes sintéticos se limitan generalmente a ser utilizados como emulsores de o/w.

#### **1.4.5.5 Emulsores sólidos finamente divididos o finamente dispersados de la partícula**

Estos agentes forman una capa de partículas alrededor de partículas dispersadas. La mayoría se hincharán en el entorno de dispersión para aumentar la viscosidad y para reducir la interacción entre las gotitas dispersadas. Favorecen la formación de las emulsiones de o/w, pero algunos pueden apoyar sin emulsiones. Estos agentes incluyen la bentonita, el hidróxido de magnesio, el hidróxido de aluminio y el trisilicato del magnesio.



#### **1.4.5.6 Agentes emulsificantes auxiliares**

Una variedad de ácidos grasos (e.g., ácido esteárico), los alcoholes grasos (e.g., alcohol cetílico), y los ésteres grasos (e.g., Estereato de glicerido) sirven para estabilizar emulsiones por su capacidad de espesar la emulsión. Porque estos agentes tienen solamente características de emulsiones débiles, siempre se usan conjuntamente con otros emulsores.

#### **1.4.6 Sistema HBL** <sup>[11, 24,26]</sup>

De las diversas propiedades de los emulsivos, una de las más importantes es el equilibrio hidrófilo-lipófilo. Esta es una expresión de atracción simultánea relativa de un emulsivo con respecto al agua y al aceite.

El sistema fue desarrollado por W.C. Griffin y que denominó balance hidrófilo-lipófilo (HBL). Este se basa en el concepto de que todo tensóactivo contiene en su molécula una parte hidrofílica y otra lipofílicas.

El equilibrio hidrófilo-lipófilo de un emulsivo determina el tipo de emulsión que tiende a ser formada.

El HBL es el número que resulta de la división entre un factor arbitrario 5. Así, si un emulsionante no iónico fuera 100% hidrofílico, tendrá un valor HBL de 100/5.

Por lo tanto la escala HBL va de 0 a 20 y podemos esperar que si un emulsor tiene un número bajo de HBL, hay un número bajo de

grupos hidrofílicos en la molécula y tendrá más de un carácter lipofílico.

El número más alto de HBL indicaría que el emulsor tiene una gran cantidad de grupos hidrofílicos en la molécula y por lo tanto debe ser más hidrofílico en carácter.

## **2 FUNDAMENTOS REOLÓGICOS**

La reología se define como el estudio de la deformación y flujo de la materia; esto significa como un material responde a una fuerza y la manera en que ese material se deforma o fluye como respuesta a este tratamiento.

Desde el punto de vista reológico, la respuesta de un material a una fuerza aplicada, puede dividirse en dos formas extremas: la deformación puramente elástica de un sólido y el flujo puramente viscoso de un líquido

### **2.1 Sólido de Hooke**

Un material elástico ideal o sólido de Hooke, se deforma elásticamente, es decir la energía requerida para la deformación es recuperada totalmente una vez que se haya retirado el esfuerzo, carece de viscosidad, estructura y es isotrópico (exhiben propiedades idénticas en todas direcciones).

La interacción de las fuerzas es totalmente reversible. Comúnmente es utilizado un resorte en espiral de metal para simbolizar un cuerpo ideal.

La ecuación constitutiva es en este caso:

$$\sigma = E \cdot e$$

(2.1)

Donde  $\sigma$  es el esfuerzo aplicado en una dirección,  $e$  significa la elongación en esa dirección y  $E$  una constante de proporcionalidad característica de cada cuerpo elástico denominado modulo de Young.

Para ciertos cuerpos sólidos, la relación entre esfuerzo y deformación es lineal y en un gráfico estaría representado por una recta que pasa por el origen hasta el llamado límite de elasticidad.

Para sólidos elásticos ideales, al aplicarle un esfuerzo el material se deforma independientemente del tiempo, una vez que el esfuerzo es suspendido, el material recupera instantáneamente su forma original; en otras palabras un sólido Hookeano no queda deformado y se recupera al 100%, es representado por un resorte (Fig. 2.1).

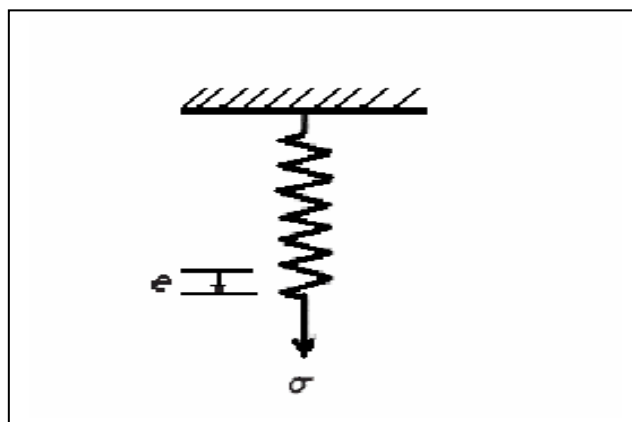


Fig.2.1 Modelo del sólido de Hooke

## 2.2 Fluido newtoniano

En un comportamiento viscoso ideal se muestra una proporcionalidad directa entre esfuerzo de corte ( $\tau$ ) y velocidad de deformación (velocidad de cizalla). A la constante de proporcionalidad se le denomina coeficiente de viscosidad.

El elemento mecánico que muestra un comportamiento viscoso es un amortiguador o pistón que se mueve dentro de un cilindro lleno de un líquido perfecto, es decir, incompresible y de viscosidad lineal, de forma que existe un pequeño espacio entre ambos y el líquido puede pasar de un lado a otro del pistón. Cuando se le aplica un esfuerzo al pistón, éste se mueve debido a que el líquido pasa de una parte a otra del pistón. De hecho, el líquido sufre un cizallamiento al atravesar el pequeño espacio entre el pistón y el cilindro, y la velocidad a la que pasa es función del esfuerzo aplicado. La Fig. 2.2 muestra la analogía mecánica.

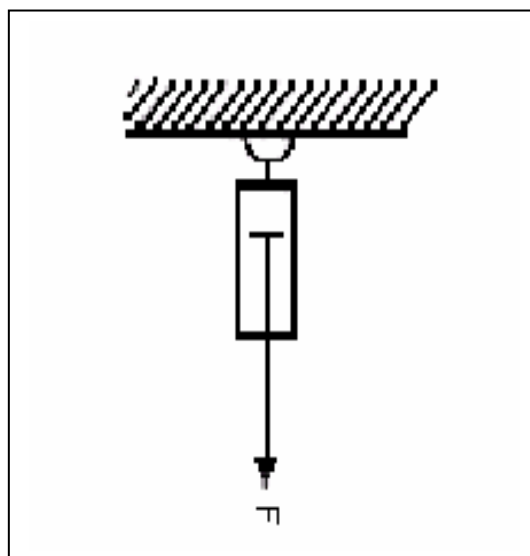


Fig. 2.2 Modelo del Fluido newtoniano

El líquido newtoniano ideal carece de propiedades elásticas; es incompresible, isotrópico y como el sólido de Hooke, es irreal.

Un fluido newtoniano es aquel cuya relación esfuerzo de corte vs. gradiente de deformación es lineal y su viscosidad es constante, independientemente del esfuerzo de corte al cual es sometido un fluido. Se deforma irreversiblemente es decir fluyen y cambian de posición. Se disipa la energía de deformación al ambiente normalmente en forma de calor y el material no recupera su posición original cuando las fuerzas externas se alejan.

En este caso, la ecuación constitutiva es:

$$\tau = \eta \dot{\gamma}$$

(2.2)

Donde  $\eta$  es la viscosidad y  $\dot{\gamma}$  es la velocidad de deformación por cizalla ( $\dot{\gamma} = \gamma/t$ , siendo  $t$  el tiempo) y  $\tau$  el esfuerzo de cizalla (un punto encima del signo indica un parámetro y suele indicar velocidad de ese parámetro).

El comportamiento Newtoniano es típico de los líquidos y la viscosidad, un término del lenguaje común, expresa la dificultad que un líquido opone a fluir y es lo contrario de su fluidez.

La reología provee las herramientas para entender estos comportamientos diferentes. La figura 2.3 muestra un fluido sometido a una deformación simple entre dos platos paralelos. El plato inferior es estacionario, mientras que el plato superior se mueve a una velocidad  $\mathbf{v}$  como consecuencia de una fuerza  $\mathbf{F}$  aplicada al mismo.

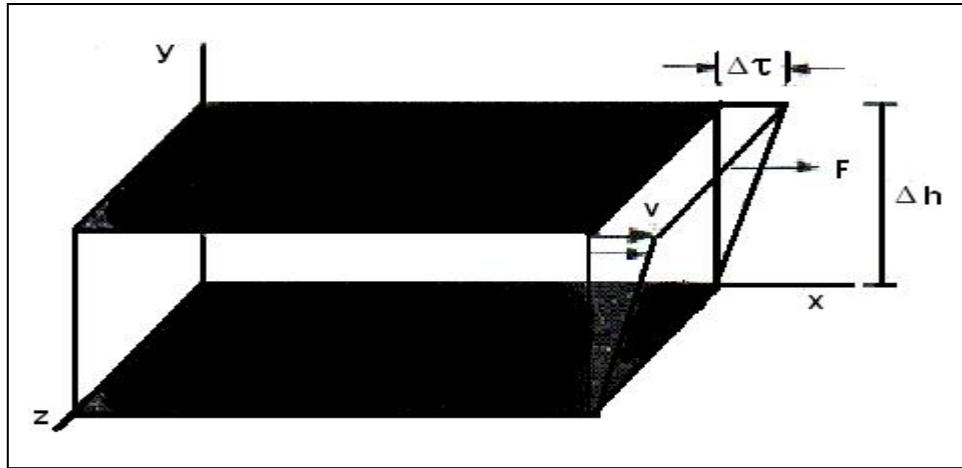


Fig. 2.3 Definición del flujo newtoniano

El movimiento del plato establece un gradiente de velocidad en el fluido. Esta geometría puede ser usada para definir algunos parámetros reológicos tales como: esfuerzo de corte, velocidad de cizalla, viscosidad, viscosidad aparente.

### 2.3 Esfuerzo de corte o cizalla ( $\tau$ )

Es la fuerza por unidad de área aplicada paralelamente al desplazamiento (cortante). Tiene unidades de fuerza dividido por la superficie, Las unidades de esta magnitud son Newton/m<sup>2</sup> o Pas (pascales).

$$\tau = \frac{F (\text{Fuerza})}{A (\text{Área})} = \frac{\text{Newton}}{m^2} \quad (2.3)$$

## 2.4 Velocidad de Corte o Cizalla ( $\gamma$ )

La velocidad de corte es el cambio de velocidad  $v$  a través de la distancia  $h$  entre los dos platos. Las unidades son 1/segundo. La velocidad de corte se incrementa a medida que la velocidad del plato superior aumenta y la distancia entre los dos platos se hace más pequeña.

$$\gamma = \frac{dv}{dh} = \frac{cm / s}{cm} = s^{-1} \quad (2.4)$$

El fluido entre los platos resiste el movimiento del plato superior y esta resistencia al flujo es determinada por la viscosidad del fluido ( $\eta$ ).

## 2.5 Viscosidad ( $\eta$ )

La viscosidad es la relación entre el esfuerzo de corte aplicado y la velocidad de corte adoptada por el fluido. Las unidades que se utilizan en el sistema internacional para esta propiedad son Pascal por segundo.

$$\eta (\text{Viscosidad}) = \frac{\tau (\text{Esfuerzo de corte})}{\dot{\gamma} (\text{Velocidad de corte})} = \text{Pas} \cdot \text{s} \quad (2.5)$$

## 2.6 Viscosidad aparente ( $\eta_{ap}$ )

Se le denomina viscosidad aparente la razón entre el esfuerzo de corte y la velocidad de corte cuando este cociente es dependiente de la velocidad o del corte,<sup>16</sup> (fig.2.4) donde se ve que a medida que



la velocidad de corte aumenta, la pendiente de la línea de viscosidad aparente disminuye indicando una disminución en la misma.

$$\eta_{ap} = [\dot{\gamma}]^{n-1} \quad 2.6$$

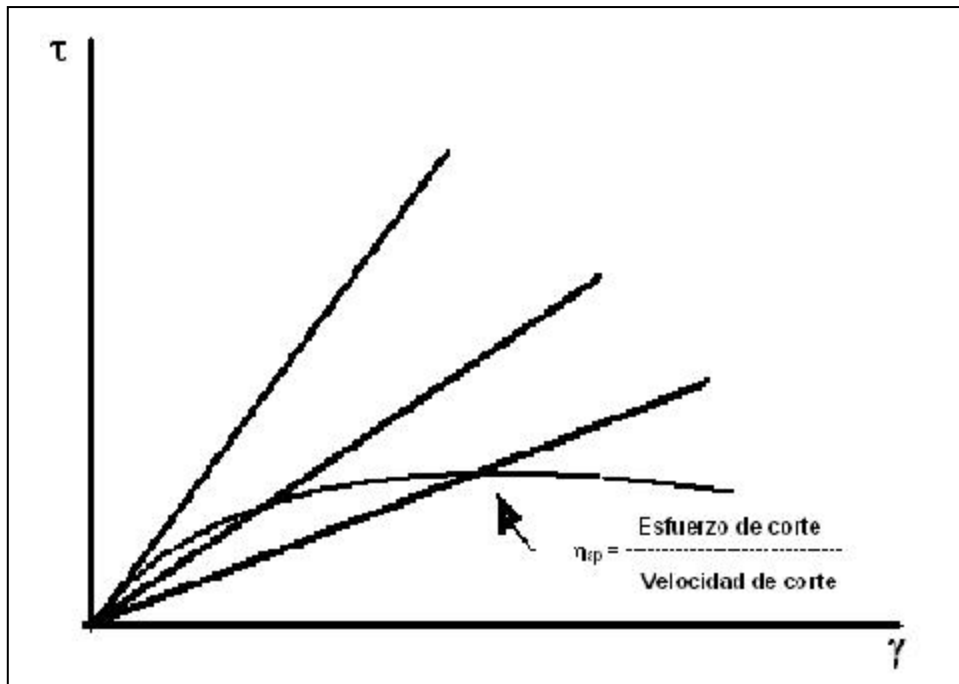


Fig. 2.4 Gráfico de viscosidad aparente

Reológicamente los materiales se pueden comportar como un sólido o un líquido para ello se recurre al número de Deborah

### 2.7 Número de Deborah

Para clasificar el tipo de materiales, recurrimos a un parámetro adimensional denominado número de Deborah<sup>25</sup> (D), que es el cociente entre el tiempo de relajación del sistema ( $t_r$ ) y el tiempo de observación ( $t_e$ ).

$$D = \frac{t_r}{t_e} \quad (2.7)$$

Según este parámetro, los sistemas se ajustan a:

$D > 1$ : Deformación elástica .El material se comporta como un sólido

$D < 1$ : Flujo viscoso el material se comporta como un líquido

$D = 0$  : Respuesta viscoelástica

Los fluidos no importa cuan viscosos sean, serán el producto del esfuerzo mas pequeño. Los sólidos no importa que tan plásticos sean requieren una cierta magnitud de esfuerzo antes de empezar a fluir.

## **2.8 Fluidos no newtonianos**

Los fluidos no newtonianos tienen un comportamiento reológico independiente del tiempo, a diferencia de los líquidos no newtonianos cuyo comportamiento es dependiente del tiempo (cuerpos tixotrópicos los más frecuentes). Los primeros son aquellos en que a una temperatura constante, su viscosidad depende únicamente del esfuerzo de corte a la velocidad de corte.

### **2.8.1 Fluidos no newtonianos independientes del tiempo**

#### **2.8.1.1 Fluidos pseudoplásticos**

Los fluidos pseudoplásticos (fluidificante) muestran una relación no lineal entre esfuerzo de corte y velocidad de corte esto quiere decir que cuando el fluido se somete a altas velocidades de corte la viscosidad disminuye por eso son menos espesos que cuando se cizalla lentamente.

La viscosidad aparente depende en ellos de la velocidad de deformación por cizalladura, pero no del tiempo durante el que están sometidos a la tensión cizallante.

Los fluidos pseudoplásticos agrupan a la mayoría de los fluidos no newtonianos. Responden a la ley de la potencia: <sup>13</sup>

$$\tau = K \dot{\gamma}^n \quad n < 1. \quad (2.8)$$

Algunos ejemplos son: los mucílagos de gomas naturales, y la dispersión de derivados celulosos de alginato de sodio.

### 2.8.1.2 Fluidos dilatantes

Los fluidos espesantes al corte o dilatantes, presentan un fenómeno de espesamiento independiente del tiempo en donde la viscosidad aumenta cuando el gradiente de deformación aumenta (lo contrario que ocurre en la pseudoplaticidad). La gráfica no es lineal para valores de  $(\tau \text{ y } \dot{\gamma})$  están unívocamente relacionados.

Como se mencionó los fluidos dilatantes y pseudoplásticos no siguen una ley lineal, sino que el esfuerzo y la deformación están relacionados por una ecuación más compleja. En ambos casos se representa por la ley de potencia:

$$\tau = K \dot{\gamma}^n \quad n > 1. \quad (2.9)$$

Es decir, la deformación por cizalla es proporcional al esfuerzo de cizalla elevado a una potencia, n, que puede ser o no un número entero.

**K** y **n** son parámetros del modelo de flujo. K se denomina “índice de consistencia” mientras que n es el “índice de flujo”.

Para los fluidos pseudoplásticos se cumple que  $n < 1$ , mientras que  $n > 1$  ocurre para los dilatantes.

La ley de la potencia representa al fluido newtoniano cuando  $n = 1$ .

### **2.8.1.3 Fluido de Bingham**

Flujo de Bingham o plástico son líquidos pseudoplásticos los cuales además presentan un punto de cedencia. La mayoría de ellos son dispersiones, los cuales estando en reposo pueden construir redes intermoleculares, también fuerzas de atracción secundaria como son los enlaces polares o fuerzas de Van der Waals.

La presencia de un umbral de flujo indica que el producto no puede fluir más allá de cierto valor de esfuerzo aplicado. Cuando se aplica la fuerza necesaria para vencer las fuerzas de la red se colapsara convirtiendo irremediabilmente a la sustancia de carácter sólido en un líquido fluido, algunos ejemplos son: la pasta de dientes, la mayonesa, algunas grasas etc.

La ecuación matemática para este fluido es:

$$\tau = \tau_0 K \dot{\gamma} \quad (2.10)$$

Donde  $\tau_0$  es el esfuerzo de corte necesario para iniciar el flujo.

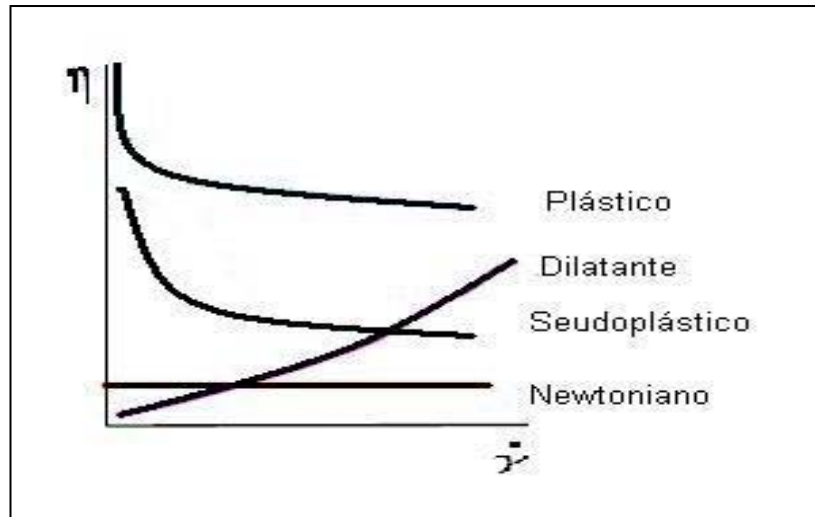


Fig. 2.5 Fluidos no newtonianos y newtonianos

## 2.8.2 Fluidos no newtonianos dependientes del tiempo

Los fluidos no newtonianos dependientes del tiempo se clasifican en tixotrópicos y reopécticos.

En este tipo de fluidos los parámetros reológicos y la viscosidad aparente varían a medida que transcurre el tiempo respecto del momento en el que se inicio la aplicación de esfuerzo cortante.

La viscosidad aparente disminuye al aumentar tanto el tiempo de aplicación del esfuerzo cortante como su intensidad.

### 2.8.2.1 Fluidos tixotrópicos

La tixotropía ocurre muy frecuentemente en sistemas dispersos y puede definirse como la transformación isotérmica reversible sol  $\rightarrow$  gel y es un comportamiento común en geles alimenticios, pomadas farmacéuticos y cosmetológicas.

La tixotropía es un efecto de una acción mecánica y el resultado da la disminución de la viscosidad aparente en función del tiempo, esto se debe a que en muchas dispersiones no solo ocurre una orientación de partículas sino que además tengan una interacción de tipo partícula-tiempo. Esto dará uniones, las cuales formara redes con estructuras tridimensionales llamadas geles.

Estas uniones son normalmente puentes de hidrogeno o fuerzas electrostáticas, son muy débiles, las cuales se rompen cuando son sometidas a esfuerzos durante periodos prolongados de tiempo.

Cuando la red es perturbada la viscosidad caerá con el tiempo hasta que alcanza asintóticamente el menor valor posible para un esfuerzo de corte constante. Cuando la velocidad de deformación desciende el producto se espesa lentamente hasta asumir su comportamiento original.

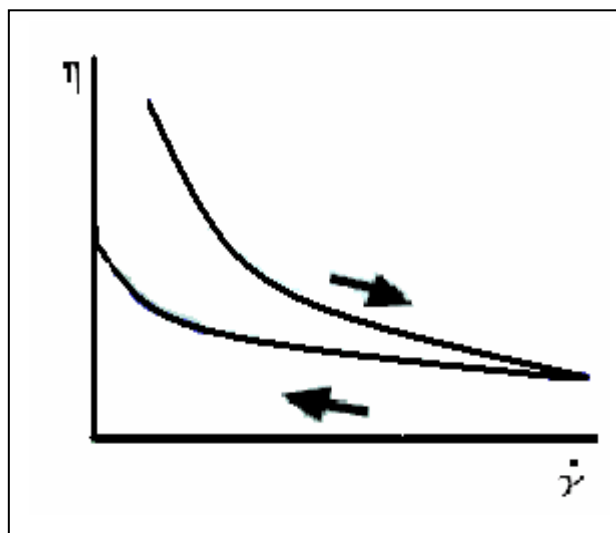


Fig. 2.6 Representación grafica de un fluido tixotrópico

### 2.8.2.2 Antitixotropía o reopecticidad

La reopectia es un fenómeno inverso a la tixotropía por que a una temperatura y gradiente de deformación constante presenta un aumento en el esfuerzo de corte y en la viscosidad con respecto al tiempo, por lo que es igualmente necesario un riguroso control del tiempo en las determinaciones.<sup>17</sup> Se debe de tener cuidado, ya que muchas veces pueden aparecer comportamientos reopecticos que no lo son y este efecto puede ser causado por la evaporación del solvente.

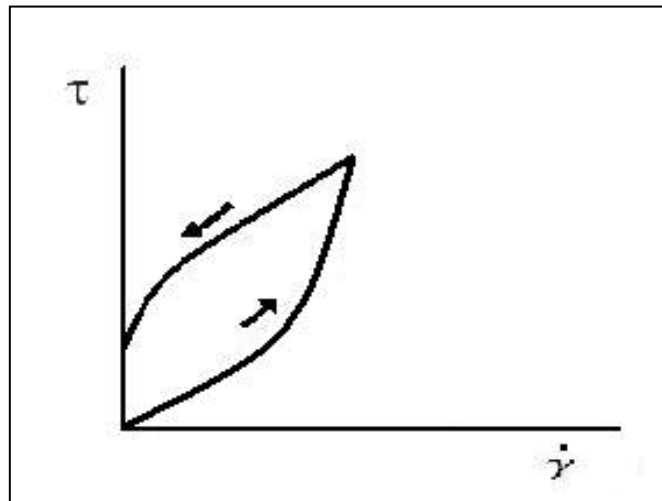


Fig. 2.7 Representación grafica de un fluido reopectico

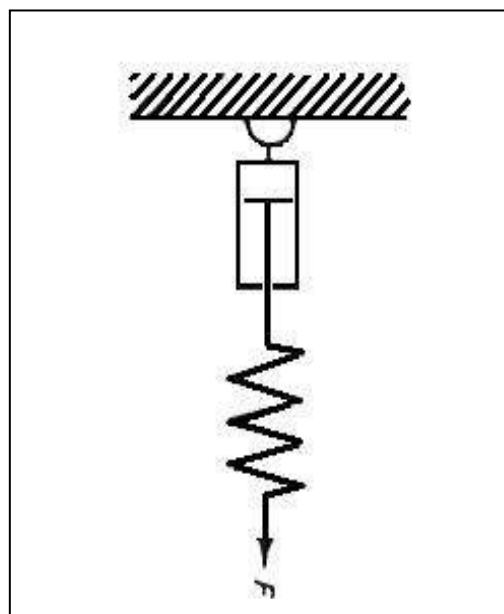
### 2.9 Sustancias viscoelásticas

En la naturaleza difícilmente se encuentran cuerpos que tienen un comportamiento elástico o viscoso puros. Ciertos cuerpos combinan las propiedades de viscosidad y elasticidad y son llamados materiales viscoelásticos<sup>8</sup>, por tanto, se caracterizan por mostrar un flujo viscoso combinado con deformación elástica cuando son sometidos a un esfuerzo. Esta propiedad la presentan todos los

materiales poliméricos y muchos sistemas dispersos, suspensiones coloidales y emulsiones, los cuales tienen un comportamiento y propiedades dependientes del tiempo, que se ven reflejados en los fenómenos de deslizamiento y de relajación; es decir, en estos cuerpos la deformación y la recuperación no ocurre de manera instantánea y presenta características tanto de líquidos como de sólidos cuando se les somete a esfuerzos o deformaciones pequeñas; el comportamiento sólido se presenta en tiempos cortos y el líquido en tiempos largos. El comportamiento de las sustancias viscoelásticas se pueden representar con base en diferentes modelos reológicos.

### 2.9.1 Modelo de Maxwell

Un líquido viscoelástico se representa por medio de un amortiguador y un resorte acoplado en serie y es conocido como modelo de Maxwell.



En el modelo Fig. 2.8 Modelo de Maxwell para líquidos



viscoelásticos de Maxwell; el material admite una cierta cantidad de deformación elástica, que desaparecerá al quitar el esfuerzo, y una deformación de tipo viscosa que será permanente. Los materiales viscoelásticos son esencialmente líquidos y para un esfuerzo dado la deformación puede alcanzar cualquier valor, dependiendo del tiempo de aplicación. Esto es consecuencia del émbolo en la analogía mecánica. Sin embargo, no son líquidos perfectos puesto que tienen un cierto comportamiento elástico, condicionado en el modelo por el resorte.

Si una vez alcanzado un cierto valor de la deformación, ésta se mantiene constante, el esfuerzo se disipa gradualmente hasta desaparecer: si una vez alcanzada una cierta elongación, se fijase el extremo exterior del resorte, éste se acortaría hasta su longitud inicial mientras el cilindro se alargaría para suplir el acortamiento del resorte. El tiempo en el que esto sucede, durante el cual existen esfuerzos en el interior del sistema que van decreciendo progresivamente hasta anularse, se denomina tiempo de relajación<sup>5</sup>

### **2.9.2 Modelo de Kevin-Voigt**

El modelo de Kevin-Voigt representa un material sólido viscoelástico que está compuesto por dos elementos dispuestos en paralelo; la parte elástica (resorte) y viscosa (amortiguador). Cuando un cuerpo de esta naturaleza es sometido a una carga, el elemento viscoso retarda la deformación elástica (el estiramiento del resorte es moderado por el amortiguador). De no haber participado el elemento viscoso la deformación hubiera sido instantánea (debido a que existe un poco de deformación por la presencia del amortiguador). Por este motivo la deformación de un cuerpo

viscoelástico es una función del tiempo y la recuperación de la deformación, que es una propiedad elástica, también es dependiente del tiempo.

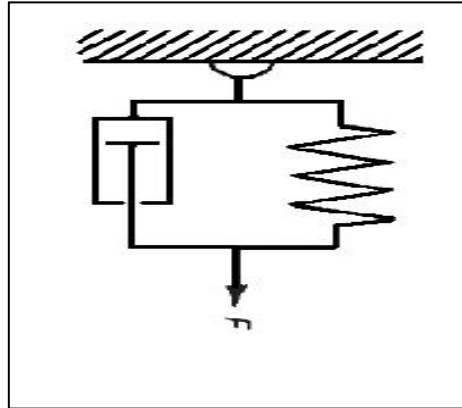


Fig. 2.9 Modelo de Kelvin-Voigt

### 2.9.3 Modelo de Burger

La combinación de ambos modelos en serie da como resultado un nuevo modelo que se le conoce como cuerpo de Burger. Estos cuerpos resultan de la combinación en paralelo de los cuerpos Kelvin y Maxwell (Fig.2.10). Las ecuaciones constitutivas son complejas porque requieren de dos diferentes viscosidades y de dos coeficientes de rigidez, que corresponden a cada uno de los referidos cuerpos. No es el objeto de este trabajo profundizar sobre este tema. Las diferencias entre estos tres tipos de cuerpos descritos no son tan marcadas en la práctica y su identificación no es sencilla. Por esta razón, el término viscoelástico es utilizado en forma genérica y con un sentido muy amplio y el modelo que más se acerca la realidad y resume las características de los otros dos es el cuerpo Burger.



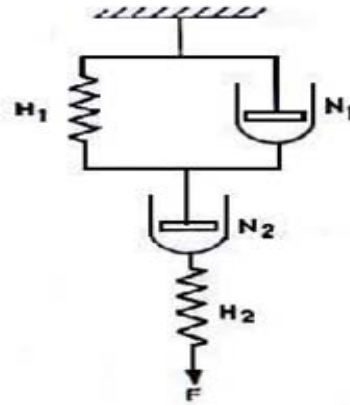


Fig. 2.10 Modelo de Burger

## 2.10 Aparatos de medición

Existen un gran número de instrumentos disponibles para medir las propiedades reológicas, y muchos de ellos se usan con propósitos de control de calidad para la medición de una sola propiedad específica. Las medidas de viscosidad se realizan con aparatos denominados viscosímetros o reómetros.

### 2.10.2 Reómetros <sup>[9, 10, 12, 15, 19,20]</sup>

El término se reserva para aparatos más complejos que funcionan de forma automatizada y sólo requieren saber la selección del programa adecuado para el tipo de fluido y rango que se desea medir. Son capaces de explorar un amplio intervalo de esfuerzos cortantes y velocidades de corte, así como de registrar variaciones de los parámetros reológicos con el tiempo.

Los reómetros funcionan provocando un flujo del material experimental y midiendo el esfuerzo generado o viceversa. Puesto

que el volumen o espesor del material experimental tiene un espesor finito, en el seno del material se produce un perfil de velocidad, y no un único  $\sigma$  que se corresponda con el  $\gamma$  fijado, la relación entre  $\tau$  y  $\gamma$  no se obtiene de forma inmediata, sino que se requiere el conocimiento previo del modelo de flujo.

Los reómetros pueden ser clasificados por el fundamento en el que basa la medida, que puede ser el originar un flujo mediante una presión conocida (viscosímetros de flujo) originando un movimiento circular en el interior de un receptáculo (viscosímetros rotacionales).

### **2.10.2.1 Reómetros rotatorios**

Varios tipos de reómetros son ampliamente utilizados en la industria: el de geometría cono y plato, el de cilindros concéntricos y el de platos paralelos. Estos instrumentos miden la viscosidad aparente mediante el registro de la fuerza de torsión (torque), transmitido a través del líquido, a diferentes velocidades de corte. También pueden medir la deformación de los geles, provocando por un esfuerzo constante o movimientos oscilatorios, en las pruebas dinámicas y de deslizamiento de estos. Con los datos obtenidos por los viscosímetros se construyen curvas de flujo o reógramas de los cuales es posible obtener parámetros reológicos característicos de cada muestra ( $\eta$ ,  $k$ ,  $\tau_0$ ,  $\eta$ , etc.).

### **2.10.2.2 Geometría cono y plato.**

La geometría cono y plato es uno de los diseños más populares pues este aplica una velocidad de corte uniforme a toda la muestra, caso muy diferente al de geometría de platos paralelos que presenta una variación de velocidad de corte en la dirección radial. El ángulo entre el plato y la superficie del cono es muy pequeña ( $\alpha < 2^\circ$ ) y la muestra se coloca en un pequeño espacio (gap). La curva de flujo puede construirse de las mediciones de torque requeridas para rotar el cono a varias velocidades; la velocidad de corte a través del espacio cónico debe considerarse constante y está dada por:

$$\dot{\gamma} = \Omega / \alpha \quad (2.11)$$

Donde  $\Omega$  es la velocidad angular (radianes/seg.) del cono.

El esfuerzo cortante debe determinarse del torque aplicado al plato estacionario con la siguiente ecuación:

$$\tau = 3M / 2\pi r^3 \quad (2.12)$$

Donde M es el torque y r es el radio del plato.

La mayor ventaja de la geometría es que la velocidad de corte es constante a través del espacio de la muestra con ángulos de cono pequeños, además se requiere, es fácil de limpiar y se puede controlar la temperatura.



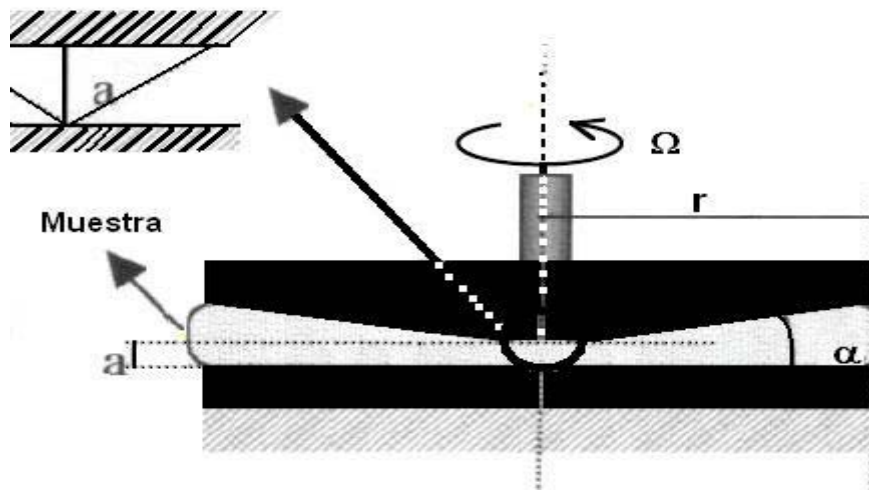


Fig. 2.11 Viscosímetro cono y plato

### 2.10.2.3 Geometría de cilindros concéntricos

La geometría de cilindros concéntricos es, probablemente la más usada para mediciones de flujo de baja y media viscosidad.

Las curvas de flujo se construyen midiendo la velocidad angular del cilindro rotatorio y del torque aplicado al cilindro estacionario. Si el cilindro externo gira, entonces el esfuerzo cortante en la superficie del cilindro interno está dada por:

$$\tau = M / 2\pi r_1^2 h \quad (2.13)$$

Donde  $r_1$  es el radio y  $h$  la altura del cilindro interno. El torque del cilindro externo puede medirse, y el esfuerzo cortante se determina con la misma ecuación pero sustituyendo  $r_1$  por  $r_2$ , que es el radio del cilindro externo; sin embargo el mejor diseño es el anterior por que así se evita un flujo secundario que puede provocar una velocidad alta de fluido, cerca del cilindro interno. Dada la diferencia

de radios, el esfuerzo cortante y la velocidad de corte no son constantes a través del espacio de la muestra, aunque este problema se minimiza conservando la relación de radios.

En este ultimo caso, la velocidad de corte deberá ser aproximadamente:

$$\dot{\gamma} = r_a \Omega / r_2 - r_1 \quad (2.14)$$

Donde  $r_a$  es un promedio de  $r_1$  y  $r_2$ . Este pequeño espacio es deseable solo para fluidos homogéneos y suspensiones finas. Una desventaja es que tiene alta inercia y dificultad para la limpieza del equipo.

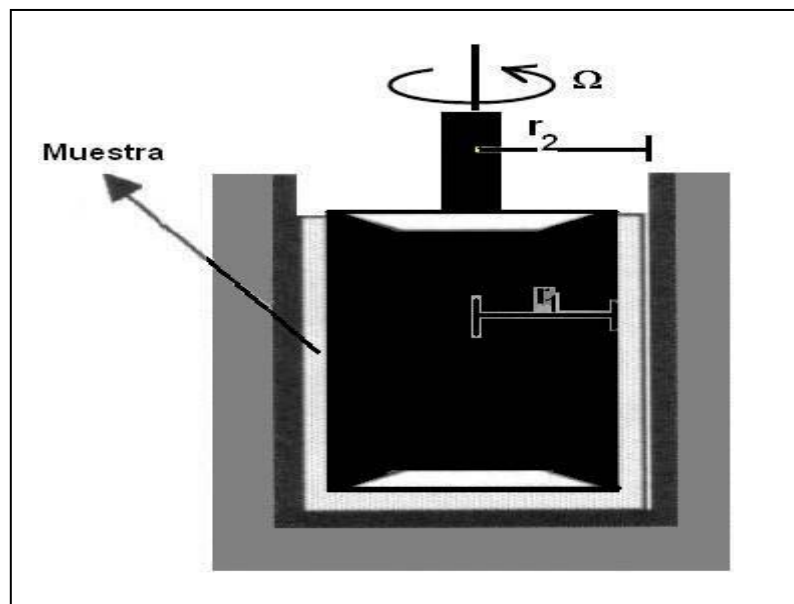


Fig. 2.12 Viscosímetro de cilindros concéntricos

#### 2.10.2.4 Geometría de platos paralelos

La geometría de platos paralelos es parecida a la de cono y plato pero en lugar de un cono tiene otro plato de igual diámetro, entre los cuales se coloca la muestra. Cuando un plato gira a una velocidad angular constante, la velocidad de corte varía de cero, en el centro del plato, a un máximo, en el extremo del plato según la ecuación:

$$\dot{\gamma}_{\max} = r\Omega / h \quad (2.15)$$

Donde h es la distancia entre dos platos y r es el radio de los mismos. Debido a que solo se puede medir el torque total, el esfuerzo cortante y la viscosidad de un fluido requieren de conocer la dependencia funcional del torque en  $\dot{\gamma}_{\max}$ .

Esto se muestra por la siguiente ecuación que relaciona el esfuerzo cortante en el radio exterior del plato ( $\tau_{\max}$ ), al torque M y a  $\dot{\gamma}_{\max}$ .

$$\tau_{\max} = 3M / 2\pi r^3 [1 + (1/3)(d \ln M / d \ln \dot{\gamma}_{\max})] \quad (2.16)$$

Experimentalmente, la derivada se determina con una serie de mediciones de M vs.  $\dot{\gamma}_{\max}$ , variando la velocidad angular. El valor de la derivada se toma como la pendiente de una grafica ln-ln a la velocidad de corte correspondiente  $\dot{\gamma}_{\max}$ .

Debido al número de mediciones y cálculos, este instrumento no es muy usado en mediciones de corte constante. Sin embargo, como la separación entre platos es variable, este instrumento proporciona



flexibilidad para dispersiones gruesas, puede ampliarse el rango de velocidad de corte y hacerse pruebas muy rápidas.

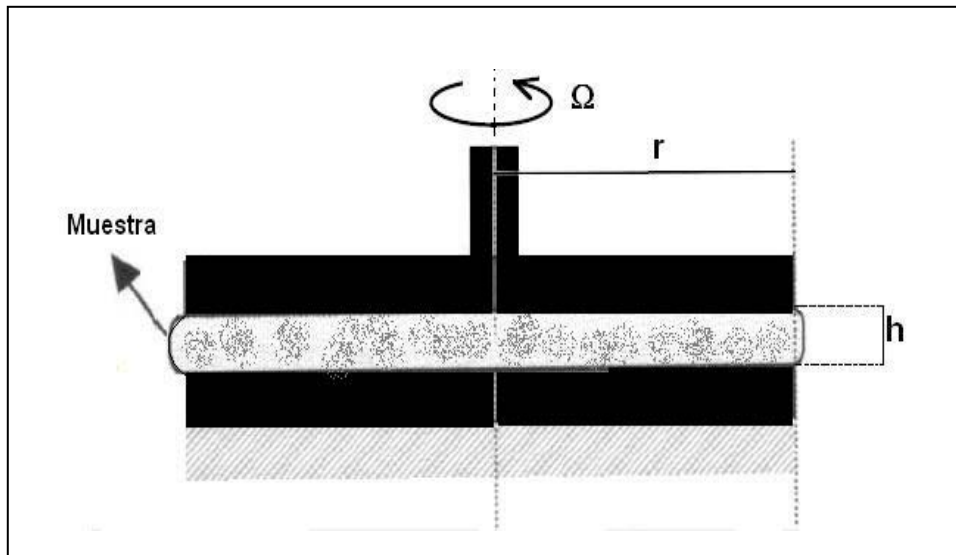


Fig. 2.13 Viscosímetro de platos paralelos

## 3 MATERIALES Y METODOS

### 3.1 Material, equipo y reactivos

Reómetro (Rheolab paarphysica MC 120)

Geometría MK 24

Pipeta volumétrica de 5 mL.

Probetas 10, 25,50 ml.

Parrilla con base de porcelana

Varilla agitadora

Vasos de precipitado de 50 ml.

Vasos de precipitado de 100 ml.

Envases de plástico P.E.T con tapadera (100ml)

Baño para reómetro

Alcohol etílico (grado analítico)

Glicerina (grado industrial)

Aceite mineral (grado industrial)

Goma de tragacanto

Agua desionizada



Fig. 3.1 Reómetro Rheolab paarphysica MC 120

## 3.2 Metodología

### 3.2.1 Preparación de la crema

a).- Mezclar el alcohol etílico, la glicerina y el aceite mineral a 40 C en un vaso de precipitado, con agitación constante durante 5 minutos.\*

b).- Agregar lentamente 2.5 g. de la goma de tragacanto en la mezcla, sin interrumpir la agitación.

c).- Después de 5 minutos, adicionar el agua desionizada, continuar agitando hasta obtener una mezcla homogénea.

d).- Dejar enfriar la emulsión cosmética y vaciarla en un frasco perfectamente limpio de plástico P.E.T de 100 mL.

Formulaciones	10	91	82	73	64	55	46	37	28	19	00
Glicerina**(mL)	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Aceite mineral**(mL.)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Goma tragacanto(g.)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Alcohol etílico (mL.)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Agua desionizada(mL)	32.5	32.5	32.5	32.5	32.5	32.5	32.5	32.5	32.5	32.5	32.5

Tabla 3.1 Formulaciones de los 11 sistemas

Para hacer mas fácil la identificación de las cremas se implementó el siguiente sistema: en la tabla 3.1 se presentan las 11 formulaciones de las cuales tomamos el número de formulación para identificarla, el primer dígito representa los mililitros de aceite mineral añadidos y el segundo los mililitros de glicerina, a excepción de las formulaciones 10 y 00, la primera contiene 10 mililitros de glicerina y no contiene aceite mineral; y la segunda es el otro extremo que sólo contiene 10 ml aceite mineral. Las cremas se trabajaron a una temperatura de  $25\text{ C} \pm 0.1$ .

### **3.2.2 Caracterización reológica de la crema**

Para realizar las caracterizaciones reológicas de las formulaciones se utilizo un reómetro rotacional (Paar-Physica Mod. MC-120), con un recirculador con etilen glicol para el control de temperatura a la que se va a trabajar en este caso 10 C, 25 C y 35 C y el software physica US 200, para el calculo de los parámetros reológicos. Se utilizo la geometría cono y plato MK-24.

En cada una de las 11 corridas de las formulaciones cosméticas (se realizan por triplicado), se toma una muestra de aproximadamente 2.5 mL, la cual es colocada en el plato de manera que no sobrepase al cono, pero cubriendo completamente su parte inferior. El tiempo aproximado de cada medición es de 45 minutos.

---

\* A temperaturas mayores de 40 C se forman grumos difíciles de dispersar.

\*\* De 0 ml hasta 10 mL, de tal manera que la suma del volumen de glicerina y aceite mineral sea de 10 mL.

Todas las corridas son analizadas por el mismo programa.

Las mediciones se realizaron con una velocidad de cizalla de  $0.5 \text{ s}^{-1}$  hasta  $100 \text{ s}^{-1}$ , y la curva de regreso (tixotropía) de  $100 \text{ s}^{-1}$  hasta  $0.5 \text{ s}^{-1}$ . Las mediciones se realizan cada 2 semanas durante 6 semanas. Estas formulaciones fueron medidas reológicamente para ver si presentaban tixotropía.

Se analizan los resultados obtenidos (anexo A).

### **3.2.3 Caracterización reológica a diferentes temperaturas, a través del tiempo**

La segunda etapa consiste en tomar las 2 formulaciones que tengan las mejores características organolépticas, y un buen comportamiento reológico. Se tomaron las formulaciones 55 y 64, las cuales se almacenaron a una temperatura de 10 C y 35 C y se midieron cada 2 semanas durante 6 meses después de su elaboración. Para hacer más fácil la identificación de estas formulaciones también se les imprimió un código, a las formulaciones que se midieron a 10 C después del número de formulación se les puso un 10 y así respectivamente a las que se trabajaron a 35 C, se siguió la misma metodología. Por consiguiente las formulaciones quedaron de la siguiente manera: 5510,6410 y 5535 ,6435.

Formulación	55	64
-------------	----	----

Goma tragacanto (grs.)	2.5	2.5
Glicerina (mL.)	5	6
Aceite mineral(mL)	5	4
Alcohol etílico (mL.)	5	5
Agua destilada (mL.)	32.5	32.5

Tabla 3.2 Formulaciones de los sistemas 55 y 64

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Resultados

Se obtuvieron las curvas viscosimétricas para las 11 formulaciones de crema a diferentes tiempos de medición (ver anexo B), observándose una disminución monótona en todas ellas; una curva experimental representativa se muestra en la siguiente figura donde se grafican los valores del logaritmo de la viscosidad en función de la velocidad de deformación expresada como el inverso del tiempo (1/s).

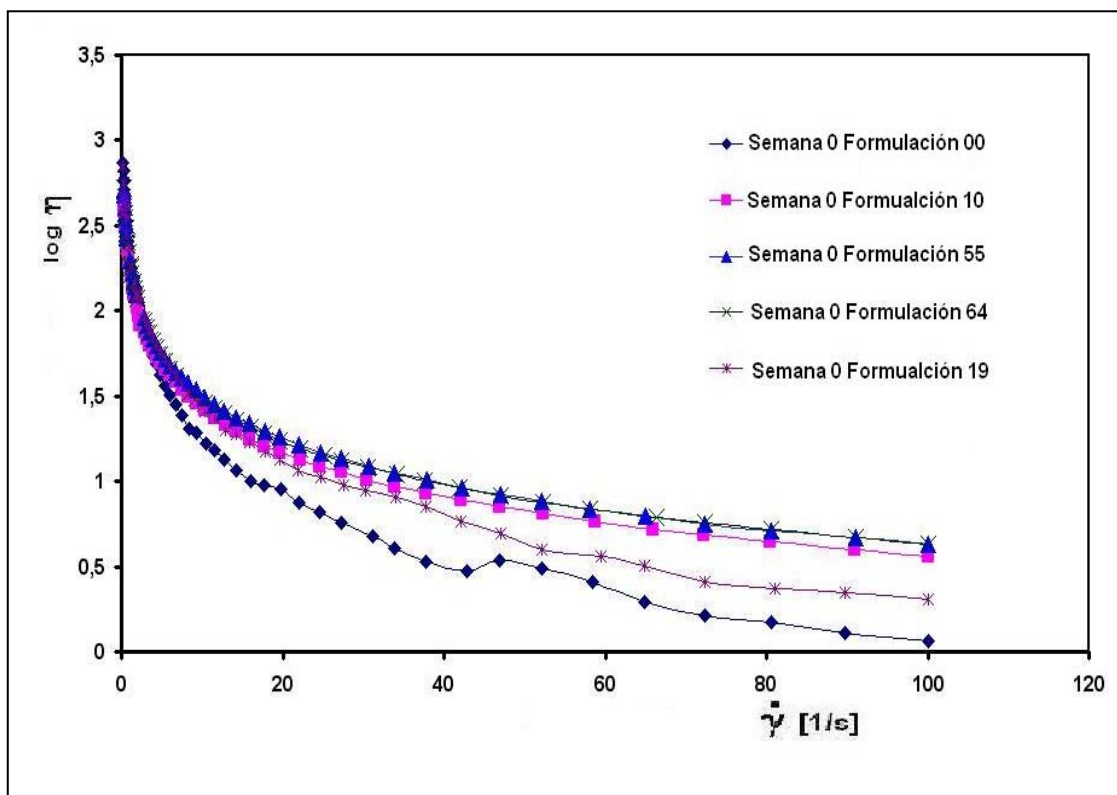


Fig. 4.1 Curva viscosimétrica representativa de las 11 formulaciones.

En la tabla 4.1 se presentan los resultados de la evaluación de los índices de comportamiento al flujo ( $n$ ) y los coeficientes de consistencia ( $k$ ), obtenidos mediante el análisis de los reogramas correspondientes.

Los valores de  $k$  y  $n$  se obtuvieron mediante una regresión logarítmica a partir de la ley de potencia:

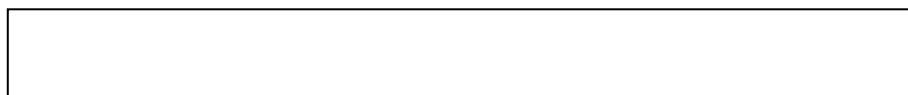
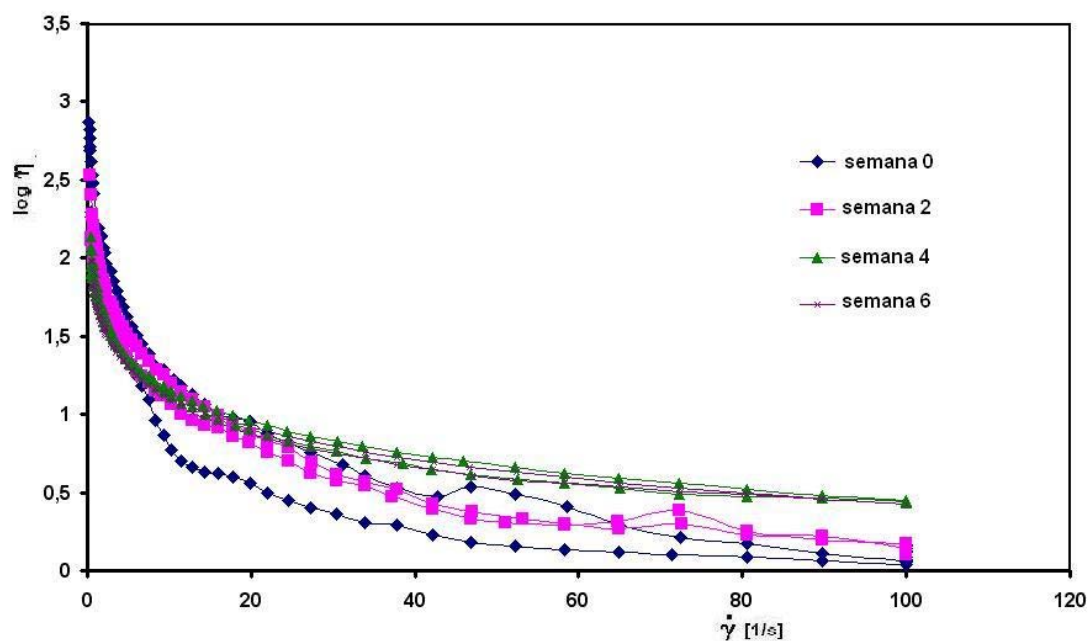
- Se partió del modelo reológico:  $\tau = K\dot{\gamma}^n$
- Luego a esta expresión se le aplicaron logaritmos, llegando a:  
$$\log \tau = \log K + n \log \dot{\gamma}$$
- Se graficó  $\log \tau$ , vs.  $\log \dot{\gamma}$
- Se obtuvieron la pendiente y ordenada al origen de la recta resultante:  
Pendiente =  $n$  = índice de comportamiento  
Ordenada al origen =  $b = \log \frac{k}{\tau_0}$
- Finalmente  $k = \tau_0 \cdot 10^b$

También, a partir de los datos experimentales, se construyeron las gráficas del log viscosidad vs. velocidad de cizalla, para determinar la posible existencia de ciclos de histéresis, que es un indicativo del comportamiento tixotrópico del sistema. Las formulaciones en las que se observaron este fenómeno fueron 00, 19 y 28, las curvas se presentan en las siguientes gráficas experimentales reportándose las cuatro mediciones que se hicieron para los sistemas compuestos por aceite mineral y glicerina.



Sistema	K promedio	n
10	1.0616	0.2140
91	1.0530	0.1832
82	1.0690	0.2190
73	1.1698	0.1862
64	1.0738	0,2550
55	1.0821	0.2899
46	1.0512	0.2635
37	1.1210	0.2795
28	1.0880	0.2419
19	1.1505	0.2361
00	1.0568	0.2202

Tabla 4.1 Parámetros físicos para las diferentes concentraciones a 25 C.



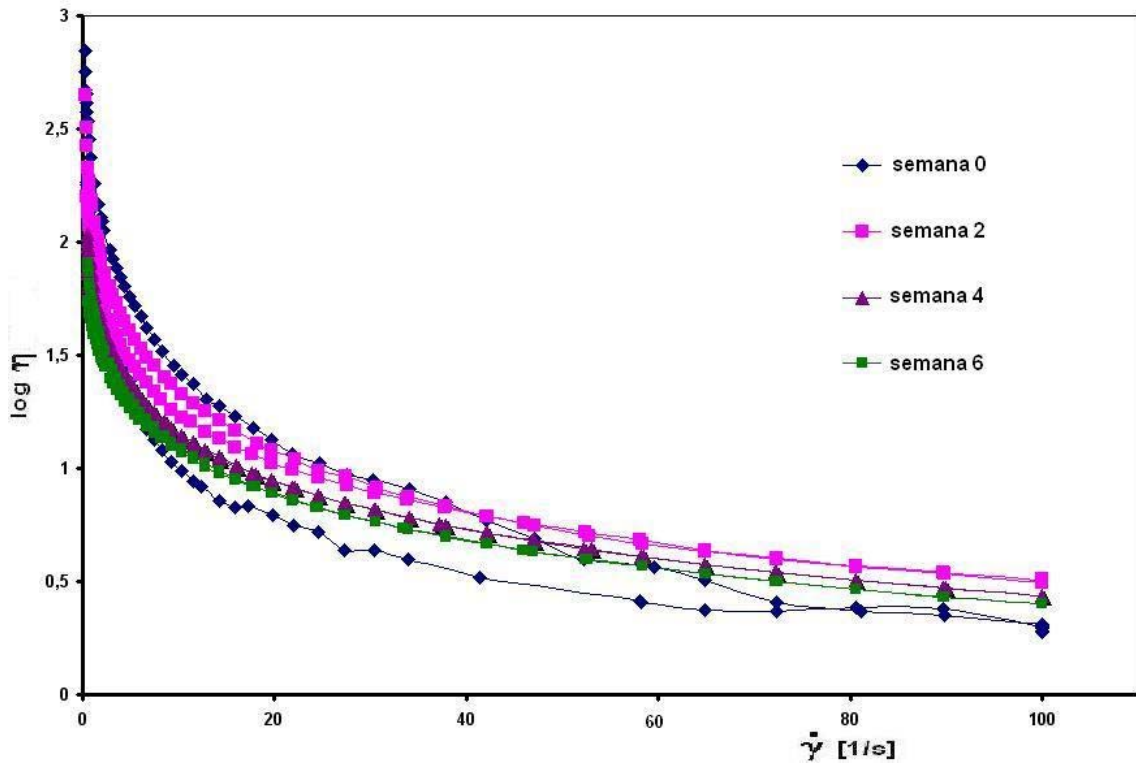


Fig. 4.3 Curva viscosimétrica de la formulación 19 a 25 C

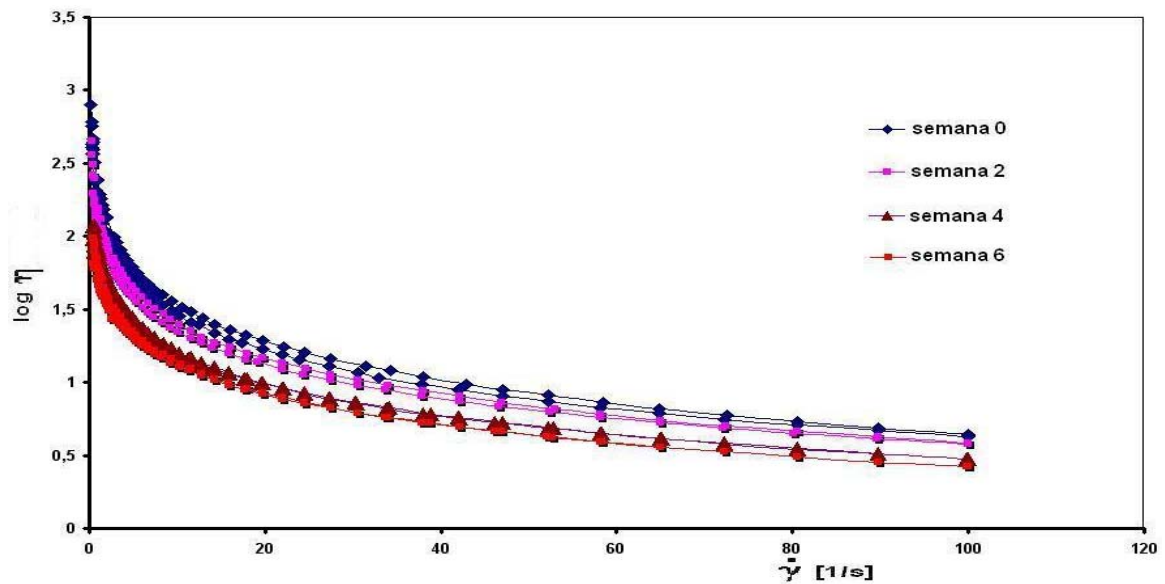


Fig. 4.4 Curva viscosimétrica de la formulación 28 a 25 C.

Las formulaciones 0.0, 1.9 y 2.8, presentaron un comportamiento tixotrópico y en la tabla 4.2 se muestran los resultados de las mediciones.

Sistema	Semana	% Tixotropía
00	0	0.3081
00	2	0.2204
00	4	0
00	6	0

Sistema	Semana	% Tixotropía
19	0	0.2212
19	2	0.0393
19	4	0.0026
19	6	0

Sistema	Semana	% Tixotropía
28	0	0.0648
28	2	0.0381
28	4	0
28	6	0

Tabla 4.2 Porcentaje de tixotropía a 25 C a diferentes tiempos de medición.

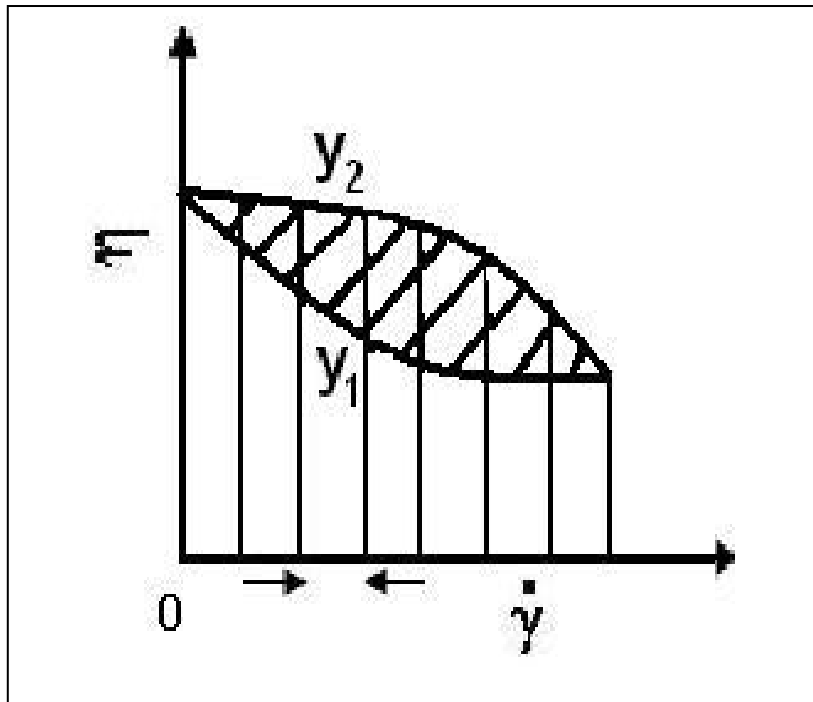


Fig. 4.5 Cálculo del porcentaje de tixotropía

La tixotropía se calcula mediante el área entre las curvas de la trayectoria cíclica dividida por el área bajo la curva de la trayectoria de ida.

El porcentaje de la tixotropía se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\% \textit{Tixotropía} = \frac{\int_0^{pr} (y_2 - y_1) dx}{\int_0^{pr} dx} \quad (4.1)$$

pr= Punto retorno

y<sub>2</sub>= Viscosidad en la trayectoria de ida

y<sub>1</sub>= Viscosidad en la trayectoria de regreso

En la figura 4.6 y 4.7 se muestran los reógramas de las curvas de viscosidad correspondientes a la formulación almacenada a diferentes condiciones térmicas transcurridas 24 semanas después de su elaboración.

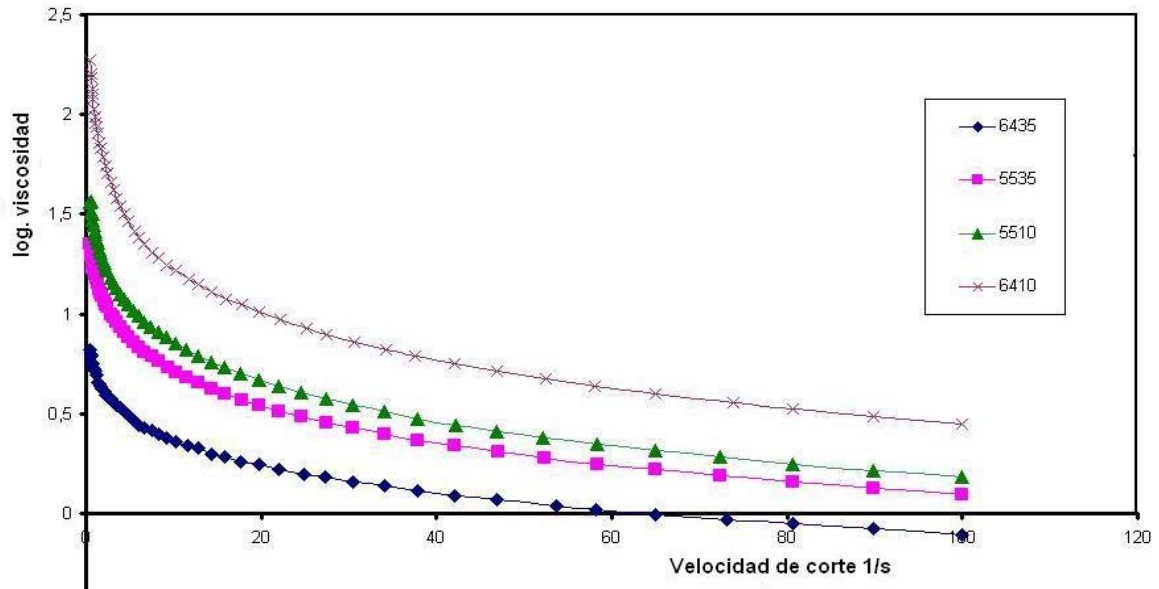


Fig.4.6. Curvas de viscosidad de la semana 24 de las formulaciones 55 y 64 a 10 C y 35 C

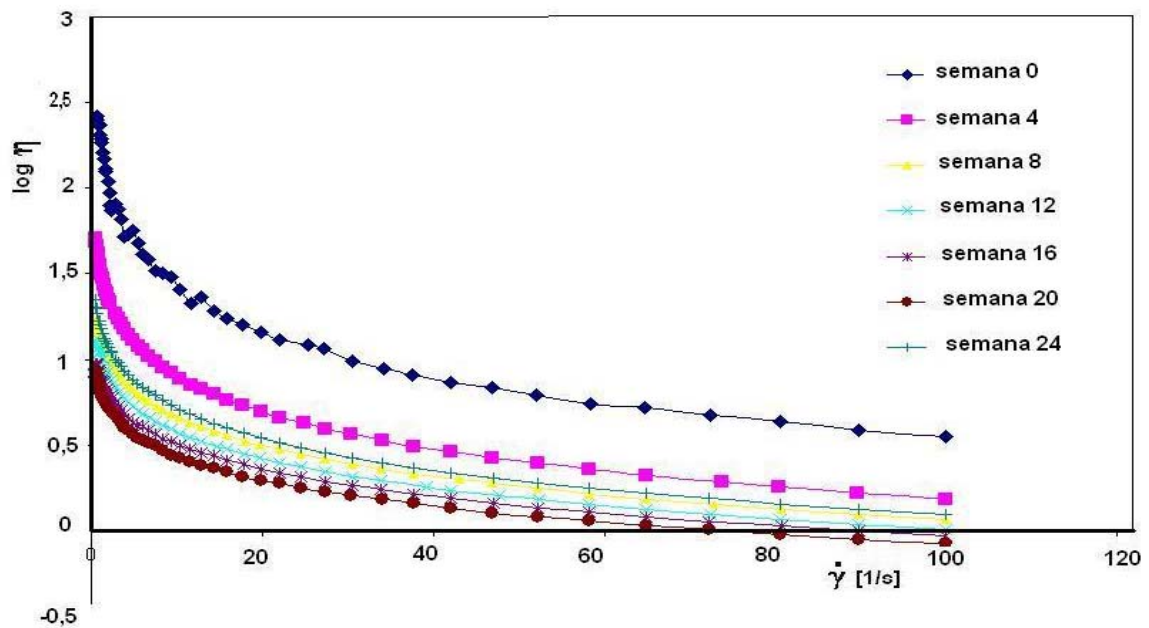


Fig.4.7 Curva representativa de todas las mediciones a través de 24 semanas

Finalmente se observó una tendencia lineal de la variación del índice de comportamiento con el tiempo. Se intentó hacer un ajuste de los datos experimentales a una línea recta para cada uno de los sistemas, obteniéndose un alto coeficiente de regresión lineal. El modelo empírico<sup>3</sup> para la evolución de n en el tiempo es:

$$n = b + mt \quad (4.2)$$

Donde b es la ordenada al origen y m es la pendiente de la recta de ajuste.

Este modelo lineal, a pesar de que no explica nada permitiría diseñar cremas que alcancen el tiempo de anaquel requerido, pues la reología es el factor determinante en la separación de las fases aceite/agua. Los resultados del citado ajuste se presentan en la siguiente tabla 4.3.

Sistema	K promedio	n	r
5510	1,0619091	0.0183t+0.1704	0.9557
5535	1.24263636	0.0389t+0.2422	0.8625
6410	1.03603636	0.0028t+0.1771	0.9593
6435	1.02965455	0.0055t+0.2199	0.9261

Tabla 4.3 Parámetros físicos a diferentes temperaturas relacionando el tiempo

## 4.2 Discusión

Del estudio reológico realizado se pudo analizar y evaluar las deformaciones sufridas por la formulación de la crema al aplicarle la fuerza de cizalla con un determinado gradiente de velocidad, describiéndose por medio de la curva viscosimétrica cómo se deforma el cuerpo al ser sometido a esfuerzos producidos por fuerzas externas, así como la determinación de sus propiedades mecánicas bajo las condiciones de deformación ensayadas. Al remitirnos a la figura 4.1 se puede llegar al criterio de que estamos en presencia de un cuerpo que presenta flujo no newtoniano, debido a que la relación que existe entre la fuerza y la velocidad de deformación no es constante. Por el tipo de curva no referimos a un comportamiento seudoplástico por que la viscosidad disminuye desde el mismo momento en que se aplica una fuerza y lo sigue haciendo mientras vaya aumentando la fuerza de deformación que se aplique.

El comportamiento reológico que tuvieron todas las formulaciones fue de la ley de la potencia que se representa con la siguiente ecuación:

$$\tau = K\dot{\gamma}^n \quad (2.8)$$

Donde K (el índice de consistencia) tuvo valores de  $1 \pm 0.1698$ , n (índice de flujo) es menor que 1 por lo tanto estamos hablando de un fluido pseudoplástico.

Estos valores que se incluyen en la tabla 4.1 representan el promedio de todas las determinaciones experimentales.

El grado de correlación obedeciendo a la ley de la potencia fue satisfactorio por que la mayoría tiene entre 0.98 y 0.99 respectivamente que son valores aceptables para los datos experimentales con algunas excepciones que dieron valores bajos (0.8932).

En cuanto al área tixotrópica la cual corresponde al contorno del reograma cuando la curva ascendente y descendente no se superponen, cuantificándose por medio del área de la superficie que encierra en este caso, se puede plantear que existe tixotropía en los sistemas 00,19,28, la cual fue media y los valores vienen representados en la tabla 4.2.

La histéresis entre la curva de fluidez ascendente y descendente indica el comportamiento tixotrópico. Esto significa que la viscosidad decrece con el tiempo y que la crema se hace más fluída cuando es extendida. Esta rotura de la tixotropía dependiente del tiempo puede verse claramente en la figura 4.2. La muestra se cizalló en este caso a una velocidad de cizalla constante de  $100 \text{ s}^{-1}$  y se midió la viscosidad en función del tiempo. En casi todas las formulaciones la tixotropía desapareció en la cuarta o sexta semana de medición.

En cuanto a las formulaciones las más adecuadas fueron la 55 y 64 debido a que la viscosidad de la primera da la mas baja y la segunda presenta una viscosidad intermedia.



Se hicieron pruebas de aplicación en la piel y las dos presentaban un buen esparcimiento y buena absorción.

Con respecto a los valores de  $n$  variaron con respecto al tiempo y por lo general fueron aumentando. Con relación a la temperatura en la fórmula 55 a 10C no hubo cambio y a 35C,  $n$  registro valores mas elevados. En la formulación 64 hubo un aumento en  $n$ , conforme se incrementa la temperatura, los valores se presentan en la tabla 4.3.

Al analizar los reogramas obtenidos para los sistemas 55 y 64 en las 24 semanas en diferentes condiciones térmicas, se puede apreciar que no presenta tixotropía en todos los casos, y un comportamiento similar; no se encontraron diferencias reológicamente significativas (figura 4.6). La formulación estudiada presentó adecuadas propiedades reológicas de fluidez y consistencia, lo que unido a sus buenas características organolépticas, con un grado de desmoronamiento/recuperación adecuado permite su aplicación.

Con el modelo de evolución del índice de flujo( $n$ ) en el tiempo que se presenta en este trabajo se puede predecir el tiempo de vida de anaquel de la crema así como sus propiedades de flujo en cualquier aplicación como: el diseño de tuberías, equipos de extrusión, selección de envases, entre otras; Sin embargo en este trabajo no se consideró modelar dichas aplicaciones dejándola para posteriores estudios.

A pesar de que el índice de consistencia promedio de todas las formulaciones no dio un valor constante, lo que se puede concluir que la variación de la concentración influye poco en  $K$  y en el índice de comportamiento(es cuantificable).



## 5 CONCLUSIONES

Se cumplieron todos los objetivos planteados en el desarrollo de este proyecto.

Se determinaron los parámetros reológicos de las formulaciones cosméticas, se calcularon los porcentajes de tixotropía y se obtuvo un modelo lineal para la evolución del índice de comportamiento de la crema.

Comparados con los resultados obtenidos en la literatura se encontró un artículo donde los autores obtienen un modelo lineal para  $n$ , algo muy importante es que las estadísticas aplicadas a los resultados experimentales dieron coeficientes de correlación ( $r^2$ ) satisfactorios, en el caso de los ajustes de las funciones y la desviación estándar resultaron muy pequeña al comparar los valores de  $k$  y  $n$  promedio. Sin embargo se puede profundizar en el análisis de las implicaciones estructurales de las diferentes formulaciones de crema sobre su reología.

Las mediciones reométricas fueron de gran utilidad para la determinación de la formulación óptima, la cual resultó ser la 55 por sus características reológicas que presento a diferentes temperaturas a través del tiempo.

La formulación de la crema comercial requiere un control sobre el pH. El análisis del pH se lleva acabo de un estudio del equilibrio acido-base. Sin embargo en este estudio la principal atención se fijo en comportamiento reológico.

## 6 BIBLIOGRAFÍA

1 Aranberri, I., Binks, B.P., Clint, J.H., Fletcher, I.D.P., Elaboración y caracterización de emulsiones estabilizadas por polímeros y agentes tensoactivos, Revista Iberoamerica de polímeros, Vol., 7(3), 2006, pp.211-230

2 Badui D. S., Química de alimentos”,2ª, Alambra México 1990.

3 Bandala-Rocha, M.R., Macedo y Ramírez, R.C. y Vélez-Ruiz, J.F. Evaluación de Coeficientes de Fricción en el Transporte de Fluidos No-Newtonianos, información Tecnológica vol. 16 N°2-2005, págs.: 73-80

4 Belitz, H. D. Química de los Alimentos, 2ª, Acribia, . Zaragoza, España 1997.

5 Clint, H.J. Surfactant Aggregation, Chapmanand Hall, New York, 1991

6 Egbert. Charlet Cosmética para farmacéuticos, Ed. Acriba 1996

7 Fresno, M.J., Jiménez, M.M., Selles, E., Propiedades reologicas y estabilidad tixotrópica en una crema evanescente, CiencPharm 1993:3(2):81

8 Ferry, J, D. Viscoelastic Properties of polymers, 3ª Wiley,New York ,1980

9 Goodwin, W.J. y Hughes, W.R. Rheology for chemists an introduction 2000 the royal society of chemistry

10 Tecnología farmacéutica tomo V, VII Continental.

11 Herman, José, Farmacotecnia: Teoría y practica tomo II, V, VI, Ed. Ceisa, Mexico,1980

12 Laba, Dennis, Rheological properties of cosmetics and toiletries , Ed.Marcel Dekker Inc., 1993

13 Levenspiel, O. Engineering Flow and Heat exchange, Plenum Press, EUA ,1984

14 Lissant, J. Kenneth, Emulsions and emulsion technology part 1, Ed. Marcel Dekker Inc., 1974

15 Lieberman, A. Helbert, Pharmaceutical Dosage forms: Disperse systems vol.1, 2<sup>a</sup>, Marcel Dekker, Inc., 1996

16 Morrison, A. Faith, Understanding Rheology, oxford university press, 2001

17 Mueller, H.G. Introducción a la reología de los alimentos, Acriba, España, 1973

18 Nussinovitch, A. Hydrocolloid applications gum technology in the food and other industries, London; Blackie, 1997

19 Roudot, Alain-Claude, Reología y análisis de la textura de los alimentos, Acriba, 2004

20 Rosenthal, j. Andrew, Textura de los alimentos medida y percepción, Acriba, 2001

21 Rosen, M.J. Surfactants and Interfacial Phenomena, 2<sup>a</sup>, John Wiley & Sons New Cork, 1989

22 Selles, E., Fresno, M.J., Reologia farmaceutica, Pharmaklinik 1988; 2(5):p.p299-309

23 Tadros, T.F. y Vicent, B. Emulsion Stability, In Encyclopedia of Emulsion Technology, Becher, P, vol. 1, Chapter 3, pp.1-56, Marcel Dekker, New York, 1983

24 Wilkinson, B. J. y J. R. Modre. Cosmetologia de Harry, Diaz de Santos, 1990

25 Wilkinson, W.L. Non Newtonian Fluids, Pergamon. New York, 1960

26 Jean-Louis, Salager, Propiedades de las emulsiones y su medición, <http://www.firp.ula.ve> , fecha de consulta 10/02/06

## ANEXO A

### TABLAS DE CONSTANTES K Y n DE LAS 11 FORMULACIONES A 25 C

Formulación	Semana	K	n	r <sup>2</sup>
10	0	1.1355	0.1575	0.9664
10	2	1.1787	0.1965	0.9836
10	4	0.9728	0.2366	0.9947
10	6	0.9594	0.2656	0.9950

Tabla A 1 Constantes K y n de la formulación 10 a 25 C

Formulación	Semana	K	n	r <sup>2</sup>
91	0	1.025	0.1591	0.9744
91	2	1.130	0.1880	0.9795
91	4	1.135	0.1933	0.9813
91	6	1.080	0.1925	0.9881

Tabla A 2 Constantes K y n de la formulación 91 a 25 C

Formulación	Semana	k	n	r <sup>2</sup>
82	0	1.092	0.1806	0.9865
82	2	1.142	0.2006	0.9851
82	4	1.039	0.2395	0.9947
82	6	1.002	0.2556	0.9943

Tabla A 3 Constantes K y n de la formulación 82 a 25 C



Formulación	Semana	k	n	r <sup>2</sup>
73	0	1.166	0.1596	0.9767
73	2	1.154	0.1862	0.9780
73	4	1.159	0.2045	0.9814
73	6	1.20	0.1945	0.9825

Tabla A 4 Constantes K y n de la formulación 73 a 25 C

Formulación	Semana	k	n	r <sup>2</sup>
64	0	1.069	0.1784	0.9909
64	2	1.099	0.2130	0.9925
64	4	1.063	0.3002	0.9919
64	6	1.064	0.3282	0.9935

Tabla A 5 Constantes K y n de la formulación 64 a 25 C

Formulación	Semana	k	n	r <sup>2</sup>
55	0	1.074	0.1830	0.9816
55	2	0.9605	0.2245	0.9963
55	4	1.175	0.3558	0.9899
55	6	1.119	0.3961	0.9942

Tabla A 6 Constantes K y n de la formulación 55 a 25 C

Formulación	Semana	k	n	r <sup>2</sup>
46	0	1.124	0.1832	0.9817
46	2	0.9466	0.2228	0.9963
46	4	1.069	0.3184	0.995
46	6	1.065	0.3295	0.9949

Tabla A 7 Constantes K y n de la formulación 46 a 25 C

Formulación	Semana	k	n	r <sup>2</sup>
37	0	1.047	0.1850	0.9837
37	2	1.070	0.2214	0.9958
37	4	1.141	0.3426	0.9913
37	6	1.226	0.3691	0.9919

Tabla A 8 Constantes K y n de la formulación 37 a 25 C

Formulación	Semana	k	n	r <sup>2</sup>
28	0	1.099	0.17425	0.9694
28	2	1.022	0.2007	0.9940
28	4	1.130	0.2863	0.9952
28	6	1.101	0.3065	0.9962

Tabla A 9 Constantes K y n de la formulación 28 a 25 C

Formulación	Semana	k	n	r <sup>2</sup>
19	0	1.1734	0.1649	0.9219
19	2	1.1672	0.1391	0.9299
19	4	1.1075	0.2988	0.9968
19	6	1.1539	0.3414	0.9939

Tabla A 10 Constantes K y n de la formulación 19 a 25 C

Formulación	Semana	k	n	r <sup>2</sup>
00	0	1.1523	0.1657	0.9038
00	2	1.0443	0.1455	0.9652
00	4	0.9739	0.2782	0.9966
00	6	1.0567	0.2914	0.9949

Tabla A 11 Constantes K y n de la formulación 00 a 25 C

Formulación	Temperatura C	Quincenas	K	n	r <sup>2</sup>
5510	10	1	1.070	0.1870	0.9598
5510	10	2	1.034	0.1917	0.9919
5510	10	3	1.038	0.1842	0.9984
5510	10	4	1.066	0.2179	0.9954
5510	10	5	1.056	0.2371	0.9934
5510	10	6	1.077	0.2539	0.9938
5510	10	7	1.059	0.1968	0.9914
5510	10	8	1.056	0.3028	0.9935
5510	10	9	1.058	0.3069	0.9939
5510	10	10	1.097	0.3224	0.9928
5510	10	11	1.078	0.3378	0.9940
5510	10	12	1.051	0.342	0.997
5510	10	13	1.124	0.3944	0.9919
5510	10	14	.07468	0.2995	0.9012

Tabla A 12 Constantes k y n de la formulación 55 a 10 C

Formulación	Temperatura C	Quincenas	k	n	r <sup>2</sup>
5535	35	1	1.120	0.1498	0.9312
5535	35	2	1.026	0.2498	0.9975
5535	35	3	1.111	0.3341	0.9948
5535	35	4	1.087	0.3937	0.9937
5535	35	5	1.242	0.4578	0.9921
5535	35	6	1.255	0.5029	0.9924
5535	35	7	1.176	0.5059	0.9954
5535	35	8	1.244	0.5424	0.9942
5535	35	9	1.258	0.5494	0.9940
5535	35	10	1.948	0.5527	0.9933
5535	35	11	1.202	0.5652	0.996
5535	35	12	1.260	0.1825	0.6285
5535	35	13	1.119	0.4594	0.9933
5535	35	14	1.075	0.2647	0.9968

Tabla A 13 Constantes k y n de la formulación 55 a 35 C

Formulación	Temperatura C	Quincenas	k	n	r <sup>2</sup>
6410	10	1	1.048	0.1738	0.9894
6410	10	2	1.079	0.1797	0.9847
6410	10	3	1.062	0.1835	0.9919
6410	10	4	1.048	0.1883	0.9903
6410	10	5	1.057	0.1894	0.9940
6410	10	6	1.008	0.1934	0.9920
6410	10	7	1.012	0.1942	0.9910
6410	10	8	1.035	0.1969	0.9940
6410	10	9	1.026	0.1962	0.9942
6410	10	10	.9944	0.2024	0.9953
6410	10	11	1.027	0.2056	0.9964
6410	10	12	.9367	0.1913	0.992
6410	10	13	1.007	0.2027	0.9968
6410	10	14	1.005	0.2272	0.9968

Tabla A 14 Constantes k y n de la formulación 64 a 10 C

Formulación	Temperatura C	Quincenas	k	n	r <sup>2</sup>
6435	35	1	0.9630	0.2114	0.9942
6435	35	2	0.9178	0.2191	0.9962
6435	35	3	0.9986	0.2384	0.9966
6435	35	4	1.049	0.2404	0.9967
6435	35	5	1.054	0.2466	0.9963
6435	35	6	1.065	0.2510	0.9963
6435	35	7	1.048	0.2559	0.9965
6435	35	8	.9618	0.2564	0.9979
6435	35	9	1.087	0.2633	0.9960
6435	35	10	1.136	0.2681	0.9949
6435	35	11	1.046	0.2695	0.9968
6435	35	12	1.012	0.1406	0.8932
6435	35	13	.9643	0.2380	0.9973
6435	35	14	1.148	0.613	0.9956

Tabla A 15 Constante k y n de la formulación 64 a 35 C

## ANEXO B

### CURVAS VISCOSIMÉTRICAS DE LAS DIFERENTES FORMULACIONES

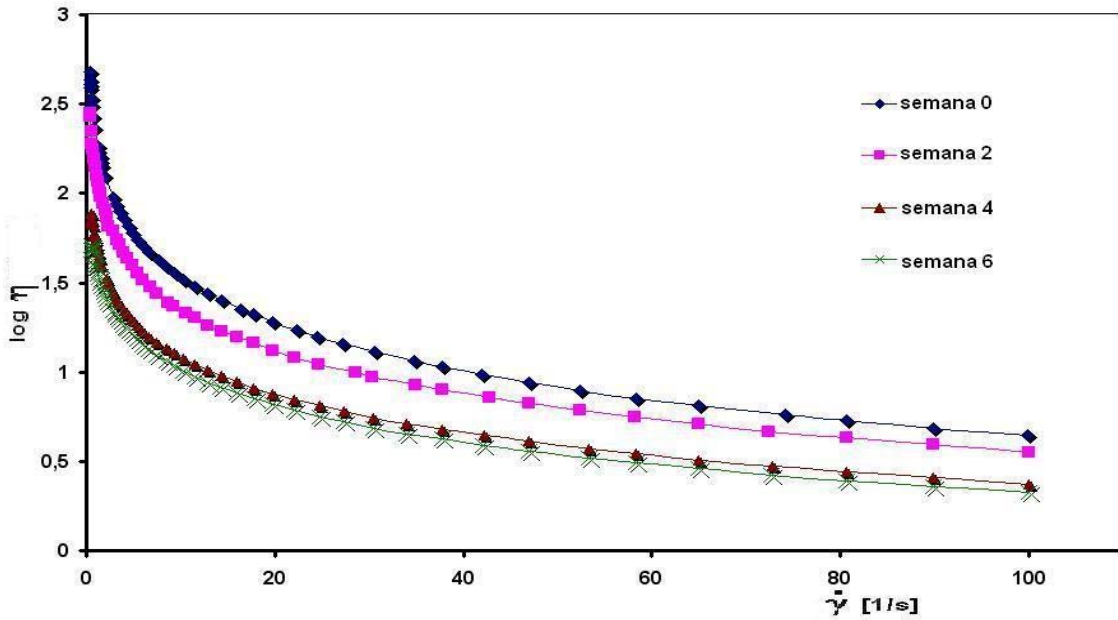


Figura B.1 Curva viscosimétrica de la formulación 37 a 25 C

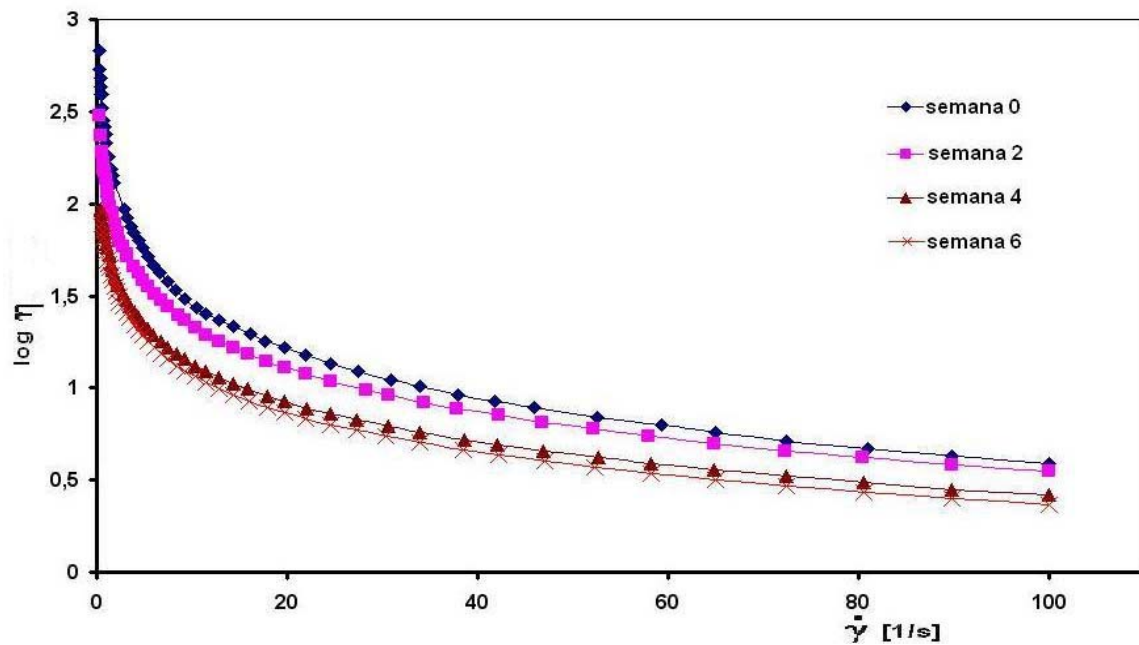


Figura B. 2 Curva viscosimétrica de la formulación 46 a 25 C

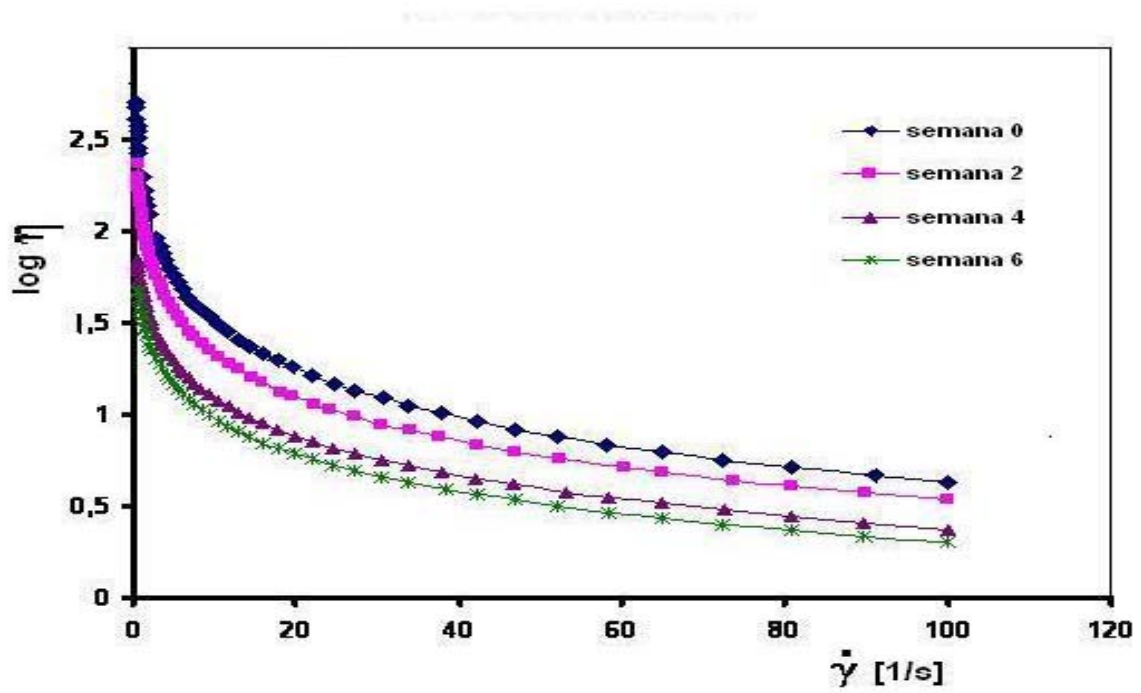


Figura B.3 Curva viscosimétrica de la formulación 55 a 25 C

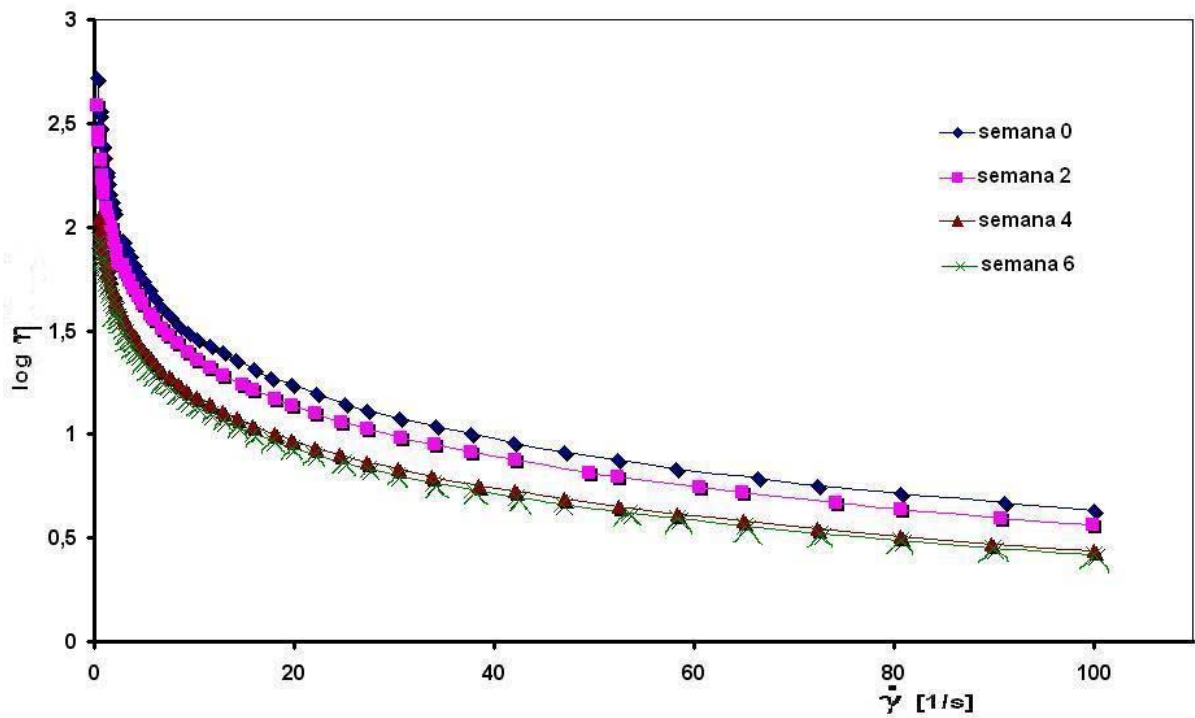


Figura B.4 Curva viscosimétrica de la formulación 64 a 25 C



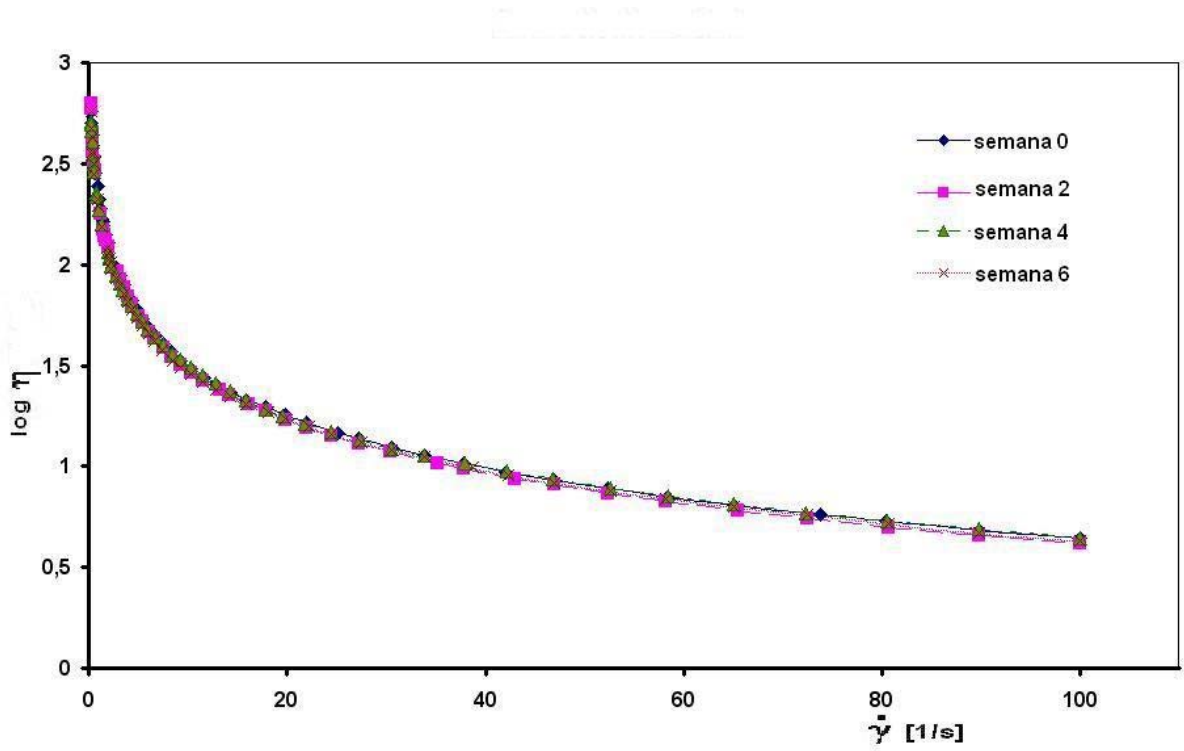


Figura B.5 Curva viscosimétrica de la formulación 73 a 25 C

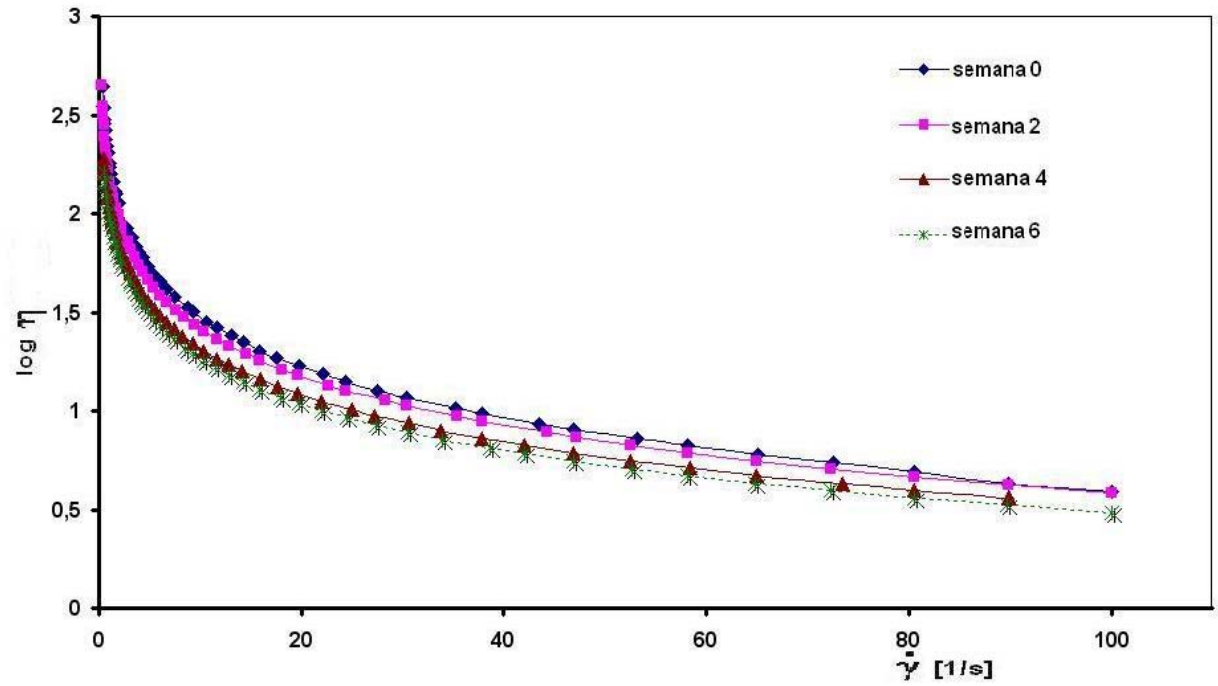


Figura B.6 Curva viscosimétrica de la formulación 82 a 25 C

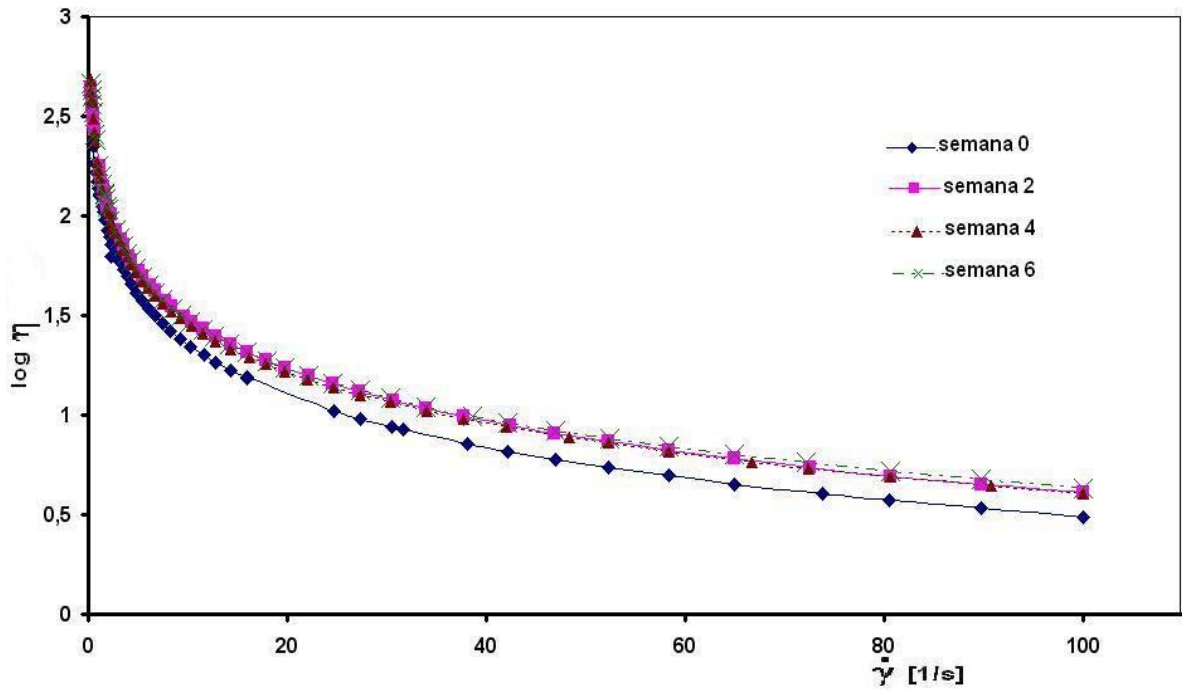


Figura B.7 Curva viscosimétrica de la formulación 91 a 25 C

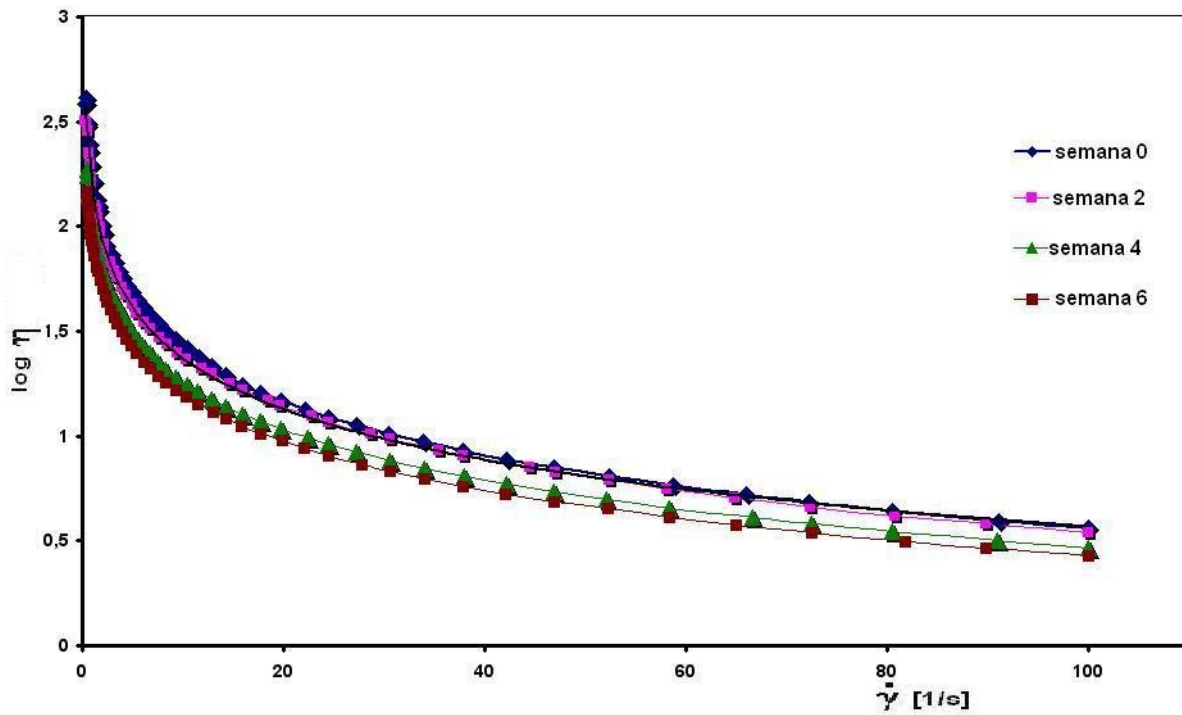


Figura B.8 Curva viscosimétrica de la formulación 10 a 25 C

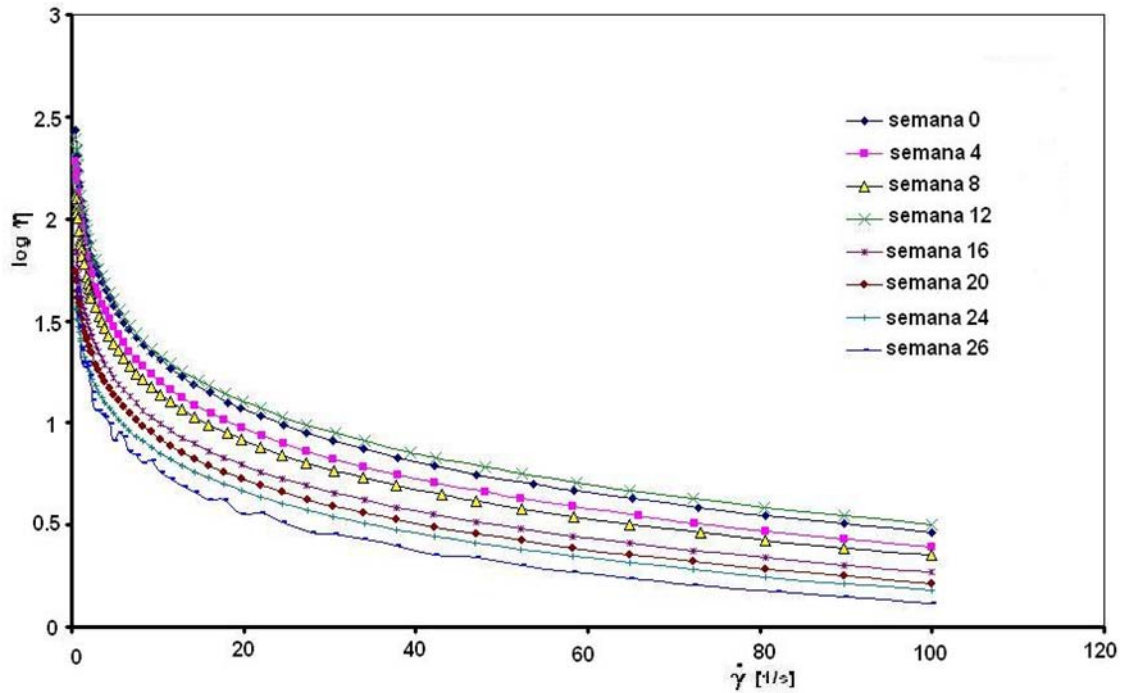


Figura B.9 Curva viscosimétrica de la formulación 55 a 10 C durante 24 semanas

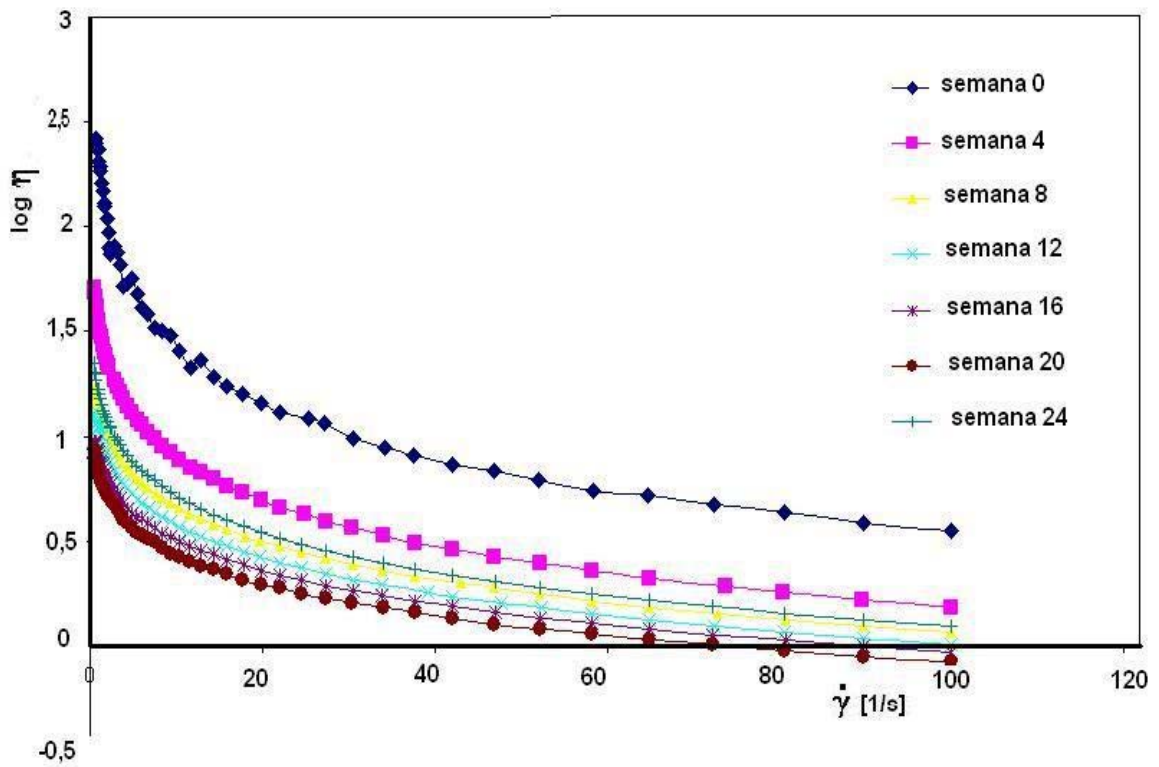


Figura B.10 Curva viscosimétrica de la formulación 55 a 35 C durante 24 semanas

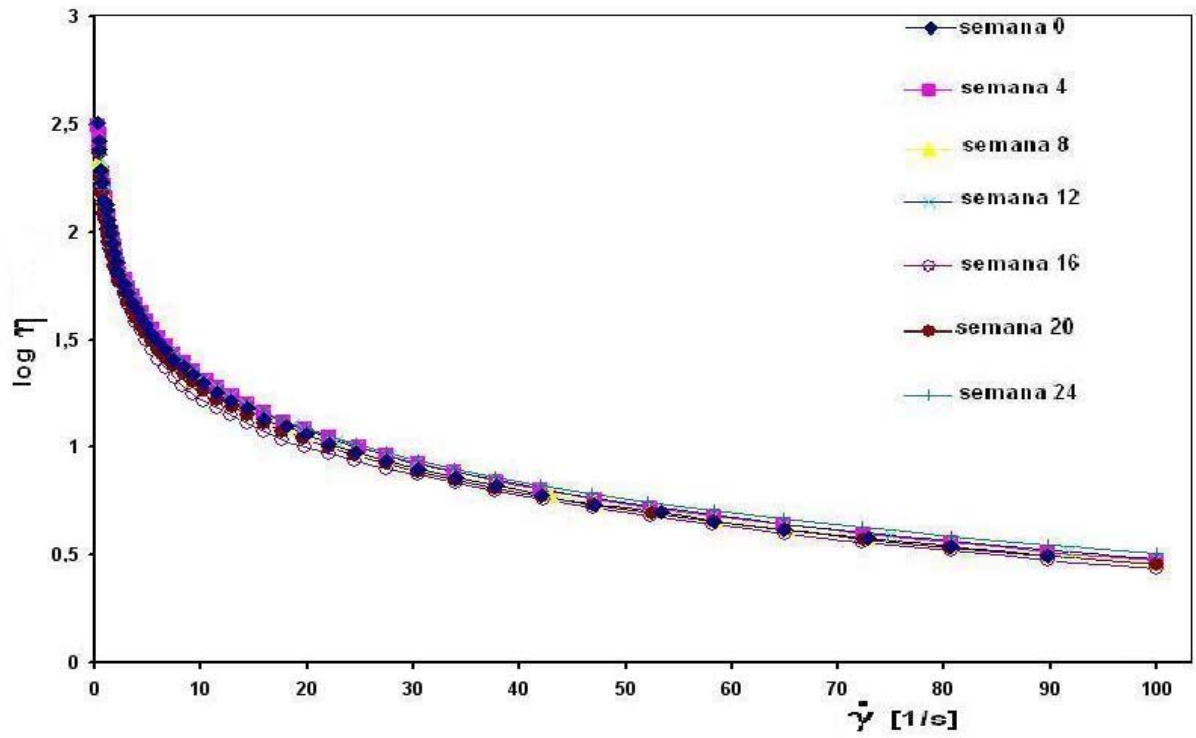


Figura B.11 Curva viscosimétrica de la formulación 64 a 10C durante 24 semanas

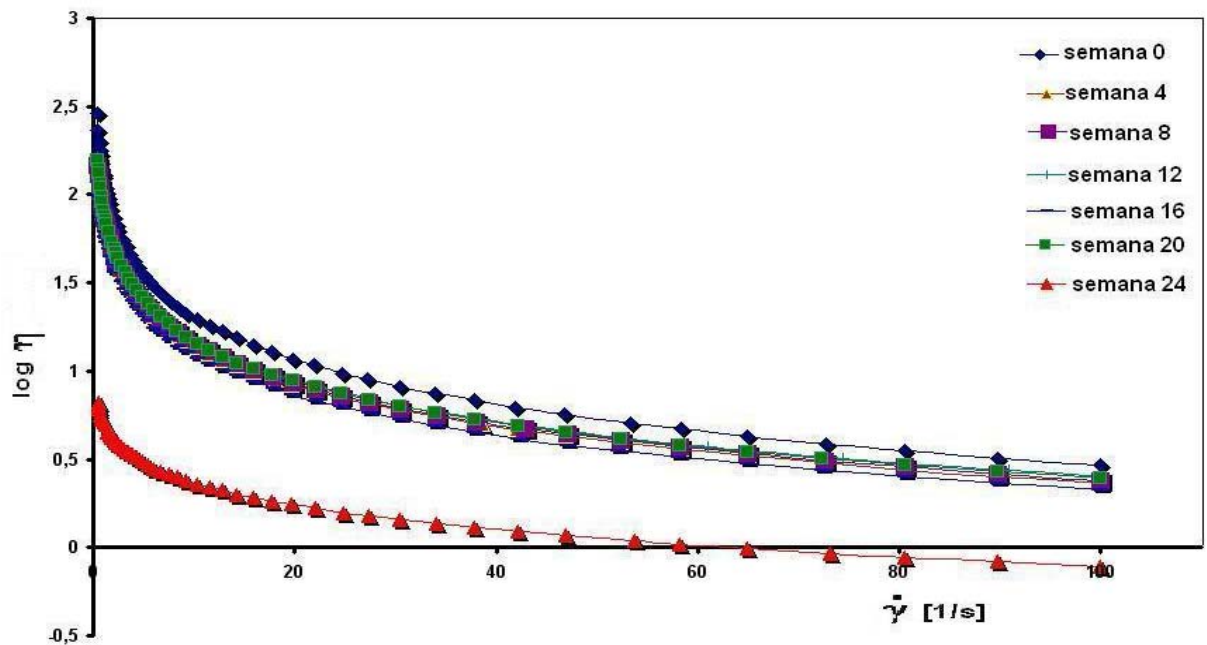


Figura B.12 Curva viscosimétrica de la formulación 64 a 35C durante 24 semanas

## ANEXO C

### CARACTERISTICAS DE LAS MATERIAS PRIMAS

#### Alcohol etílico

Propiedades físico-químicas:

Fórmula:  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{OH}$

Peso molecular: 46

Aspecto: líquido transparente e incoloro

Título: 96%

Densidad: 0,80 Kg. /l a 20 C

Punto de ebullición: 78,15 C

Punto de inflamabilidad: 13 C

Punto de congelación: -130 C

Características organolépticas:

El olor y sabor de la materia prima de la que procede es imperceptible, predominando el olor y sabor ardientes características del alcohol etílico.

Es un líquido incoloro, fácilmente inflamable, arde con llama azulada pálida.

Su solubilidad en el agua es en todas las proporciones, siendo además soluble en diversas sustancias orgánicas e inorgánicas cuando se mezcla en estado anhidro

## **Glicerina**

Sustancia incolora, con un sabor dulce a alcohol, de fórmula  $C_3H_8O_3$  (1, 2,3-propanotriol), y densidad relativa de 1,26. Tiene un punto de ebullición de 290C y un punto de fusión de 18 C. La glicerina líquida es resistente a la congelación, pero puede cristalizar a baja temperatura. Es soluble en agua en cualquier proporción, y se disuelve en alcohol, pero es insoluble en éter y muchos otros disolventes orgánicos.

Las grasas y aceites simples son ésteres de ácidos grasos y glicerina. Una vez obtenida como producto secundario en la fabricación del jabón después de haber tratado las grasas y aceites con álcali, la glicerina bruta se purifica por destilación.

## **Goma tragacanto** <sup>[4,18]</sup>

Polisacárido de origen natural, producido a partir del árbol *Astragalus gummifer* encontrado en Irán, Siria y Turquía.

Funciones y características

Agente espesante, estabilizante y emulsificante.

La goma tragacanto está formada por dos fracciones principales, conocidas con el nombre de tragacantina y basorina. La primera representa alrededor del 30% del total y es soluble en agua. La basorina es insoluble, pero se hincha aumentando su volumen. Ambas están formadas fundamentalmente por arabinogalactanos.

La viscosidad máxima se logra en un medio con pH 5 y sufre una caída brusca por debajo de pH 4.5 y por encima de 6. No es

compatible en consecuencia con sustancias de naturaleza cationica  
También actúa como emulsionante, debido a la presencia de  
proteínas, y como estabilizante de suspensiones y de dispersiones  
de sólidos en materiales pastosos.