

47



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DE UNA FORMULACIÓN PARA EL
AFEITADO EN BASE CARBOMÉRICA

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
QUIMICO FARMACEUTICO BIOLOGO
P R E S E N T A :
SERGIO ISAIAS GASCA GUTIERREZ



293222

MEXICO, D.F. EXAMENES PROFESIONALES
FACULTAD DE QUIMICA

2001



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.

Jurado asignado:

Presidente: Profesora María del Socorro Alpizar Ramos

Vocal: Profesora Honoria Fuentes Sixtos

Secretario: Profesora María Josefa Bernad Bernad

1^{er} Suplente: Profesora Liliana Aguilar Contreras

2^o Suplente: Profesor Luis Jesús García Aguirre

Sitio donde se desarrollo el tema.

**Laboratorio de Tecnología Farmacéutica; Departamento de Farmacia,
Facultad de Química.**

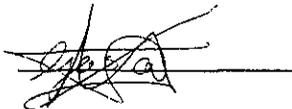
Asesora del tema:

Dra. María Josefa Bernad Bernad



Sustentante:

Sergio Isaiás Gasca Gutiérrez



DEDICATORIAS:

A Dios:

Porque sin El nada bueno es posible.

A México:

País tan noble al que aprecio mucho.

A mis padres:

Dr. Sergio Gasca y Gudelia Gutiérrez. Por el apoyo y comprensión que han tenido hacia mi durante toda la vida. Y por los valores con los que me han educado

A mis hermanos:

César e Israel. Por estar cerca de mí apoyándome siempre en el momento preciso.

A la memoria de mi abuela Soledad:

Gracias por haberme enseñado tanto, por el aprecio y motivación que me diste cuando estuviste aquí.

A mis Abuelos:

Leobardo y Balbina: Por su afecto y cariño hacia mí.

A la Doctora María Josefa Bernad, "Fina":

Por su gran paciencia y aun más grande calidad humana.

A mis amigos Miguel Ángel y Juan Gerardo:

Amigos honestos con los que he compartido tantas vivencias importantes para mi.

AGRADECIMIENTOS:

A mi patria, por ser un país generoso que me ha permitido estudiar.

A la U.N.A.M. Y a la Facultad de Química que me permitieron el aprendizaje de tantos conocimientos y por el desarrollo integral como ser humano que he tenido durante mi estancia en sus instalaciones.

A la doctora María Josefa Bernad: por toda la paciencia, el apoyo, la motivación y confianza transmitidos y todos los recursos proporcionados que hicieron posible el desarrollo de este trabajo.

A mis compañeros de laboratorio: Adriana, Ma Antonieta, Alejandro, Guadalupe, Miguel Ángel, Teresa, y Silvana, por el apoyo, los comentarios, y las sugerencias emitidas que sirvieron para mejorar el trabajo y sobre todo por la paciencia que me tuvieron.

A las profesoras María del Socorro Alpizar Ramos y Honoria Fuentes Sixtos. Por el tiempo invertido en la revisión de este trabajo y por las aportaciones de ideas y comentarios que le hicieron a este.

Al Dr. Jesús Gracia Mora por los materiales y espacios prestados (computadora, proyector, impresora, sala multimedia, etc) los cuales facilitaron el desarrollo de este trabajo.

A Iván Puente por su valiosa ayuda en el estudio de la etapa de microscopía electrónica de geles

A los laboratoristas de tecnología farmacéutica por la eficiencia de su trabajo al estar siempre disponibles para el préstamo de material y equipo y por verificar que el laboratorio funcione en orden.

INDICE GENERAL

1 -Resumen.	4
2. -Introducción	6
3. -Antecedentes.	9
3.1.Geles	9
3.1.1.Carbopoles.	17
3.1.1.1. Usos	18
3.1.1.2. Características principales	19
3.2.Preparados para el afeitado	23
3.3.Reología	29
3.4.Tensión superficial	37
3.4.1. Humectación	42
4. -Planteamiento del problema	43
5. -Objetivos	44
6 - Parte experimental	45
6.1. Materiales	45
6.2. Equipo empleado	45
6.3. Desarrollo experimental	46
7. - Resultados y discusión	54
7.1 Perfiles reológicos	54
7.2. Estudios de tensión superficial	66
7.3.Estudios microscópicos	73
7.4.Estudios de liberación	81
8. -Conclusiones	86
9 -Referencias y bibliografía	87

1.-RESUMEN

El afeitado es un procedimiento que por diversas razones es necesario para el hombre y para este fin existe actualmente una gran diversidad de preparaciones que constituyen productos de gran difusión y uso para una buena parte de la población.

Para el consumidor de estos productos, el afeitado debe ser un procedimiento que se realice de forma rápida, indolora, que produzca en la piel una sensación agradable de frescura y limpieza y que la remoción del vello de la cara sea completa.

Los carbómeros o carbopoles, a partir de los cuales se elaboran geles, constituyen un buen recurso como matrices de liberación para ser empleados en la elaboración de estas preparaciones

Este trabajo considera la necesidad de proporcionar una preparación con características fisicoquímicas adecuadas para el proceso de afeitado. Por este motivo en esta tesis se pretenden relacionar propiedades fisicoquímicas de matrices de liberación como son las que constituyen los geles de carbómeros con la eficacia de las mismas (Capacidad tensoactiva).

Inicialmente, se realizaron perfiles reológicos de tres tipos de carbómeros y de acuerdo a los resultados mostrados se seleccionó el que se consideró más adecuado para diseñar la formulación, en función de la variación de la viscosidad con la concentración y la temperatura. El carbopol seleccionado fue el carbopol ultrez 10.

Se relacionó la influencia de la concentración de carbómero con su estructura microscópica y ésta con la viscosidad. El conocimiento de las características estructurales es de suma importancia en la elaboración de la preparación debido a

que con esto se obtienen adecuados criterios de selección en cuanto a la liberación de los activos.

Fue medida la tensión superficial de los componentes de la formulación ya que esta se encuentra íntimamente relacionada con la humectación y por lo tanto con la eficiencia de cortado.

Se determinó el área de poro de la estructura del gel y se correlacionó con la liberación de los activos para lo cual se hicieron estudios de difusión. De estos estudios se obtuvo la tensión superficial en el compartimento receptor y se relacionó con la concentración del tensoactivo liberado lo cual nos da una idea de la eficacia de la preparación.

2.-INTRODUCCIÓN

A lo largo de la existencia del ser humano se han diseñado una enorme variedad de productos que tienen aplicación sobre la piel. Muchas personas de distintas edades, de cualquier sexo, país o grupo étnico han empleado alguna vez una sustancia en su piel para algún fin, con motivos muy variados. Entre ellos podemos mencionar el uso de productos en ceremonias de tipo religioso o social. Otro tipo de productos se ha utilizado para la cura o prevención de enfermedades cutáneas o del pelo o para la limpieza e higiene de la piel. También ha sido muy extendido el uso de productos que tienen el único fin del embellecimiento del cuerpo, por ejemplo confiriendo un mejor aspecto a las facciones del rostro o proporcionando un olor agradable a ciertas zonas anatómicas. El uso de estos productos se ha convertido en una necesidad para toda la población, no solo los productos de uso terapéutico sino también los que le dan un mejor aspecto ya que esto le permite a la gente una mejor adaptación a la sociedad.

Con el desarrollo de la ciencia, el farmacéutico y el profesional de la cosmetología han tenido que aplicar distintas ramas de la ciencia como la química, la física, la fisicoquímica, la biología y la medicina (entre muchas otras) para poder desarrollar productos de uso en piel o pelo que sean seguros y eficaces en la terapéutica o que le confieran un mejor aspecto al cuerpo.

Dentro de estos productos se pueden citar lociones, cremas, ungüentos, champús, espumas, jabones, y geles, entre muchos otros.

Productos muy útiles para la mayoría (o la totalidad) de los individuos de sexo masculino son los preparados para el afeitado. Es de señalarse que el afeitado no es un procedimiento trivial ya que en muchas ocasiones este procedimiento ayuda a mantener una buena higiene en el rostro y por ejemplo en algunas culturas o en algunas actividades es un procedimiento obligatorio.

La remoción del bigote y la barba es un procedimiento que suele hacerse de muy distintas maneras y que en general se realiza en varias etapas. Humedecer el pelo y la piel y permitir que el rastrillo corte con fluidez y sin producir daño a la integridad de la piel además de producir una sensación de frescura y limpieza del rostro son deseables en productos que sean diseñados para este fin.

El uso de espumas, cremas y geles ha sido muy difundido como productos para facilitar el afeitado. Son precisamente estos últimos, los geles los que han sido de interés para el desarrollo de este trabajo ya que poseen características que los hacen muy adecuados para su aplicación sobre la piel. Son estables en un amplio intervalo de temperatura y pH, poseen adecuadas características de bioadhesión en la piel y la remoción de ellos de la misma es muy fácil. Además su estructura permite que sean utilizados como matriz de liberación de otras sustancias que contenidas dentro de la red que forma un gel contribuyan a que el procedimiento del afeitado sea más eficiente. Dentro del grupo de sustancias que nos permiten elaborar geles, se encuentran compuestos derivados de la celulosa, algunas gomas naturales y algunos polímeros como lo son los carbómeros o carbopoles entre ellos un tipo de carboxipol conocido como ultrez 10 se ha seleccionado de entre otros dos como una matriz en una formulación para el afeitado.

Para el diseño de una formulación en gel que permita un buen afeitado es indispensable conocer el comportamiento fisicoquímico de la matriz que se empleará. Parámetros como la viscosidad, la tensión superficial y la humectabilidad del pelo son necesarias para determinar cuál será el comportamiento de la formulación cuando sea aplicada sobre la barba.

En el presente trabajo se consideran estos parámetros y se ha hecho un estudio fisicoquímico de las variables que influyen en el comportamiento de la formulación.

La reología ha sido clave como herramienta en la descripción del comportamiento del flujo de los distintos geles analizados, así como en la selección del carbopol ultrez 10 para el desarrollo de la formulación.

El estudio de la tensión superficial de los geles también ha sido necesario determinarlo para el conocimiento del comportamiento de la formulación.

Un gel presenta una estructura tridimensional en la que las cadenas de polímero se entrecruzan hasta formar una trama o red y como resultado del entrecruzamiento se van generando poros, huecos o espacios vacíos en los que es posible introducir alguna molécula. Esta característica es muy importante en el diseño de una formulación para el afeitado ya que la liberación de estas moléculas estará determinada por la forma y complejidad de la red formada, suponiendo que es mas retardada dicha liberación conforme la estructura va siendo más cerrada y compleja. Introducir moléculas de agentes humectantes, de agentes tensoactivos o de cualquier otro componente que se juzgue necesario en una formulación en gel para el afeitado significa tomar en cuenta como ocurrirá su liberación de una matriz carbomérica. Por esto, un parámetro importante a considerar en el estudio de la formulación de un gel para el afeitado radica en conocer la estructura de la red que se forma en el gel para determinar el tamaño de los huecos formados y hacer predicciones sobre la liberación de los componentes del preparado. La microscopía es para esto una herramienta que debe tomarse en cuenta como metodología para determinar lo mencionado anteriormente.

Por ello, se ha considerado aplicar diversas estrategias para realizar un estudio fisicoquímico adecuado de una formulación que se ha diseñado y contribuir al desarrollo de productos que permitan un mejor afeitado.

3.-ANTECEDENTES.

3.1 Geles.

Según la F.E.U.M. ¹ en su sexta edición, un gel se define como: "Una preparación semisólida que contiene el o los principios activos o aditivos en un líquido que puede ser agua, alcohol o aceite, de tal manera que se forma una red de partículas atrapadas en una fase líquida."

Lo anterior nos define a un gel de uso farmacéutico, sin embargo, desde el punto de vista fisicoquímico un gel es un sistema en el que uno o varios de los componentes tienen al menos una dimensión dentro del intervalo de 1nm y 1micrometro (μm) (10^{-9} a 10^{-6}m) ²

Las dispersiones coloidales son sistemas bifásicos en los que existe una fase dispersa que está formada por partículas de pequeño tamaño y el medio de dispersión que es el medio en el que estas partículas están dispersas.

Un tipo de sistema disperso de importancia para definir que es un gel es el sol. Un sol es una dispersión de un sólido en un gas o en un líquido y a un sol dispersado en agua se le conoce como hidrosol.

Un gel se puede considerar como la precipitación incompleta de un sol. En la formación de un gel, las partículas coloidales del sol se unen en agregados filamentosos que se entrelazan unos con otros formando un semisólido muy poroso. En este proceso suele ocurrir aumento en la solvatación, aunque la mayoría del disolvente puede quedar retenido en las cavidades de la estructura sólida.

Los geles, por sus características, tienen gran utilidad en la elaboración de productos cosméticos y farmacéuticos. Esta utilidad es la razón por la cual ha sido

necesaria la búsqueda de las sustancias a partir de las cuales se pueden obtener geles.

Los geles de importancia en farmacia y cosmética son, generalmente, dispersables en medio acuoso y están constituidos por moléculas de polímeros orgánicos. En la búsqueda de sustancias formadoras de geles se han encontrado diversos compuestos útiles a partir de distintos orígenes. Uno de ellos es a partir de sustancias naturales como son gelatina, agar o pectina. Otro origen es a partir de compuestos obtenidos por semisíntesis empleando reacciones en las cuales la molécula de celulosa es modificada agregando sustituyentes para generar compuestos como carboximetilcelulosa (CMC), o Hidroxipropilmetilcelulosa. (HPMC) Por último, otra fuente de obtención de geles está en la síntesis de polímeros orgánicos como lo son los carbómeros derivados del ácido acrílico que es la diversa variedad de compuestos conocidos como carbopoles.

Muchos estudios se han hecho acerca de los geles desde el punto de vista de forma farmacéutica o cosmética, por ejemplo se han estudiado estos sistemas fisicoquímicos como formas de **liberación controlada**.

Así, en un estudio hecho por *Paavola y col.*³ se comprobó que un gel de lutrol F-127(pluronic PE-6800) al 25 % conteniendo al fármaco conocido como clorhidrato de lidocaína o ibuprofén sódico inyectado por vía epidural mantenía una absorción controlada frente a una disolución de los mismos fármacos.

En otro estudio, *Sriamornsak, P. y Nunthanid, J*⁴ hacen microesferas de pectinato de calcio en las cuales incluyen indometacina, para ello disuelven la indometacina en una disolución de pectinato de calcio y la gotean sobre una disolución de CaCl_2 . Estudian diferentes características de estas microgotas (distribución de tamaño de partícula, eficiencia de carga, etc.), así como la liberación del activo a partir de ellas, observando que siguen una típica cinética de difusión controlada como en el caso de matrices inertes porosas.

Los geles, también se han comparado en estudios de *liberación in vitro* ⁵ con microemulsiones y microemulsiones en gel, usando celdas de difusión de Franz, mientras que *Nastruzzi, C. Y col.* ⁶ diseñaron un método reproducible *in vitro* para la determinación de metil-nicotinato liberado de 4 diferentes vehículos tópicos, uno de ellos un gel hidrofílico. Para ello emplearon celdas de difusión de Franz y membranas artificiales diseñadas para simular el estrato córneo. El resultado obtenido indicó que el metil-nicotinato tiene una alta penetración cuando es incorporado al gel hidrofílico.

Macedo, T. y col. ⁷ también hicieron estudios de liberación *in vitro* de carbopoles con distintas formulaciones en gel usando al fármaco tolmetín y como base carbopol 934, carbopol 940 y carbopol 941, consideraron los efectos de la composición del cosolvente, el tipo de carbómero y la concentración de carbómero. Obtuvieron rápida liberación del fármaco en geles con alto contenido de agua y liberación más lenta en geles con bajo contenido acuoso. Observaron liberación más rápida con carbopol 941 y más lenta con carbopol 940. El incremento en la concentración de carbopol del 1 al 2% no afectó la liberación, mientras que el incremento de 1% a 4% en la concentración del fármaco incrementó significativamente la velocidad de liberación.

En otro estudio de difusión *Sanghavi, NM. y Mahalaxmi, D.* ⁸ analizan la liberación *in vitro* de propionato de clobetasol en gel, crema y ungüento usando membrana de celofán y piel de rata. Observaron que la difusión, cuando se usa membrana de celofán, es más rápida para el gel y más lenta para las otras dos formas. La formulación en gel muestra una liberación más rápida del fármaco usando piel de rata. El estudio concluye que la liberación de clobetasol de bases de uso tópico es más rápida cuando se usa la formulación en gel.

En una investigación hecha por *Adler, J. Y col.* ⁹ se aplica la microscopía usando un método de microscopía de epi fluorescencia y por análisis de las imágenes

cuantifican la difusión de los componentes fluorescentes del gel. Se emplean dos modelos matemáticos para el cálculo de los coeficientes de difusión. Encuentran que el método es aplicable a la difusión de macromoléculas contenidas en geles de agar o carbopol.

Wesselingh, JA. ¹⁰, en un interesante artículo relacionado con la difusión, realiza una discusión acerca de la difusión en diversos sistemas de liberación controlada. Incluye una teoría general de difusión de multicomponentes así como mecanismos de difusión en polímeros densos, polímeros cargados, geles y medios porosos.

Lee, BJ. y col. ¹¹ estudian diferentes sustancias como **promotoras de la absorción percutánea**, entre ellas, la HP- β -CD, PPG, PEG 400 y etanol.

Valenta, C. y Wedenig, S., ¹² al igual que los autores anteriores, prueban aumentadores de la penetración, usando como novedad PEG 4000 y laurocapramo (azono), usando como matriz para el gel carbopol 940, mientras que *Carr, MG. Y col.* ¹³ usan como activador de la permeación, técnicas iontoforéticas y membranas de diferentes características que intervienen o no en la difusión del principio activo (visking y estrato córneo humano)

Un caso de estudio de absorción percutánea de fármacos contenidos en geles es el publicado por *Dos Santos, E. R. y col.* ¹⁴, estos autores efectuaron estudios acerca de la penetración percutánea *in vitro* del fármaco Lapachol en preparaciones hechas con geles de carbopol neutralizado con trietanolamina o hidróxido de sodio. En este trabajo se establece que la presencia de la concentración adecuada de un surfactante no iónico favorece la penetración del fármaco.

Por otra parte, otro enfoque referente al **estudio fisicoquímico de geles** ¹⁵, incluye estudios en los que se analizan **propiedades gelantes** del polímero,

solubilidad del activo en el gel, espectroscopia de infrarrojo y difracción de polvos por Rayos X entre otros.

Propiedades texturométricas tales como visco-elasticidad, muco-adhesión, dureza y compresibilidad de geles celulósicos también han sido motivo de estudio en diversos trabajos ¹⁶. En estos se han hecho correlaciones entre las propiedades fisicoquímicas de un gel y su comportamiento en la absorción de activos.

En otros trabajos de este tipo ¹⁷, se incluyen estudios de microscopía, DSC, microscopía de platina caliente y medidas reológicas para caracterizar fisicoquímicamente al gel y así, correlacionar su micro-estructura con los resultados de absorción.

En otros casos ¹⁸ se han desarrollado formulaciones con varias proporciones de diferentes agentes gelantes para estudiar propiedades tales como viscosidad, pH, homogeneidad y hacer pruebas de irritación, extensibilidad y permeación en piel de rata. En función de todos estos factores se concluyó que el carbopol 940 cumplía más satisfactoriamente con las características de permeabilidad

Algunas investigaciones ¹⁹ relacionan el pH, contenido del fármaco ketoprofen y propiedades reológicas con las características de liberación y estabilidad de la formulación resultante, concluyendo como en el caso anterior que el carbómero 940 es la base más adecuada para el activo estudiado.

Rebelo, M.L. Y col ²⁰ evalúan la estabilidad, reología y actividad antimicrobiana de preparaciones tópicas de geles de clíndamicina preparadas con carbopol 934, carbopol 940 y "locust bean gum"

Chu, J. S. y col. ²¹ estudian las propiedades viscoelásticas de sistemas poliméricos neutralizados de carbopol 934 en una variedad de mezclas binarias o

ternarias de solventes. Evalúan módulo elástico, viscosidad y ángulo de contacto. Concluyen que la adición de agua a sistemas no acuosos del carbómero les confiere una baja viscosidad.

Realdon, N y col. ²² establecen correlaciones entre la viscosidad de un gel de carbómero 934 con la concentración del polímero y/o de un fármaco usado como modelo y lo relacionan con la velocidad de liberación del fármaco. Estos autores observaron que la concentración de polímero es la variable que determina la liberación del principio activo, no importando si la viscosidad es modificada por otros factores como la concentración de fármaco.

Paavola, A. Y col. ²³, como en el caso anterior, estudian la correlación entre la viscosidad y la liberación de activos a partir de diferentes *matrices formadoras de geles*.

Domínguez, J. V. y col. ²⁴ también hicieron estudios sobre viscosidad, ellos estudiaron los efectos en el comportamiento reológico de geles hechos con celulosa microcristalina y carboximetilcelulosa causados por diferentes concentraciones de NaCl y encontraron que la viscosidad decrece al aumentar la agitación y que el esfuerzo cortante disminuye al aumentar la concentración de NaCl.

Se ha tratado de relacionar la reología de geles con la estabilidad como en el trabajo de *Dolz, M y col.* ²⁵, quienes investigaron la reología de un gel de carbopol 940 a baja concentración y con concentraciones variables de trietanolamina entre 0.052% y 0.107% a intervalos de pH entre 5.72 y 6.83. Se evaluó la velocidad de corte, la viscosidad y el comportamiento tixotrópico y obtuvieron gran estabilidad en los geles a pH=6.83

Por otra parte, también *Vega-Warner, V. y col.* ²⁶ han estudiado los diferentes tipos de geles o propiedades de las *sustancias formadoras de geles*, entre las

que se pueden mencionar las proteínas. Acerca de esto mismo, *Knapczyk, J* ²⁷ también ha realizado estudios con otras sustancias formadoras de geles como es el quitosán, el autor en su trabajo preparó por 2 diferentes métodos 18 geles empleando como base 1 ó 2 quitosanos y evaluó su estabilidad obteniendo que es buena en la mayor parte de los geles preparados.

Otra sustancia formadora de geles es la pectina. *Lower E. S.* ²⁸ estudió las propiedades físicas de geles de pectina, incluyó en su estudio la capacidad gelante de la pectina, los efectos del grado de esterificación y polimerización en la viscosidad y en la dureza de los geles de pectina e hizo una revisión acerca del uso de la pectina en productos cosméticos y farmacéuticos

Los alginatos, como sustancias formadoras de geles, también han sido objeto de investigación en diversos trabajos como es el caso del realizado por *Gombotz, W. R. y col.* ²⁹. En el se estudia la química, estructura, mecanismos de gelación y propiedades físicas de los alginatos, dando énfasis a las aplicaciones en la liberación de biomoléculas.

Actualmente está de moda el uso de **geles sensibles a estímulos** externos tales como la temperatura:

Como muestra de ello *Bromberg, L. E. y Ron, E. S.* ³⁰ han hecho estudios acerca de la liberación de proteínas a partir de geles que son sensibles a los cambios de temperatura. En otro trabajo, *Miyajima, M* y col. ³¹ analizaron la respuesta a la temperatura de geles poliméricos en un intervalo de Temperatura de 0 a 50°C. Se estudió además la liberación del fármaco Vidarabina a 10 y 37°C. Los geles mostraron respuestas características a bajas temperaturas, "Swelling" y a alta temperatura, "deswelling", dependiente de la concentración del monómero. Obtuvieron una alta liberación del fármaco a 37°C y una baja liberación a 10°C.

Entre las propiedades más estudiadas en el medio farmacéutico y cosmetológico sobre los geles, destaca la **capacidad de adhesión a superficies**. Con relación a esto se encuentran el trabajo de *Lovera, V. y col.* ³². En el se estudian formulaciones de administración tópica al nivel de la mucosa bucal, los estudios de adhesión se realizaron *in vitro* usando texturómetros. Las formulaciones con mejores características fueron probadas *in vivo*.

En el trabajo de *Jacques, Y. y col.* ³³, se estudian las diferencias de mucoadhesión de geles a sustancias inertes como lo es un plato de plexiglás o la adhesión a substratos biológicos como puede ser la mucina y se compara el comportamiento de tabletas de polímeros poliacrílicos o de celulosa, se miden las diferencias por la absorción de líquidos. Se observa una correlación entre las fuerzas de atracción con los diferentes tipos de substratos.

En el mundo farmacéutico, también se habla de la formación de una capa de gel en el proceso de desintegración de algunos comprimidos que tienen como excipientes algunas sustancias formadoras de geles, como es el caso del artículo de *Kojima, M. y col.* ³⁴ donde comparan el comportamiento de la HPC y la HPMC en el proceso de hinchamiento y liberación de fármacos en una tableta.

A veces los geles son solamente la **base para algunas formulaciones originales**, como pueden ser aquellas que contienen vesículas tales como liposomas o niosomas ^{35, 36}, u otras veces simplemente forman parte de estudios comparativos con otras formulaciones como en el trabajo de liberación nasal hecho por *Kublik, H. y Vidgren, M. T.* ³⁷ donde prueban diferentes tipos de formulaciones, como son gotas, nebulizadores y geles.

Otro tipo de formulaciones originales son las emulsiones en gel. En este rubro se destaca el trabajo de *Solans, C. y col.* ³⁸ donde se investigaron propiedades aceite en agua de emulsiones en gel agua-aceite hechas con sulfato de magnesio, sorbitol y otros aditivos cosméticos. Se evaluó liberación, difusión, estabilidad y

transparencia. Los resultados mostraron que la difusión es altamente dependiente del volumen de agua y el sulfato de magnesio y el sorbitol incrementan estabilidad y transparencia

Como en cualquiera otra forma farmacéutica, también encontramos **estudios exclusivamente de estabilidad** ^{39, 40}. El segundo de estos incluye un estudio complementario de absorción percutánea.

A este respecto, *Ulbrich, K. y col.* ⁴¹ efectúan la síntesis, caracterización y estabilidad hidrolítica de geles hidrofílicos basados en copolímeros de N-(2-hidroxipropil)metacrilamida y N,O-dimetacriloilhidroxilamina y describen su potencial como nuevos sistemas de liberación de fármacos. Para ello usan methotrexato, fluorouracil (5-fluorouracil), doxorubicin, y el polímero doxorubicin. Observan que la velocidad de hidrólisis depende del pH de la solución y de la densidad del gel, y pueden correlacionar la velocidad de degradación del gel *In vivo* con datos *in vitro*.

Un estudio importante se refiere a la **irritación provocada por geles** de aplicación tópica, como ejemplo está el trabajo de *Berger, R. S. y col.* ⁴²

Típicos estudios de **control de contenido** han sido llevados a cabo usando diferentes técnicas como espectrofotometría ⁴⁰ o extracción supercrítica ⁴³.

Los geles han sido también usados en **vías alternas de administración**, como puede ser a través del colon ⁴⁴. O en parches transdérmicos ⁴⁵.

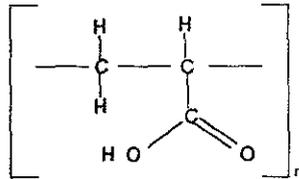
3.1.1. Carbopoles

Este tipo de compuestos, químicamente, pueden considerarse como derivados del carboxipoliétileno, es decir son homopolímeros del ácido acrílico o copolímeros del ácido acrílico o del acrilato de alquilo entre C10 y C30 entrecruzados

(crosslinked) con éteres polialquénlicos o polivinil glicol, presentan un tamaño de partícula promedio de 0.2μ , y sus aglomerados entre 2 y 7μ ⁴⁶. La fórmula condensada de este tipo de compuestos es la siguiente:

Carboxypolietileno: $(C_2H_4O_2)_n$.

La fórmula semi-desarrollada de lo anterior es.



3.1.1.1. Usos.

Los polímeros carboméricos han sido utilizados durante 40 años como agentes controladores de la reología y como agentes hacedores de estructura. No obstante, fue en el año 1994 cuando la tecnología de los mismos fue modificada y se consiguió una mejora en la dispersión y toxicidad de los mismos

Los carbómeros o carbopoles han tenido diversos usos, por ejemplo, se usan como espesantes, suspensores, estabilizantes de emulsiones y en liberación controlada en tabletas y cápsulas. Funcionan como espesantes al ser neutralizados, ya que forman una estructura de gel y también pueden formar puentes de hidrógeno con otros componentes de la formulación. Su capacidad espesante es mejor que la de los derivados de celulosa

Estos polímeros formadores de geles pueden emplearse como biomateriales. Un biomaterial es un componente que puede formar parte del cuerpo ya sea de manera temporal o de manera permanente⁴⁷.

Algunos de los productos pertenecientes a este tipo de compuestos son por ejemplo el carbómero 934 (carbopol 934), el carbómero 940 (carbopol 940) y el carbopol ultrez 10

3.1.1.2. Características principales.

Estos compuestos comparten entre sí diversas propiedades fisicoquímicas. Las características más importantes de los carbopoles son

a) Aspecto.

Se presentan como polvos de color blanco.

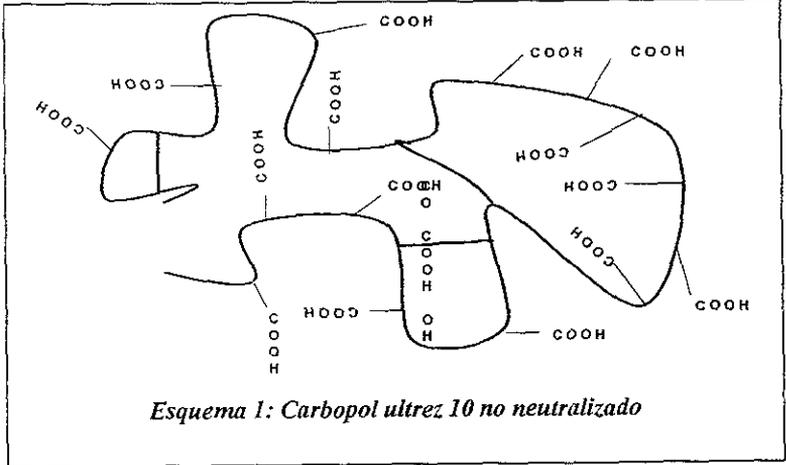
b) Solubilidad.

Son solubles en agua y en otros disolventes polares como glicerina o etanol. Esto ocurre debido a la interacción de las cargas de los polímeros con las moléculas de agua

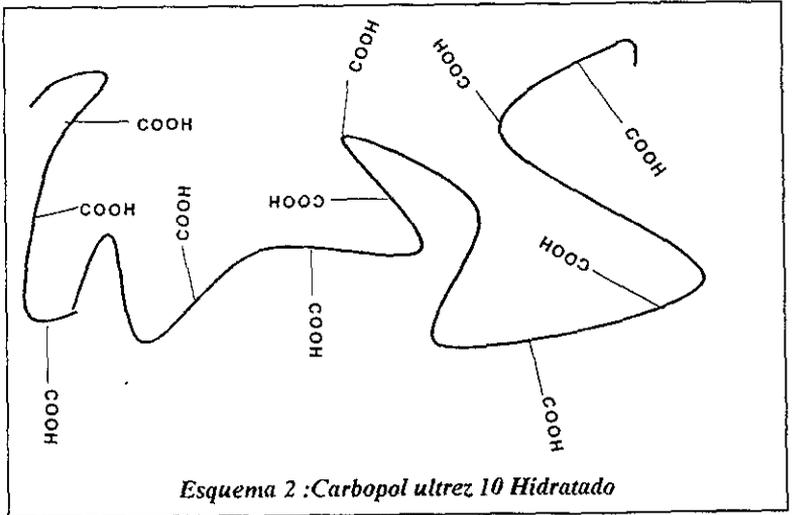
La velocidad de disolución en el agua de estos polímeros varía dependiendo del peso molecular del polímero y de la estereo regularidad

c)Estructura

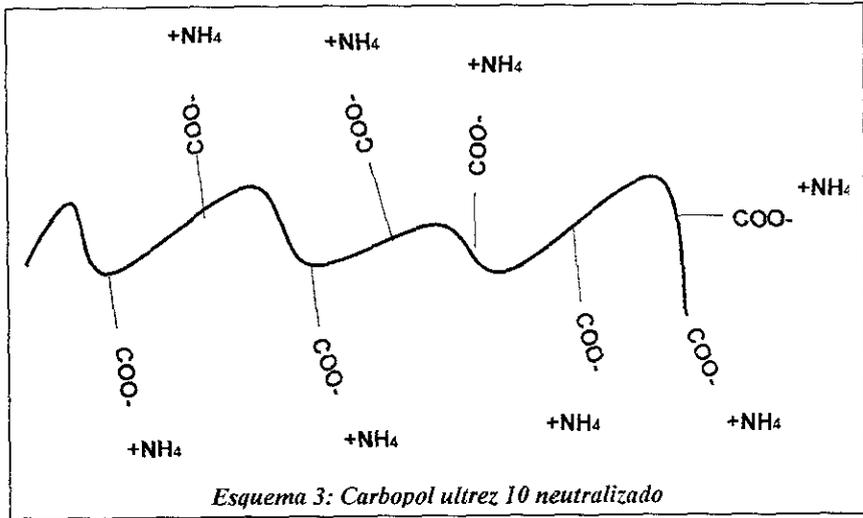
Cuando se encuentra en polvo su estructura es enroscada, (esquema 1) al ser humectada con agua su estructura comienza a



desenroscarse (esquema 2)



y finalmente cuando es neutralizada los grupos carboxi son desprotonados y neutralizados con cargas negativas de la base utilizada, haciendo que la cadena quede completamente estirada. (esquema 3)



Este tipo de polímeros mantiene una estructura de red tridimensional en la que las moléculas de polímero están enlazadas químicamente por entrecruzamientos (crosslinked), sin éstos, la estructura generada estaría enroscada siendo difícil la formación de la red. Pueden intervenir otro tipo de fuerzas de cohesión como son los puentes de hidrógeno o interacciones hidrofóbicas. En general, muchos hidrogeles son capaces de absorber alrededor del 10 al 20% de su peso en agua.

El pKa de estos polímeros es de aproximadamente 6.

Algunos agentes que neutralizan este tipo de carbómeros son compuestos de carácter básico como son NaOH, KOH, NaHCO₃, y aminas polares orgánicas

como lo son monoetanolamina, dietanolamina, trietanolamina, lauril y estearilaminas.

d) Viscosidad de los carbómeros

Las dispersiones de estos carbómeros en agua presentan valores de pH de aproximadamente 3. A estos valores de pH las dispersiones de estos carbómeros presentan viscosidades bajas. Los valores de viscosidad son mucho más elevados cuando el pH de estas dispersiones tiene valores entre 6 y hasta aproximadamente 8, donde comienza de nuevo a disminuir llegando a una viscosidad muy baja cuando el valor de pH es mayor a 12. El tamaño de partícula aumenta con el pH, pasando de $2-7\mu$ a pH de 3, hasta $20-70\mu$ a pH de 7. La viscosidad aumenta exponencialmente en función de la concentración del carbómero.

La viscosidad de los geles formados disminuye con la temperatura y no se ve afectada por el tiempo. También disminuye la viscosidad en presencia de electrolitos fuertes así como si los geles de estos polímeros son expuestos a la luz del sol.

Para estudiar la reología de carbopoles a bajas velocidades de corte puede ser utilizado el equipo Brookfield. Se sabe que en los carbopoles el valor de la viscosidad es influido por pH, temperatura, concentración, velocidad de corte y tiempo, por ello, es necesario controlar estas variables, ya que cambios en ellas pueden llevarnos a determinaciones erróneas de la viscosidad.

e) Claridad de los geles.

La claridad de los geles es una medida de su transparencia, lo cual es una propiedad importante a la hora de la elección de un polímero para formularlo como cosmético o fármaco. Esta propiedad se mide con un espectrofotómetro uv-vis,

siguiendo su transmitancia a 420 nm, la presencia de burbujas de aire causa reflexión y refracción de la luz, por lo que pueden dar medidas erróneas de transmisión. El carbopol 934 y el 940 presentan 85% de transmitancia. La transmitancia del carbopol ultrez 10 debe ser del orden del 88% y una disolución al 0.5% medida a 20 rpm y 25°C mide entre 45000 y 65000 cps.

f) Consideraciones importantes.

Los geles carboméricos pueden verse alterados en sus propiedades de acuerdo a las condiciones del medio ambiente. Estas condiciones del ambiente incluyen el pH, temperatura, campo eléctrico, fuerza iónica, presencia de sales, fuerzas externas y disolventes. Los iones metálicos interfieren con la capacidad de hinchamiento del polímero, por lo cual es recomendable el uso de agua desionizada y en ocasiones de agentes quelantes.

Los carbopoles 934 y 940 ofrecen excelente estabilidad a altas viscosidades, produciendo formulaciones espesas tales como geles, sin embargo el carbopol ultrez 10 presenta ciertas propiedades más adecuadas para su elección como matriz de una formulación, entre ellas su facilidad de humectación y por lo tanto de dispersión.

3.2. Preparados para el afeitado

El afeitado, durante mucho tiempo, ha sido un procedimiento molesto. Como se ha señalado en la parte introductoria, se ha tratado de muchas maneras de eliminar estas molestias. En general, existen 2 grandes formas de afeitarse. Estas son, el afeitado en seco y el afeitado húmedo.

Con relación al afeitado en seco, se puede decir que este procedimiento generalmente se realiza empleando algún tipo de máquina eléctrica. En este caso, solo es necesario hacer funcionar el aparato de que se trate pasándolo sobre el

rostro en las zonas del mismo en las que exista el vello. No es necesario acondicionar el vello. Los resultados de este tipo de afeitado en general son buenos ya que es un procedimiento rápido y de pocas molestias. Además la remoción de la barba es prácticamente completa, o sea, el vello del rostro queda prácticamente al borde de la piel. Sin embargo, existen algunas desventajas de este tipo de afeitado, entre las que se señala el hecho de que el estado de los dispositivos de la máquina que hacen el corte del vello debe ser el óptimo ya que si estos dispositivos están en mal estado, no se hará el corte de forma completa y regular y además puede llegar a existir irritación de la piel. Para estos aparatos, es necesario que esté disponible el suministro de corriente eléctrica ya sea por medio de baterías o de alguna toma de corriente. Esto nos hace ver que en muchas ocasiones este tipo de aparatos diseñados para el afeitado tienen elevados costos y que no es posible emplearlos cuando no se cuenta con energía eléctrica adecuada. Además, cuando alguna pieza se desgasta no siempre es posible reemplazarla.

Otro tipo de método para eliminar el vello del rostro en seco es el depilado. Este consiste en desprender o "arrancar" el vello de la barba. Este tipo de procedimiento no es muy utilizado ya que es muy doloroso y produce inflamación de la piel y de los folículos pilosos, por ende, es muy factible que se pueda propiciar algún tipo de infección y daño severo a la piel.

También se puede hacer el afeitado en forma seca con rastrillos y navajas que solo requieren esfuerzo mecánico aplicado con las manos. Este se realiza deslizando la navaja o el rastrillo sobre el vello seco. Como en el caso anterior, este procedimiento no es recomendable debido al dolor y al daño a la integridad de la piel que se genera.

Dentro del afeitado húmedo se encuentran los procedimientos en los que se emplean navajas y rastrillos muy afilados que cortan el vello. Sin embargo, a diferencia del procedimiento en seco, se necesita un acondicionamiento del vello y

de la piel antes del empleo del rastrillo o de la navaja. Los pasos de este procedimiento pueden variar dependiendo de la persona, pero en general se realiza en cuatro grandes etapas; la primera consiste en el acondicionamiento del vello y la piel para que se reblandezcan y así disminuir la fricción al contacto con el rastrillo, para esto es que existen diversos productos. La siguiente etapa consiste en efectuar el corte del vello empleando el rastrillo, la tercera consiste en eliminar los restos de vello que se han cortado mediante un enjuagado y por último la adición a la piel de algún producto que de una sensación de limpieza en la piel o que prevenga de alguna posible infección ocasionada por alguna cortadura. El proceso de afeitado húmedo hecho con cuidado no debe resultar doloroso ni agresivo a la piel y debe ser posible hacerlo de manera rápida. Es obvio que un rastrillo desgastado o viejo no permitirá un afeitado adecuado a pesar de que los pasos realizados se hagan de manera correcta. La principal ventaja de este procedimiento con respecto al afeitado en seco reside en que la fricción del rastrillo sobre el vello disminuye notablemente; otra ventaja con respecto al uso de máquinas eléctricas está en el hecho de que solamente se requiere de energía mecánica para el corte del vello además los rastrillos y navajas tienen costos más económicos al de las máquinas de afeitar.

Dentro de los preparados para el afeitado húmedo, deben considerarse como básicos ciertos requerimientos entre ellos están el ablandar la barba, lubricar el deslizamiento de la hoja por la superficie del rostro y mantener enhiesto el pelo de la barba. Otros requerimientos muy importantes son que el preparado no debe irritar la piel, debe ayudar a eliminar el detrito del afeitado de la cara, debe ser estable encima de una gama de temperaturas, resistente a la desecación y colapsados rápidos, no corrosivo para la hoja de afeitar y fácil de eliminar al enjuagar la hoja de afeitar ⁴⁸.

En el rostro, en la piel, en una superficie de aproximadamente 250 cm² crecen alrededor de 20,000 a 25,000 terminales de pelos que sobresalen diariamente entre 250 y 500 micrómetros formando ángulos de 30 a 60 grados. Para un buen

afeitado húmedo hay que tomar en cuenta que es necesario un reblandecimiento de la barba; el reblandecimiento se produce por cambios en las propiedades mecánicas del pelo al absorber agua. Al 100% de humedad relativa, el pelo absorbe un 31% de su peso seco.

La hidratación del pelo requiere de cierto tiempo, la temperatura es un factor que influye sobre esto, se ha observado que este puede oscilar entre dos minutos a la temperatura ambiente a tres a una temperatura de 49°C. La velocidad de reblandecimiento de la barba se puede incrementar añadiendo un agente humectante al agua, aumentando el pH del agua y eliminando el sebo del pelo.

La fricción disminuye si la piel está seca, grasa o muy húmeda pero se eleva si está únicamente húmeda. La fricción de la piel se reduce con soluciones tensoactivas, aceites minerales y fluidos de siliconas, además cuanto más baja es la fuerza de fricción entre la hoja y la piel, mayor es el esfuerzo que se aplica y es mejor el resultado del afeitado.

El tipo de preparado para el afeitado influye de manera muy destacada en las propiedades de fricción que es posible distinguir entre diferentes tipos de formulaciones.

La importancia del esfuerzo aplicado es crucial en el afeitado ya que depende del esfuerzo aplicado a la hoja, superficie de contacto con la cara, velocidad de la hoja por la cara y viscosidad del preparado. A elevados esfuerzos por unidad de superficie y bajas velocidades de afeitado, probablemente predomine una lubricación límite, de modo que para un bajo coeficiente de fricción, el preparado para el afeitado debe tener una elevada viscosidad y formar una película condensada que interacciona fuertemente con la piel para conservar la integridad de la película lubricante. A leves esfuerzos por unidad de superficie y elevadas velocidades de afeitado, probablemente predomine la lubricación hidrodinámica. La viscosidad del preparado debe ser bastante elevada para proporcionar una

película de espesor suficiente para evitar un contacto áspero, pero posteriormente la viscosidad debe ser tan baja como sea posible.

Algunos de los tipos de preparados diseñados para el afeitado húmedo así como las características de estos se señalan a continuación:

Cremas de reblandecimiento de la barba.

Este tipo de preparados es útil para personas que poseen grandes diámetros de pelo. Se preparan principalmente usando componentes como jabones, tensoactivos sintéticos y en ocasiones urea que tiene el objetivo de proporcionar humectación y reblandecimiento más completos de la barba proporcionando un afeitado más suave y apurado.

Cremas de jabón de afeitar

Son dispersiones concentradas de jabones de metales alcalinos en glicerina y agua. Contienen normalmente del 30% al 50% de jabones. Se emplea el ácido esteárico en combinación con ácidos grasos de aceite de coco. También se requiere la adición de ciertos humectantes como glicerina, sorbitol o propilenglicol. Emolientes como lanolina, alcohol cetílico, aceite mineral y ésteres de ácidos grasos se emplean en bajas concentraciones.

Espumas aerosoles para afeitar.

Este tipo de preparados son emulsiones aceite-agua en las que las gotitas de un propulsor licuado bajo presión constituyen parte de la fase oleosa. Cuando la emulsión se descarga a la atmósfera, las gotitas dispersas del propulsor se vaporizan, produciendo espuma formada por las burbujas de vapor propulsor rodeadas de una fase acuosa tensoactiva; la cual es muy efectiva en la preparación del pelo para el afeitado.

En los últimos 30 años pocos estudios han sido reportados sobre investigación en productos para afeitado. Caben destacar los realizados sobre lociones para después del afeitado con el fin de evitar la pseudofoliculitis ⁴⁹ u otros en los que se reportan **formulaciones nuevas** ^{50, 51, 52} o **estudios de contaminación bacteriana, fúngica o por metales** ⁵³

ZD Draelos ⁵⁴ hace una revisión del fenómeno del afeitado, desde la **propiedades del pelo** hasta el uso de ciertas sustancias. Otro trabajo de interés al respecto es el hecho por Wickett, R. R. ⁵⁵, quien estudió la diferencia de eficiencia entre el uso de una máquina de afeitar eléctrica y el procedimiento de afeitado húmedo con geles mediante la medición del tamaño de la barba. Mientras, S. Weinstein ⁵⁶ en otro estudio relacionado estudió los efectos del preparado de afeitar sobre la suavidad de la piel

El estudio de las **propiedades fisicoquímicas** de los preparados para el afeitado ha sido poco efectuado, sin embargo, entre los más interesantes encontramos el **estudio reológico** realizado por Breuer ⁵⁷, en una espuma para afeitado a la cual se midieron sus propiedades viscoelásticas usando un reómetro oscilatorio. Otros investigadores interesados en las propiedades fisicoquímicas de este tipo de preparados ⁵⁸ se han encargado de estudiar el uso de nuevos componentes en la formulación, como son alcoholes grasos propoxilados, y sus diagramas de fase. Y el estudio del efecto del agua y de preparados para afeitar sobre la capacidad de hinchamiento del pelo ⁵⁹

Cabe destacar el estudio llevado a cabo por D. E. Deem y col. ⁶⁰, en el cual se estudia la fuerza requerida para cortar un pelo de la barba en diferentes condiciones. Muestran que para cortar un pelo húmedo es necesario un 65% de fuerza menor que para cortar un pelo seco, ya que tras 2 minutos el pelo de la barba es casi completamente hidratado a temperatura ambiente.

Con respecto a los estudios de **humectabilidad del pelo** se ha reportado por ejemplo el de *A. DeSmedt y Van Reeth, I.* ⁶¹ donde se analizó la humectabilidad del pelo por técnicas de fluorescencia de R-X. También han sido hechos trabajos en los que se estudia la superficie del pelo, por ejemplo por métodos de light scattering ⁶².

Y otros muchos estudios se han llevado a cabo estudiando diferentes propiedades del pelo, como brillo, estudios de su superficie, de fricción, etc. ^{63, 64, 65}, pero pocos se han llevado a cabo sobre su humectabilidad, destaca el de *YK Kamath* ⁶⁶, donde relaciona la humectabilidad de la fibra con el daño mecánico y químico del pelo.

3.3. Reología

La reología es la ciencia que estudia el flujo y la deformación de la materia.

Para la reología es importante definir las características de cada estado, desde este punto de vista un sistema es sólido si su forma y su volumen se conservan; es líquido si solo se conserva el volumen y es gaseoso si no hay conservación de volumen ni de forma. En reología, existen modelos a considerar cuando se estudia la materia en cualquiera de sus tres estados. Cuando se estudia un sólido, la reología lo considera como ideal si es deformable cuando se le aplica una fuerza pero recupera forma y volumen al cesar las fuerzas que lo deforman. Cuando esto ocurre así, se dice que el sólido es un sólido elástico ideal ⁶⁷.

Otro concepto involucrado importante en reología es la deformación. Este es un fenómeno que experimenta la materia al ser sometida a algún tipo de fuerza ejercida sobre una superficie. Como esta fuerza actúa sobre una área, en realidad se está aplicando una presión sobre el sólido, pero también existe una fuerza que se opone a esta presión que es la que produce la recuperación de la forma en el

sólido ideal. A este tipo de fuerzas lo podemos llamar tensión. Estos fenómenos están caracterizados por el cambio en las dimensiones de la materia. Si aplicamos una fuerza sobre un sólido este puede experimentar dos sucesos: En uno de ellos, la longitud de este sólido se incrementa, en el segundo suceso, este puede disminuir su longitud. El resultado observable del sólido es que a este le ocurre deformación ya sea por curvatura, flexión, compresión, torsión o corte. Si consideramos a un sólido elástico ideal, es claro que la tensión aplicada es directamente proporcional a la deformación. Hooke planteó una relación matemática para este comportamiento⁶⁸. Esta es conocida como ley de Hooke y se expresa como sigue.

$$\frac{F}{A} = E \left[\frac{L_s - L_0}{L_0} \right] \quad \text{Ecuación 1}$$

De esta expresión, **F** es la fuerza que actúa sobre el sólido y **A** es la sección de área sobre la que actúa esta fuerza. **L_s** es la longitud de una sección del sólido cuando está bajo tensión y **L₀** es la longitud original. **E** es una constante de proporcionalidad que es una medida de la rigidez, dureza o resistencia que presenta el sólido a la elongación y a esta constante se le llama módulo de Young. Esta constante es característica para cada material. Dicha constante está expresada en unidades de fuerza sobre área y en el sistema CGS esto quiere decir Din/cm². Un valor alto de módulo de Young significa que el sólido posee una gran rigidez mientras que un valor no muy elevado significa que el material de que se trate tiene muy poca resistencia a la elongación.

El caso anterior es característico de un sólido, pero en el caso de un líquido también es posible observar que es posible que le ocurran cambios al ser sometido a una fuerza, es decir, son deformables, sin embargo, se ha observado que la única fuerza que es capaz de soportar (ya que puede recuperarse de esta) es la tensión. Cualquier otro tipo de tensión originará en un líquido una deformación infinita y por lo tanto el módulo de Young en un líquido valdrá cero.

La deformación en un líquido puede denominarse flujo. Para poder explicar lo anterior podemos imaginar a un líquido contenido en dos grandes placas paralelas y planas separadas entre sí por una cierta distancia relativamente pequeña y además que el líquido contenido en estas placas está formado a su vez por láminas planas que están superpuestas una sobre otra. Considerando que a tiempo inicial este sistema está en reposo pero que al cabo de cierto tiempo la lámina inferior del líquido se desplaza en dirección horizontal a velocidad constante. Entonces ocurre un deslizamiento de la lámina inferior del líquido y para que ocurra el deslizamiento se ha necesitado aplicar una fuerza F . Debido a la fricción, la lámina adyacente superior se ha desplazado una distancia ligeramente menor a la lámina inferior y a su vez una tercera lámina superior a la segunda se ha desplazado una distancia aún menor a la segunda y así sucesivamente con cada lámina hasta la última lámina que se encuentra en contacto con la placa superior que contiene al líquido. Esta última lámina se encontrará estacionaria y por consiguiente su velocidad de desplazamiento será cero. Un ejemplo ilustrativo del fenómeno anterior es el de un mazo de cartas que es empujado de manera horizontal y toda la descripción anterior es una descripción de la deformación de un líquido.

Al considerar que en el sistema anterior transcurre cierto tiempo, el líquido contenido entre las dos placas gana cantidad de movimiento, finalmente se establece un perfil de velocidad en un régimen estacionario. Al ser alcanzado este estado, es necesario aplicar una fuerza F de valor constante para que pueda conservarse el movimiento en la lámina inferior ⁶⁹. La fuerza aplicada puede expresarse con la siguiente relación:

$$\frac{F}{A} = \eta \left(\frac{V}{Y} \right) \text{ Ecuación 2}$$

En la expresión anterior, F/A es la fuerza aplicada por unidad de área, V es la velocidad de flujo e Y es la distancia entre las dos placas. También observamos

que en la anterior expresión aparece una constante " η " a la que denominamos viscosidad.

Cabe destacar que la expresión anterior es válida solamente en condiciones de flujo laminar. El flujo laminar es una condición que se da cuando la velocidad de flujo tiene un valor menor a ciertos límites; cuando la velocidad rebasa ciertos valores, el flujo se vuelve turbulento. Los valores que dan la característica de flujo laminar o de flujo turbulento están dados por el número de Reynolds.

De acuerdo a la expresión anterior, podemos señalar que la viscosidad es una propiedad física que presenta un fluido y que está relacionada con el flujo de dicho fluido. Formalmente se define a la viscosidad como "la resistencia o fricción que un fluido presenta al movimiento". Es decir, la viscosidad es la resistencia de un líquido a fluir.

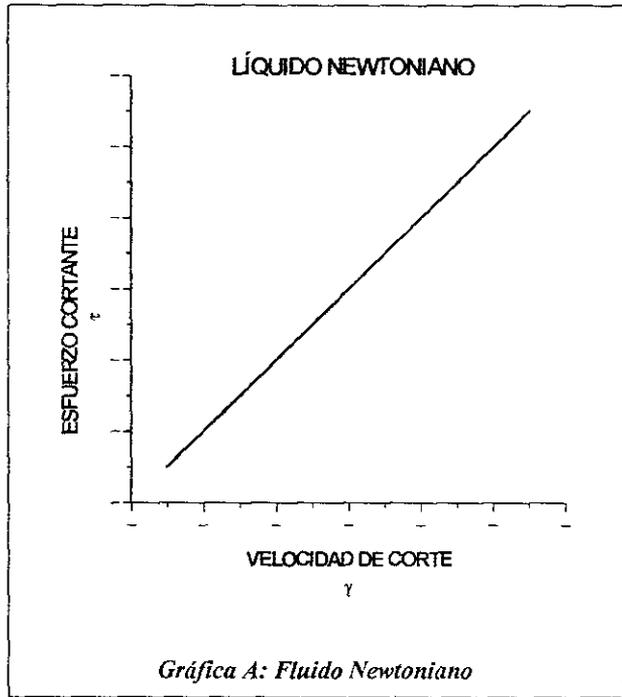
Otra explicación de la expresión anterior es la siguiente:

$$\tau = \eta \times \gamma \quad \text{Ecuación 3}$$

En esta ecuación (η) representa una magnitud llamada coeficiente de viscosidad, (τ) es el esfuerzo cortante (llamado también tensión de cizalladura o tensión de cortadura) y (γ) representa la velocidad de corte (o intensidad de cortadura o cizalladura)

Ahora bien, la resistencia al flujo o mejor dicho la viscosidad es una propiedad que varía para cada líquido. Los fluidos pueden comportarse de dos maneras: como líquidos newtonianos o como líquidos no newtonianos. El líquido newtoniano es aquel para el cual la representación del esfuerzo cortante en función de la velocidad de deformación es una línea recta. Haciendo esta consideración, la pendiente de esta recta es el coeficiente de viscosidad.

Este tipo de fluido tiene algunas características muy importantes como son el que carece de propiedades elásticas, es incompresible, isótropo e "irreal". Esto último quiere decir que ningún líquido conocido tiene este comportamiento solamente algunos líquidos se comportan de esta



manera en un amplio intervalo de tensiones de cizalladura. Ejemplos de líquidos newtonianos son los líquidos puros y las disoluciones verdaderas. Se considera, en términos generales, que una disolución tiene comportamiento de líquido newtoniano si el soluto llega a formar una cadena macromolecular de menos de 1000 átomos. La concentración también ha de considerarse ya que una disolución macromolecular a concentraciones bajas también ofrece comportamiento de fluido newtoniano. Otra observación importante de Newton es el hecho de que el coeficiente de viscosidad varía con la temperatura. El aumento de temperatura origina un descenso en la viscosidad. Se ha observado que a valores de viscosidad más elevados, la influencia de la temperatura es más notoria. Por ejemplo, la viscosidad en el agua disminuye entre un 1% y un 3.5% por cada centígrado que se aumenta la temperatura mientras que la brea puede disminuir su viscosidad alrededor de un 30% al pasar de 20°C a 21°C. Esto es muy importante en el caso de preparados como los geles ya que para realizar cualquier

determinación de viscosidad, es necesario primero controlar de manera muy cuidadosa la temperatura de experimentación porque una precisión menor al 5% en la variación de la temperatura provocará errores en la determinación.

La explicación que se da a este fenómeno menciona que al aumentar la temperatura de un fluido, aumenta el volumen del mismo, pero disminuye el número de moléculas por unidad de volumen. Además, las interacciones moleculares en el seno del líquido también influyen en el valor de la viscosidad.

Se ha llegado a una expresión que relaciona a la viscosidad con la temperatura. Dicha expresión es

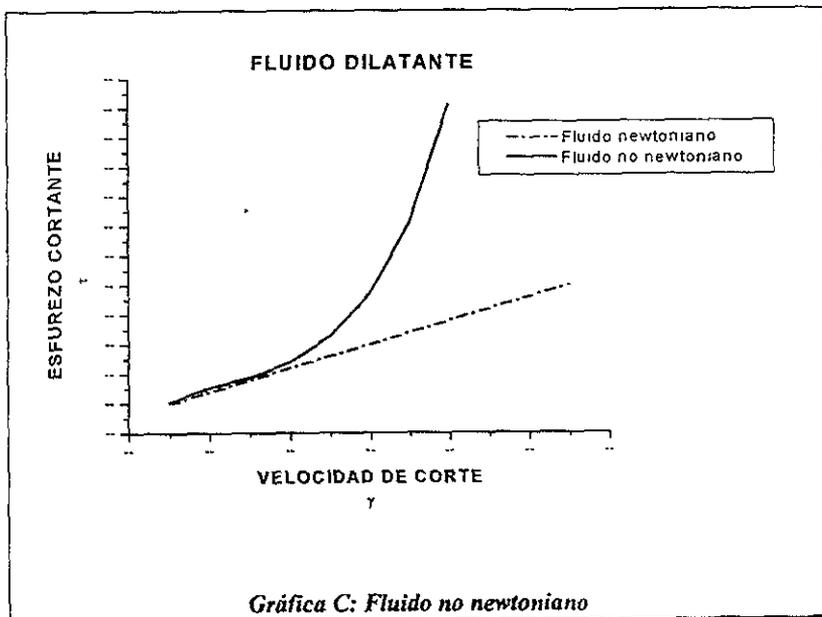
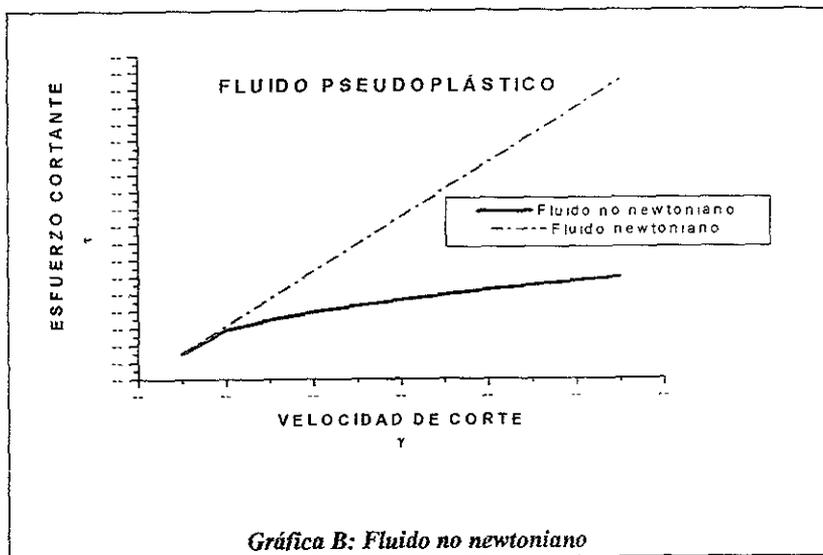
$$\text{Log} \eta = \left(\frac{B}{T} \right) + C \quad \text{Ecuación 4}$$

En esta ecuación, $\text{Log} \eta$ es el logaritmo base 10 de la viscosidad, T es la temperatura y B y C son constantes características para cada fluido.

Hasta aquí, se ha tratado del comportamiento de un líquido newtoniano, no obstante, una gran cantidad de líquidos no sigue el comportamiento señalado anteriormente, es por ello necesario considerar esto en el caso de geles de carbómeros.

Al recordar el significado de las variables expresadas en la ecuación 3, apreciamos que la pendiente de la curva que se genera al graficar el esfuerzo cortante vs velocidad de corte es el coeficiente de viscosidad. Pero, cuando se tratan de graficar ciertos tipos de líquidos como son las suspensiones o las emulsiones, es decir, sistemas dispersos, no se obtiene la figura correspondiente a un líquido newtoniano sino que se observan dos tipos de curvas. El comportamiento observado de este tipo de sistemas es evidente que no sigue las

observaciones hechas por Newton por lo que se denominan estos líquidos como fluidos no newtonianos



Para este tipo de fluidos, es más adecuado utilizar otro tipo de variable, la cual se denomina coeficiente de viscosidad aparente (η_{app}) o tensión tangencial dividida por la velocidad de corte. La expresión matemática para este enunciado es análoga a la ecuación 3.

$$\eta_{app} = \frac{\tau}{D} \quad \text{Ecuación 5.}$$

No obstante, hay que dejar claro que la viscosidad aparente no es una constante ya que depende de la tensión tangencial.

Formalmente se define a un líquido no newtoniano como: "aquel que exhibe un flujo uniforme, pero para el que no es constante la relación entre tensión de cortadura y velocidad de deformación".

Se han definido cuatro tipos básicos de comportamientos para los líquidos no newtonianos⁶⁸, dos de ellos independientes del tiempo:

a) Pseudoplasticidad.

Los líquidos pseudoplásticos son aquellos que disminuyen su valor de viscosidad aparente al ser sometidos a altas velocidades de deformación que cuando se someten a bajas velocidades de deformación. (Gráfica B)

b) Dilatancia.

El fenómeno de dilatancia se da cuando hay un aumento de viscosidad independiente del tiempo a altas velocidades de deformación: η_{app} aumenta al aumentar D. Este comportamiento es opuesto a la pseudoplasticidad. (Gráfica C)

Hay dos de ellos dependientes del tiempo:

a) Tixotropía

La tixotropía es una disminución de la viscosidad dependiente del tiempo. El comportamiento es similar al pseudoplástico. Manteniendo una velocidad de deformación constante, η_{app} desciende con el tiempo, de manera que esta magnitud no depende solo de la velocidad sino también de la duración de la deformación

b) Reopexia.

Este es un aumento de la viscosidad aparente dependiente del tiempo. La reopexia es el fenómeno inverso de la tixotropía, por lo que es muy importante un control cuidadoso en las determinaciones de la viscosidad

3.4. Tensión superficial

Una propiedad muy importante que presentan los fluidos es la tensión superficial. Esta es una característica propia de la interfase existente entre la superficie del fluido y el medio externo. Para el diseño de una formulación adecuada para el afeitado debe tomarse en cuenta dicha propiedad ya que en buena medida se puede relacionar a la tensión superficial con la humectación que pueda tener el vello de la barba al momento del corte, es decir, una formulación que posea características adecuadas de tensión superficial acondicionará mejor la barba permitiendo que el pelo se reblandezca y la fuerza del rastrillo a aplicar sobre la barba sea menor.

La comprensión de los fenómenos asociados a la tensión superficial es obligada en el estudio y en el desarrollo de este trabajo.

En un líquido encontramos moléculas en constante movimiento, estas se encuentran en interacción unas con otras, haciendo colisiones entre ellas y

generando también entre ellas fuerzas de atracción en todas las direcciones. Este tipo de fuerzas atractivas son conocidas como fuerzas de Van Der Waals. El resultado de esto es un equilibrio de fuerzas. Sin embargo, en la superficie del líquido existen otras condiciones, ya que una parte de estas moléculas está en contacto con algún tipo de gas (que bien puede ser el aire) o con algún otro líquido. En esta región, las moléculas de la superficie experimentan un empuje hacia el interior del líquido lo cual se refleja en una contracción de la superficie, fenómeno que ocurre además de manera espontánea, el líquido entonces se comporta como si estuviera rodeado de una "membrana invisible". Esto explica por ejemplo, la forma esférica de las gotas en un líquido, la resistencia que presenta un líquido a la penetración superficial y la elevación de líquidos a través de tubos capilares ⁶⁷.

La breve descripción del fenómeno anterior nos lleva a definir formalmente a la tensión superficial como: "la fuerza que actúa perpendicularmente a cualquier línea de longitud unitaria sobre la superficie de un líquido" Otra definición más precisa nos explica que la tensión superficial es "el trabajo necesario para aumentar a temperatura constante y de modo reversible el área de una superficie en una unidad".

Como la tendencia de cualquier líquido es disminuir su superficie, todo incremento en su superficie solo puede ser efectuado por medio de un gasto en forma de trabajo, entonces la tensión superficial es una fuerza en dinas que actúa sobre una superficie de 1 cm de longitud o un trabajo en ergios necesario para generar un cm de área superficial. De esta afirmación se plantea la siguiente expresión:

$$\gamma = \frac{W}{\Delta a} \quad \text{Ecuación 6}$$

En ella, w es el trabajo efectuado para variar una magnitud de área Δa y esto es igual a la tensión superficial que se representa como γ .

Otra observación muy importante referente a lo explicado anteriormente está en el hecho de que en la interfase aire-líquido los valores de tensión superficial son determinados en gran medida por la estructura química del líquido del que se trate. También es importante señalar que un líquido al estar en contacto con un sólido u otro líquido puede presentar dos tipos de comportamientos: o bien se contrae en forma de gotas, o bien muestra una tendencia a extenderse sobre la superficie del sólido o del líquido con el cual esté en contacto.

En resumen, entre dos fases hay una tendencia a minimizar el área de contacto entre ellas y por lo tanto se observará una separación de fases, sin embargo, como es posible la interacción entre moléculas de la interfase puede ocurrir que la separación de fases sea contrarrestada y una sustancia se extienda sobre otra.

Es importante mencionar que las fuerzas de adhesión son las "fuerzas de atracción entre diferentes fases". Y las fuerzas de cohesión que son "las fuerzas de atracción entre moléculas de la misma fase"

Se ha señalado de acuerdo con estos dos conceptos que la tensión superficial refleja la naturaleza de las fuerzas intermoleculares y esto explica el porque de las grandes diferencias entre los valores de tensión superficial entre distintos líquidos.

De los anteriores conceptos se desprende que si en dos sustancias distintas el trabajo de adhesión es mayor que el trabajo de cohesión en una de ellas, habrá una extensión espontánea de la sustancia con mayor trabajo de adhesión sobre la otra

Experimentalmente, se han desarrollado varios métodos para el estudio de la tensión superficial ⁶⁸, cuatro de ellos han sido empleados con éxito en diversos análisis. Se muestra a continuación una breve descripción de estos:

1.-Método de elevación capilar

Este consiste en la elevación de un líquido por un tubo capilar que es un tubo muy estrecho, se ha observado que este método es de gran exactitud, sin embargo, una desventaja del método es que no es posible aplicarlo en tubos que no sean estrechos pues es necesario un ángulo de contacto de cero entre la pared del capilar y el menisco formado por el líquido al ascender por el tubo. Además, en la práctica no es muy fácil conseguir tubos con diámetro interior uniforme.

2.-Método de la placa de Wilhelmy.

Este método consiste en la separación de una placa de vidrio o mica de la superficie del líquido en estudio. Dicha placa está colgada de una balanza la cual mediante la acción de una fuerza efectuará un tirón o jalón con la cual se podrá evaluar el valor de la tensión superficial de la sustancia en estudio.

3.-Método del anillo.

Este método consiste en la aplicación de una fuerza para la separación de un anillo de una superficie de líquido, la fuerza aplicada puede ser registrada como en el método anterior por medio de una balanza o empleando un tipo de sistema de hilo de torsión como es el caso del Tensiómetro de Du Nouy. Este método requiere del uso de anillos perfectamente planos y limpios, de que no existan fuerzas de tensión verticales en el líquido y de que el ángulo de contacto entre el anillo y el líquido sea siempre de cero.

4.-Método del volumen y peso de la gota.

Este es un método de implementación sencilla desarrollado por Harkins y Brown y de rápida aplicación, para el que no se requiere equipo complejo y que además muestra resultados confiables.

El método consiste en medir el peso y volumen de las gotas del líquido en estudio que se desprenden en forma lenta de la punta de un tubo estrecho y montado verticalmente. Dicho tubo debe tener una superficie limpia y pulida y al momento de la determinación la punta debe ser mojada completamente por el líquido. Otros cuidados que hay que observar consisten en evitar movimientos o vibraciones de la punta del tubo que puedan alterar su posición vertical y de verificar que la gota sea formada muy lentamente para que pueda alcanzar la forma esférica.

Es preciso aplicar un factor de corrección en este método debido a que la gota formada no se desprende totalmente de la punta del tubo y porque las fuerzas de tensión superficial no son totalmente verticales en casi todos los líquidos

Para poder conocer la tensión superficial de un líquido por este método, ha de aplicarse la siguiente expresión:

$$\gamma = \frac{\Phi mg}{2\pi r} \quad \text{Ecuación 7.}$$

En esta expresión, γ es la tensión superficial, Φ es el factor de corrección antes descrito, mg es el producto del peso de la gota obtenido multiplicado por la constante gravitacional de Newton y es igual a 9.81 m/s^2 , π es igual a 3.1415, r es el radio de la punta donde se forma la gota. Cabe aclarar que el factor de corrección requiere de que se conozca el radio y el volumen de la gota y ya conociendo estas magnitudes es posible calcular el factor con la siguiente expresión:

$$\Phi = \frac{r}{v^{1/3}} \quad \text{Ecuación 8.}$$

En la expresión escrita anteriormente, r es el radio y v es el volumen que deberá elevarse a la potencia de $1/3$. Finalmente el valor del factor de corrección ha de obtenerse correspondiendo ϕ con valores mostrados en tablas en las que se muestra el valor a emplear en la ecuación 7.

3.4.1. Humectación

La humectación del vello de la barba es una característica que está relacionada con la tensión superficial. Esto es debido a que el grado de humectación está relacionado con el ángulo de contacto formado entre un líquido y la superficie del vello en el punto de contacto.

Cuando existe humectación completa, el ángulo de contacto es cero mientras que en condiciones en las que no existe ningún tipo de humectación el ángulo de contacto puede alcanzar valores cercanos a 180° .

4.-PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Como se ha señalado, el afeitado es un procedimiento que es indispensable en el aseo y la apariencia del rostro. Por esto es indispensable diseñar productos que tengan características tales que permitan realizar el afeitado de manera efectiva.

Los carbopoles son un grupo de sustancias formadoras de geles con las que es posible elaborar preparados que contengan los componentes necesarios para un afeitado adecuado.

Una característica indispensable para el rasurado adecuado es la humectación del vello de la barba, esta humectación dependerá de la liberación del agente humectante contenido en la red de carbómero.

Otra característica deseable en estos preparados es que deben tener una viscosidad adecuada la cual está relacionada con la facilidad de aplicación en la barba y con la apariencia del producto.

Por esto, la problemática involucrada en la elaboración de productos para el afeitado comienza con el hecho de conocer cual es el carbómero mas adecuado para ser empleada como una adecuada matriz de liberación para humectantes, que proporcione la viscosidad requerida para su fácil extensibilidad y buena apariencia y que además mantenga su valor en un amplio intervalo de temperaturas.

Además, es necesario conocer en que se basa la eficiencia de estos preparados debido a que esto se encuentra íntimamente relacionado a su estructura microscópica. En la bibliografía se han reportado pocos trabajos relacionados con este tema.

5.-OBJETIVOS.

1. - Seleccionar la matriz más adecuada para la formulación de un gel para el afeitado en función de los cambios de la viscosidad con la temperatura y la concentración de carbopol.
2. - Estudiar la estructura microscópica de los geles por técnicas de microscopía electrónica.
3. - Conocer la influencia sobre la tensión superficial de los diferentes componentes de una formulación en gel para el afeitado
4. - Relacionar la estructura de un gel (tamaño de poro de la red tridimensional) con los siguientes parámetros: Viscosidad, concentración, liberación de sus componentes, tensión superficial y capacidad de humectación.
5. -De acuerdo a la relación obtenida de los parámetros anteriores. Entender la eficacia de los geles carboméricos para el afeitado.

6.- PARTE EXPERIMENTAL.

6.1. Materiales.

En el desarrollo de la metodología experimental se emplearon los siguientes materiales.

Carbopol 934(Goodrich, México, Multiquim)

Carbopol 940, (Goodrich, México, Multiquim).

Carbopol ultrez 10 (Goodrich, México, Multiquim).

Etanolamina (Sigma)

Propilenglicol, Carbowax 600, Brij 30, Sorbitol al 70% (Química Barsa).

Papel filtro Whatman No. 44.

6.2. Equipo empleado.

Viscosímetro Brookfield RVT.

Baño de agua con termostato

Microscopio electrónico de Barrido JEOL

Equipo de diálisis San Vicente y asociados

Mezclador tipo ultraturrax. (Polyscience X-120)

6.3. Desarrollo experimental.

El desarrollo experimental de este trabajo estuvo integrado por varias etapas las cuales se enumeran a continuación

- 1 -Evaluación de la viscosidad de los carbómeros sintéticos derivados del ácido acrílico. (carbopol 934, carbopol 940 y carbopol ultrez 10) Realizada sin neutralización del carbómero a pH de aproximadamente 2.6.
- 2 -Evaluación de la tensión superficial de los componentes de la formulación.
3. -Estudio microscópico de los geles elaborados a partir de la neutralización de los carbómeros anteriores
4. -Evaluación de la viscosidad de la formulación.
5. -Estudio de la liberación del agente tensoactivo incluido en la formulación.

Evaluación de la viscosidad de los carbopoles 934, 940 y ultrez 10.

En esta etapa se siguieron los pasos que a continuación se describen.

a)Preparación de las dispersiones

Este paso consistió en preparar los sistemas dispersos en agua desionizada a partir de cada carbómero. Para este fin se seleccionaron las concentraciones de trabajo siguientes: 0.2%, 0.4%, 0.6% 0.8% y 1.0%. Todas en % peso-volumen. En este intervalo de concentraciones es posible obtener geles de buena consistencia. Concentraciones menores de carbopol no permiten una buena lectura de viscosidad con el viscosímetro Brookfield y concentraciones muy elevadas de

carbopol dan dispersiones semisólidas que también son difíciles de leer con el viscosímetro empleado.

En cada preparación se siguió el siguiente procedimiento:

Se pesó la cantidad adecuada de carbómero en polvo para la preparación de cada concentración y se fue adicionando dicho polvo poco a poco y con agitación por medio de un mezclador tipo ultraturrax a un volumen de agua desionizada hasta la dispersión homogénea del polvo en el agua. Se seleccionó una velocidad de agitación lenta (5000-7000 RPM) y constante para conseguir una dispersión homogénea, libre de espuma y burbujas de aire. En los casos en los que se observó formación de burbujas, se dejó reposar la dispersión hasta la eliminación de las burbujas. Para el caso de los carbómeros 934 y 940 fue necesario hacer esto a temperatura de entre 60°C y 70 °C para facilitar la dispersión. En el caso del ultrez 10 se efectuó lo anterior a temperatura ambiente. (Alrededor de 30°C) Por último se llevó cada preparación al volumen adecuado para alcanzar la concentración deseada.

b) Realización de perfiles reológicos de las dispersiones.

En este paso, las dispersiones líquidas preparadas se colocaron en baño con termostato a temperatura controlada. Se emplearon 20°C, 25°C, 30°C, 35°C, 40°C, y 45°C para cada perfil.

Posteriormente, se introdujo al recipiente con la dispersión a estudiar una aguja de viscosímetro Brookfield RVT. Para los tres carbopoles a concentraciones de 0.2% se empleó la aguja No. 1 y para las restantes concentraciones se empleó la aguja No 2. Esto se hizo debido a que para las concentraciones de 0.2% la aguja No 2 es poco sensible para determinar la viscosidad de los geles. Se tuvo especial cuidado en verificar que el volumen de líquido a evaluar cubriese totalmente la marca de la aguja y que ésta no estuviese en contacto con las paredes o con el

fondo del recipiente para evitar lecturas incorrectas de la viscosidad, posteriormente, se comenzaron a obtener lecturas de viscosidad iniciando con la velocidad más baja del aparato (0.5 RPM) obteniendo tres datos antes de cambiar la velocidad y cambiando después a la siguiente velocidad, repitiendo esta secuencia hasta llegar a la velocidad de 50 RPM.

Con estos pasos fue posible obtener gráficas de viscosidad aparente en función de la velocidad de corte a diferentes temperaturas y concentraciones de carbómero para obtener un parámetro comparable independiente del equipo y de la velocidad de corte

Estudio microscópico de los geles elaborados a partir de la neutralización de los Carbómeros.

a) Neutralización de los carbómeros para la elaboración de los geles.

Este paso consiste en variar el valor de pH de las dispersiones con el objeto de conseguir la formación de un gel semisólido cuya consistencia está en función del valor de pH alcanzado.

Para lograrlo, se adicionó etanolamina a cada concentración de carbómero agitando con mezclador tipo ultraturrax durante un tiempo aproximado de 5 minutos y después de esto se mide con potenciómetro el valor de pH alcanzado en cada muestra para obtenerse muestras que van desde valores de pH cercanos a tres hasta muestras de gel con valores cercanos a diez.

De este modo se contó con una serie de muestras de carbómero a diferentes concentraciones y a diferente valor de pH para su observación en microscopio electrónico.

b) Observación de las muestras en microscopio electrónico.

Las muestras anteriores son colocadas en el portamuestras de un microscopio electrónico de barrido del tipo JEOL y en condiciones de bajo vacío se obtienen imágenes a distintos aumentos con el fin de obtener la estructura generada a los distintos valores de pH. De las imágenes obtenidas se hace el estudio de tamaño de poro promedio obtenido en cada red observada para establecer la relación entre estructura, concentración y valor de pH.

Evaluación de la tensión superficial de los componentes de la formulación

a) Preparación de las muestras de componentes a determinar tensión superficial

Considerando que la formulación para el afeitado propuesta consta de un tensoactivo (brij 30) y de algunos componentes que pueden modificar las propiedades tensoactivas de la formulación se evaluó la tensión superficial mostrada por separado en cada uno de estos.

Componentes a evaluar tensión superficial:

Componente a evaluar	Función	Proporción
propilenglicol	Humectante	1.5%
Carbowax 600	Lubricante	2.0%
Sorbitol al 70%	Humectante	0.5%
Brij 30	Tensoactivo	0.25%
Carbopol ultrez 10	Base	0.35%

Tabla A: Componentes y proporción de los mismos en la formulación para el afeitado.

Evaluación en forma separada:

Cada componente anterior se evaluó en forma separada aplicando el método de peso de la gota (Descrito en el capítulo de antecedentes, p.41). Para el caso del

Brij 30, se prepararon las concentraciones de 0.15%, 0.20%, 0.25%, 0.30%, y 0.35%.

Para el carbowax 600 se evaluó la tensión superficial a concentraciones de 1.0%, 1.5%, 2.0%, 2.5%, y 3.0%.

El propilenglicol fue evaluado a concentraciones de 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0% y 2.5%.

El sorbitol se evaluó a concentraciones de 0.3%, 0.4%, 0.5%, 0.6%, y 0.7 %.

El carbopol fue evaluado a concentraciones de 0.002%, 0.004%, 0.02%, 0.04% y 0.1%. La evaluación a estas concentraciones se hizo debido a que a concentraciones mas elevadas de carbopol no es aplicable el método del peso de la gota, ya que el gel fluye a través de la columna sólo a través de fuerzas de presión aplicadas dentro de la columna y cuando estas presiones hacen que el gel fluya, no hay formación de gotas esféricas. Esta es una condición necesaria para la aplicación del método. Con las concentraciones empleadas en esta parte, es posible extrapolar los valores de tensión superficial obtenidos a los valores de 0.2%, 0.4%, 0.6%, 0.8% y 1.0% a los que se deseaba estudiar este parámetro.

Finalmente se preparó una solución con sorbitol al 70% en concentración de 0.5%, carbowax 600 a concentración de 2.0%, propilenglicol a concentración de 1.5%, y brij 30 en concentración de 0.25%.

b) Aplicación del método del peso de la gota.

Se introdujo separadamente cada solución en una bureta graduada a cuya punta fue medido su radio utilizando un Vernier, luego, se dejaron caer en forma individual 20 gotas de cada solución a recipientes secos y previamente pesados. El siguiente paso fue conocer el peso de las gotas. Sin embargo, para introducir

este dato en la ecuación 7 ($\gamma = \frac{\Phi mg}{2\pi r}$) fue necesario aplicar un factor de corrección establecido para este método y publicado en forma de tabla y así obtener el valor de tensión superficial de cada solución.

Evaluación de la viscosidad de la formulación

a) Preparación de formulaciones para el afeitado

En este paso, se prepararon 50mL de formulaciones para el afeitado en 5 concentraciones distintas: 0.2%, 0.4%, 0.6%, 0.8%, y 1 0% en peso / volumen de carbopol.

La preparación constó de los siguientes pasos:

a.1) Mantener un volumen de agua a temperatura de aproximadamente 30°C.(+/- 1°C)

a.2) Dispersar el carbómero en la superficie del agua y mezclar con agitación mecánica.

a.3) Adicionar manteniendo leve agitación (5000-7000 RPM aproximadamente) el propilenglicol, el sorbitol, y el carbowax 600.

a.4) Llevar la preparación a pH de 6 adicionando la cantidad necesaria de etanolamina para este fin. Aumentar la velocidad de agitación

a.5) Adicionar el brij 30 y mezclar hasta obtener un aspecto homogéneo.

Las formulaciones preparadas se introducen en un baño de agua con termostato ajustado a 25°C y se mide la viscosidad de cada gel empleando la aguja No. 6 y una velocidad de 20 RPM. La selección de esta velocidad se debió a que bajo

estas condiciones se obtiene una lectura más confiable (A velocidades mayores o menores la aguja indicadora se sale de la escala de lectura)

Estudio de la liberación del agente tensoactivo incluido en la formulación.

El objetivo de este experimento fue el de establecer una relación entre la estructura del gel y la liberación del agente tensoactivo bajo condiciones controladas de temperatura.

En la realización de esta etapa se utilizaron los geles para el afeitado elaborados en la etapa anterior. Un gramo de cada gel fue colocado centro de la celda del equipo empleado para la liberación. En el otro lado de la celda se colocó un mililitro de agua desionizada. Para separar los dos compartimentos se empleó a manera de membrana una superficie de papel filtro Whatman No 44.

El equipo de difusión se ensambló y se introdujo en baño de agua a 37°C y se hizo girar empleando el motor diseñado para ello

Después de 5 minutos de giro, se saca el equipo y se separan las celdas, se recolecta el líquido de uno de los compartimentos y se evalúa la tensión superficial de cada uno. Empleando nuevamente el método del peso de la gota.

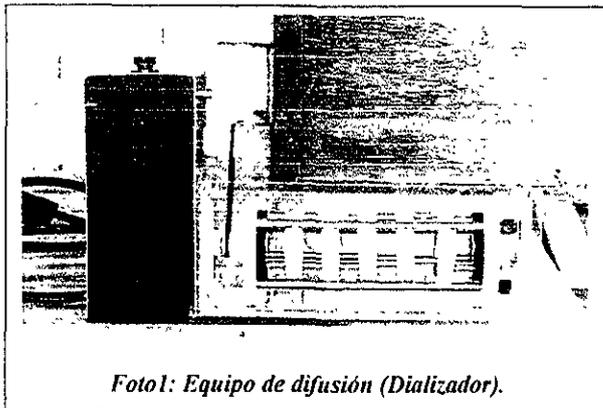


Foto 1: Equipo de difusión (Dializador).

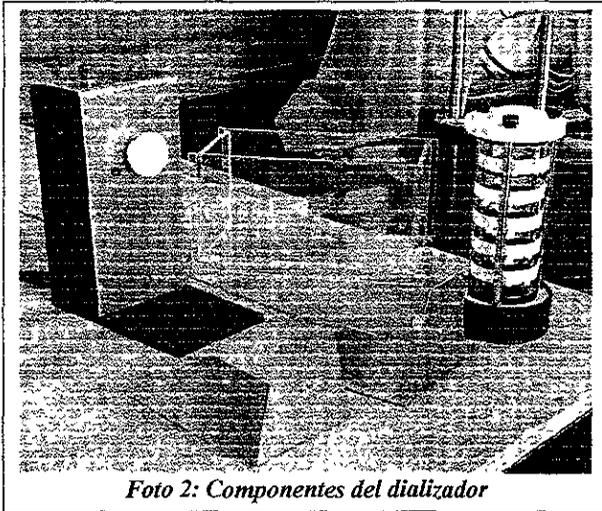


Foto 2: Componentes del dializador

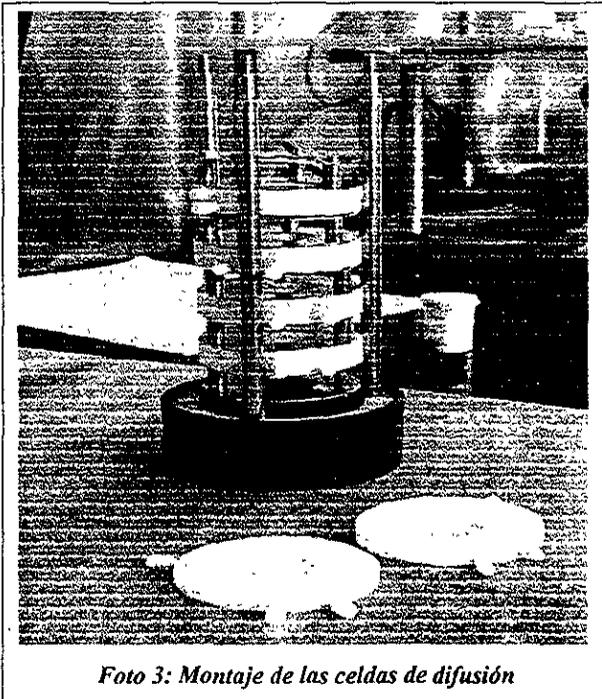


Foto 3: Montaje de las celdas de difusión

7.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. PERFILES REOLÓGICOS

En el estudio de las dispersiones de tres distintos tipos de carbopoles (Carbopol 934, carbopol 940 y carbopol ultrez 10) se han obtenido diferencias en el comportamiento de la viscosidad aparente en función de la temperatura y en función de la velocidad de corte. Los perfiles reológicos de los carbopoles estudiados muestran importante información acerca de estos parámetros.

En las siguientes tablas (tablas *I*, *II* y *III*) se muestran los datos experimentales de los parámetros estudiados (Los cuadros en blanco significan que a esas condiciones no fue posible la obtención del dato experimental debido a la baja viscosidad de las dispersiones)

Velocidad de corte (RPM)	Carbopol 934				
	Viscosidad aparente (cps)				
0.5				1200	1866.7
1	53.3	100	560	733.3	1333.3
2.5	22.7	40	80	432	746.7
5	11.3	13.3	48	320	440
10	10	12.7	40	240	300
20	6.5	12.5	38.7	166.7	222
50	10	19	33.3	113.3	140

Tabla I: Viscosidad aparente en función de la velocidad de corte a 303K.

Velocidad de corte (RPM)	Carbopol 940				
	Viscosidad aparente (cps)				
0.5	33.4	46.6	700	4800	24933.6
1	50	50	500	2800	13332
2.5	20	38.4	333.2	1392	6000
5	12.7	30	240	869.4	3320
9.68935	10	26.6	170	540	1880
20	8.3	22.5	119.5	340	1086.6
50	13.268	26	104	200	548

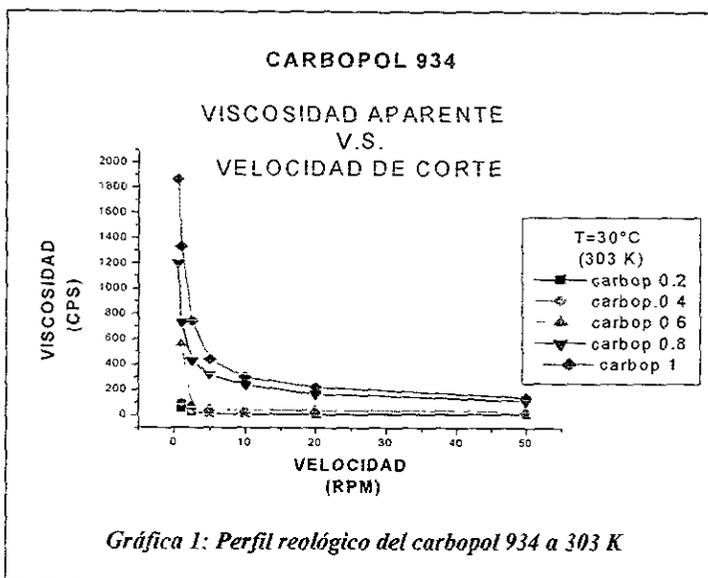
Tabla II: Viscosidad aparente en función de la velocidad de corte a 303K.

Velocidad de corte (RPM)	Carbopol ultrez 10				
	Viscosidad aparente (cps)				
0.5	226	160	186.6	413.4	4334
1	100	100	106.7	286.7	2573
2.5	40	50.7	77.2	166.7	1293.2
5	28.6	24.7	56.7	120	790
10	15.3	15	45	80	500
20	11.5	12.5	38.4	89.2	324.7
50	17	16	38	52.7	195.3

Tabla III: Viscosidad aparente en función de la velocidad de corte a 303K.

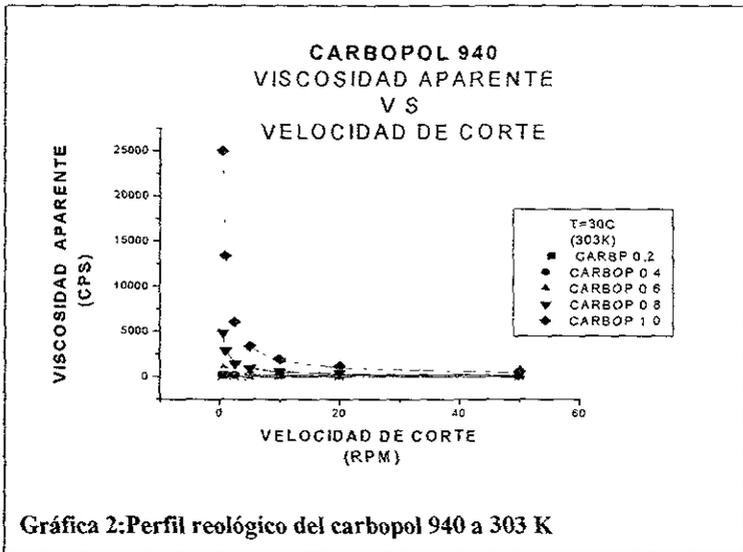
(La representación gráfica de los datos de estas tablas se muestra en las gráficas 1, 2 y 3)

En el análisis de la gráfica 1, correspondiente a la relación entre la viscosidad aparente frente a la velocidad de corte a 303 K para el carbopol 934, observamos que hay una disminución de

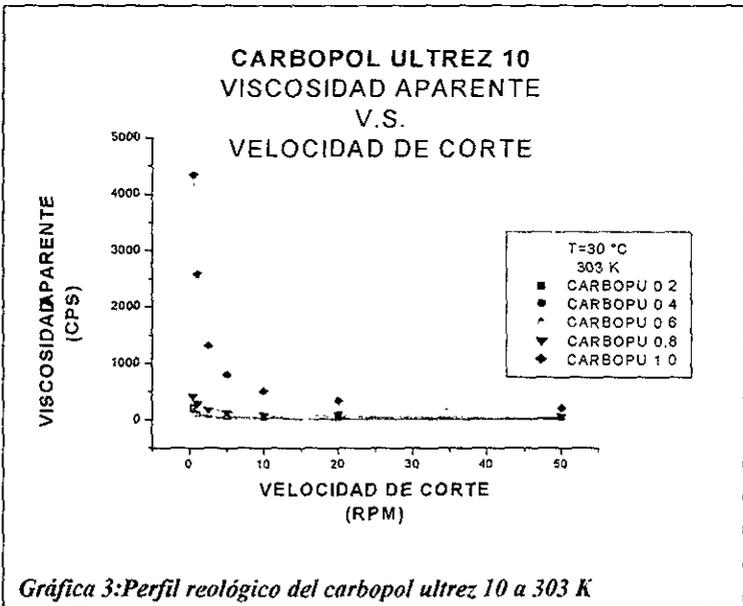


la viscosidad aparente en función de la velocidad de corte. La variación de la viscosidad aparente a velocidades de corte bajas es muy notoria mientras que al aumentar la velocidad de corte la disminución de la viscosidad es menos drástica. Esto es un ejemplo típico de un fluido no newtoniano tipo pseudoplástico. Sin embargo una de las características que se observó en las dispersiones no neutralizadas de este carbopol es que cuando las concentraciones son bajas, la viscosidad aparente tiene valores muy bajos que no permiten su determinación correcta por la metodología empleada.

Con respecto a la influencia de la concentración de carbopol 940 sobre la viscosidad aparente, se puede apreciar que esta afecta en forma considerable a la viscosidad. (Gráfica 2) Este comportamiento no lo hace una buena matriz para la incorporación de activos porque cualquier aumento en la concentración lleva consigo un incremento muy notable en la viscosidad. Esto hace que la dispersión sea poco manejable y que la difusión de los activos sea muy lenta.



En el caso del Carbopol ultrez 10 podemos observar que los valores de viscosidad no son tan elevados como en el caso del Carbopol 940 ni

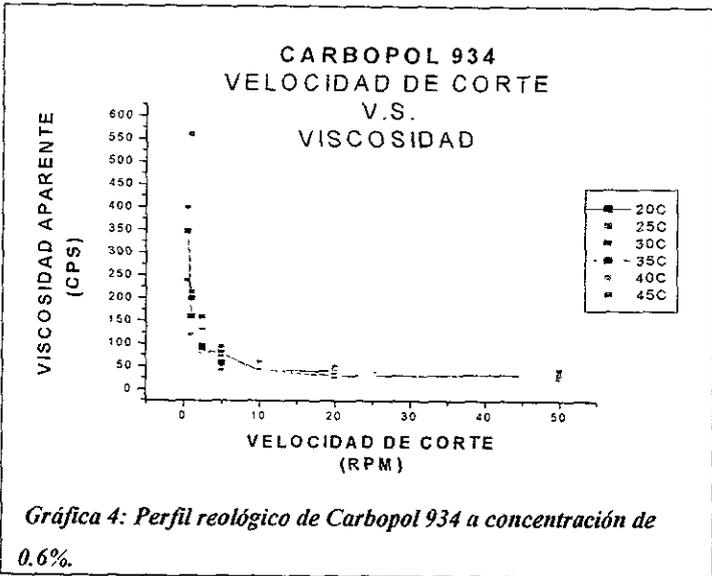


tampoco son tan bajos como en el caso del Carbopol 934. Esto es una ventaja con respecto a dichos carbopoles, ya que por una parte la elaboración del gel resulta

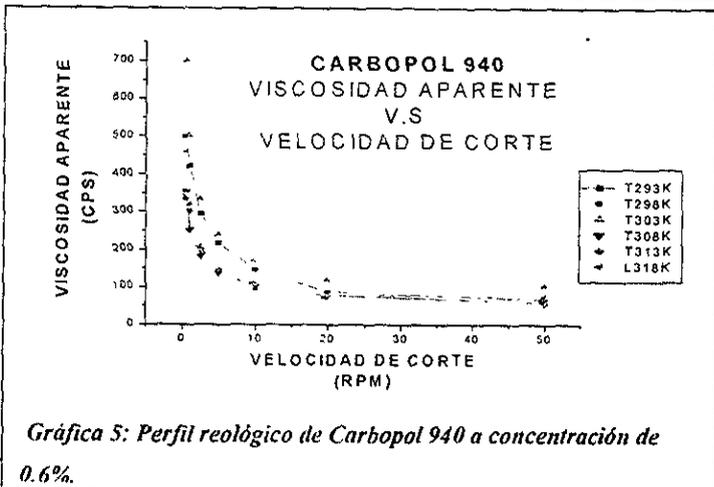
mucho más fácil debido a su facilidad de flujo y por otra parte es más confiable determinar el valor de viscosidad y de este modo es mas predecible.

Por otra parte el análisis de los perfiles a una concentración de 0.6% y a diferentes temperaturas también proporciona información que es importante representar en las siguientes gráficas(Gráficas 4, 5 y 6):

En relación con la temperatura, para el carbopol 934 no hay resultados que permitan predecir con seguridad cuál será el comportamiento de la viscosidad al aumentar o disminuir la temperatura.

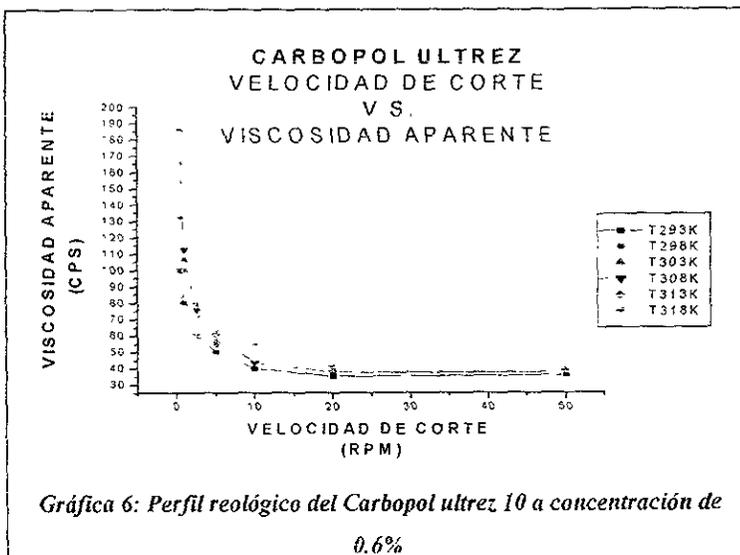


En términos generales hay una disminución de la viscosidad al incrementarse la temperatura, pero, no hay una variación que permita hacer



predicciones confiables.

Comparando estas tres gráficas se puede deducir menores cambios de la viscosidad en función de la temperatura. cuando se mantiene



constante la concentración del polímero, se presentan con el carbopol ultrez 10.

En las gráficas 1 a 6, los símbolos son los datos experimentales, mientras que las líneas son los ajustes no lineales. La viscosidad en función de la velocidad de corte ha sido correlacionada usando la ecuación empírica de Williamson

$$\eta = \frac{\eta_0}{c + (b\gamma)^c} \quad \text{Ecuación 9}$$

Siendo η la viscosidad aparente, η_0 la viscosidad cuando la velocidad de corte tiende a cero, b la consistencia y c un índice de velocidad.

Concentración de Carbopol 934	Temperatura (K)					
	293	298	303	308	313	318
	Viscosidad cuando la velocidad de corte tiende a cero η_0 (cps)					
0.2%	210 ± 10		190 ± 10	290 ± 10	80 ± 8	37 ± 6
0.4%	150 ± 10		1500 ± 100	200 ± 20	410 ± 30	450 ± 30
0.6%	560 ± 40	570 ± 40	2800 ± 200	1700 ± 70	380 ± 30	1300 ± 50
0.8%	2670 ± 40	970 ± 50	4100 ± 100	4200 ± 100	960 ± 20	5100 ± 100
1%	3110 ± 70	5800 ± 100	6300 ± 80	7800 ± 200	1300 ± 100	8200 ± 200

Tabla IV: Viscosidad en cps cuando la velocidad de corte tiende a cero.

Concentración de Carbopol 940	Temperatura (K)					
	293	298	303	308	313	318
	Viscosidad cuando la velocidad de corte tiende a cero η_0 (cps)					
0.2%	20 ± 2	63 ± 5	60 ± 8	100 ± 20	330 ± 30	50 ± 8
0.4%		150 ± 10	67 ± 3	100 ± 10	103 ± 9	57 ± 1
0.6%	810 ± 8	670 ± 10	1100 ± 30	900 ± 20	680 ± 9	1300 ± 30
0.8%	7200 ± 100	21500 ± 200	14900 ± 300	17000 ± 300	17000 ± 300	74000 ± 900
1%	46400 ± 600	159000 ± 2000	209000 ± 1000	22000 ± 600	120000 ± 700	136000 ± 800

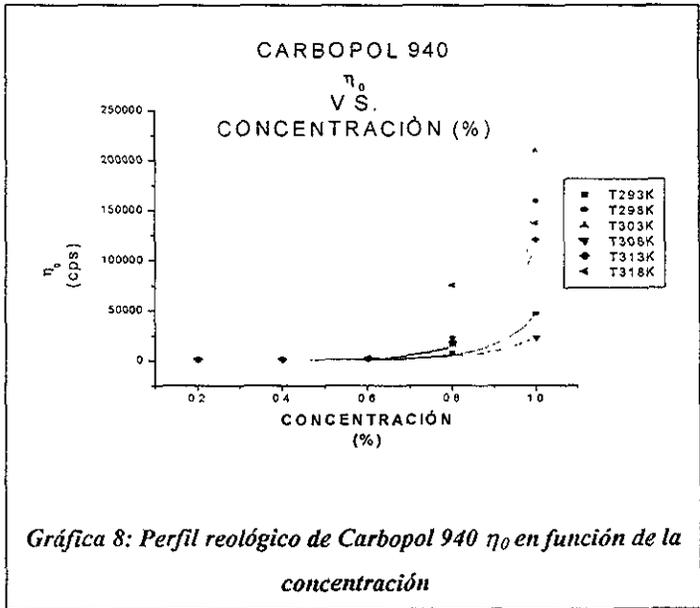
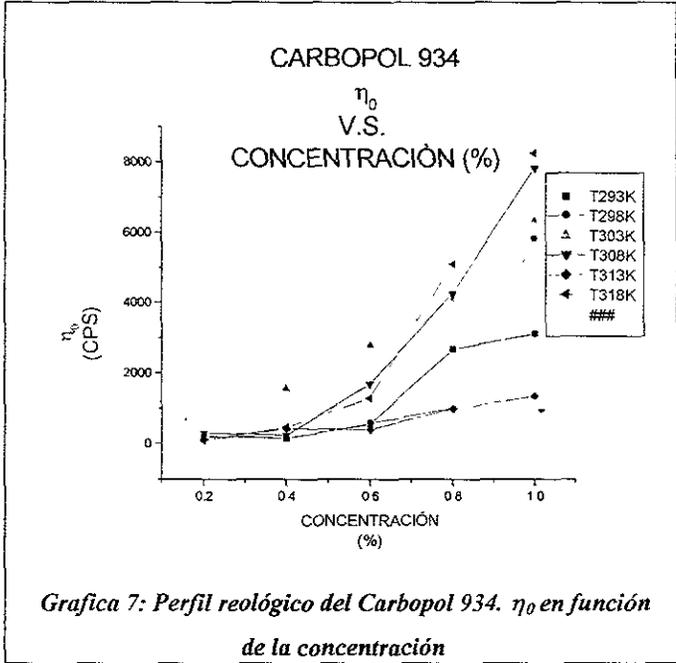
Tabla V: Viscosidad en cps cuando la velocidad de corte tiende a cero

Concentración de Carbopol ultrez 10	Temperatura (K)					
	293	298	303	308	313	318
	Viscosidad cuando la velocidad de corte tiende a cero η_0 (cps)					
0.2%	21 ± 4	140 ± 10		16 ± 3		26 ± 2
0.4%	27 ± 3	200 ± 20	310 ± 20	42 ± 4	160 ± 10	20 ± 3
0.6%	250 ± 8	400 ± 20	270 ± 20	250 ± 10	250 ± 20	290 ± 20
0.8%	360 ± 20	450 ± 20	1200 ± 40	840 ± 10	1300 ± 30	1560 ± 30
1%	8000 ± 100	12100 ± 200	13800 ± 200	15000 ± 200	3800 ± 60	11100 ± 300

Tabla VI: Viscosidad cuando la velocidad de corte tiende a cero

Con los datos de los valores de η_0 que se obtienen de cada perfil y relacionándolos con la concentración empleada de cada carbopol, (Representados en las tablas IV, V y VI) se construyen las gráficas 7, 8 y 9 con las que relacionamos la viscosidad cuando la velocidad de corte tiende a cero en función de la concentración.

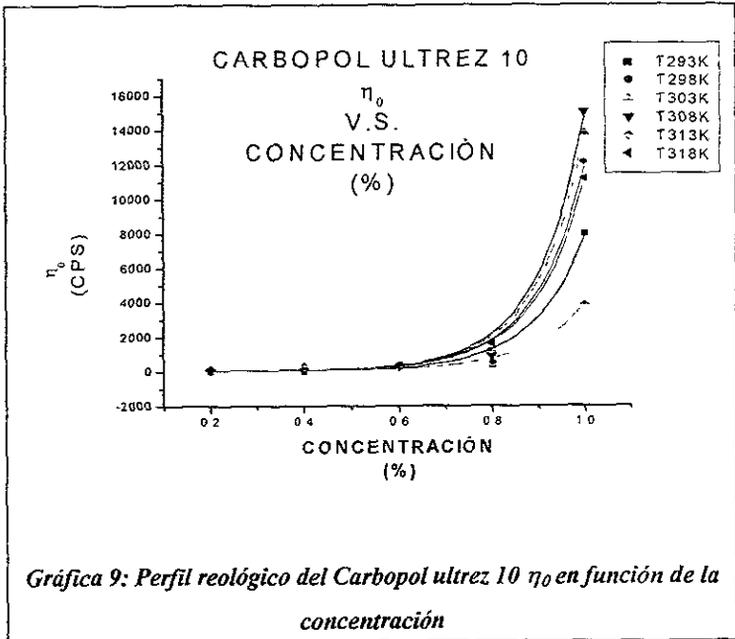
Para el caso del carbopol 934, la η_0 en función de la concentración da como resultado un comportamiento aleatorio. En especial, se nota que a concentraciones elevadas no hay correspondencia con respecto a la temperatura. Se puede decir que en algunos casos es prácticamente lineal, lo que indica que la influencia de la concentración sobre la viscosidad a velocidad de corte cero no es excesivamente grande.



En el caso del

carbopol 940, vemos que la relación es mas adecuada, sin embargo, en la gráfica se puede ver que por ejemplo a temperatura de 293K se obtiene un mayor valor de η y el siguiente valor ligeramente menos elevado se observa a 303. Esto nos da idea de que el comportamiento sigue siendo difícil de relacionar

Si observamos la gráfica 9, se ve que hay una mejor relación entre η_0 y la concentración además de que hay una dependencia mas adecuada con respecto a la temperatura. En todos los casos vemos



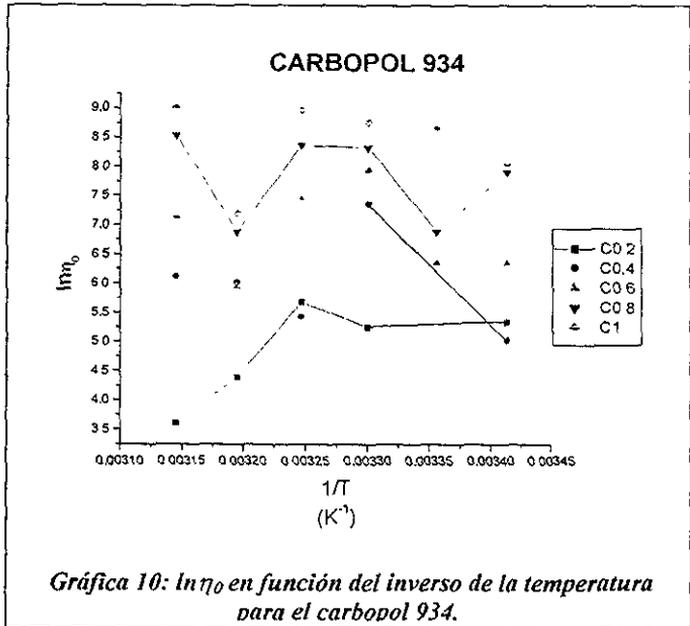
que al aumentar la concentración existe un aumento en η_0 , sin embargo, la viscosidad más elevada se obtiene a 303K mientras que a temperaturas más altas, se obtienen viscosidades más bajas. Esto nos está indicando que a concentraciones mayores a 0.4, se obtiene un valor de viscosidad adecuado para un correcto flujo del gel, pero si empleamos concentraciones más elevadas de 0.6% la viscosidad se incrementa de manera mucho más considerable y por otra parte, es afectada en modo más apreciable con la temperatura.

Cuando se grafica $\ln \eta_0$ vs. $1/T$, es posible ajustar los datos obtenidos mediante la ecuación 9. (p.58) De aquí podemos obtener parámetros importantes que pueden obtenerse de la siguiente expresión:

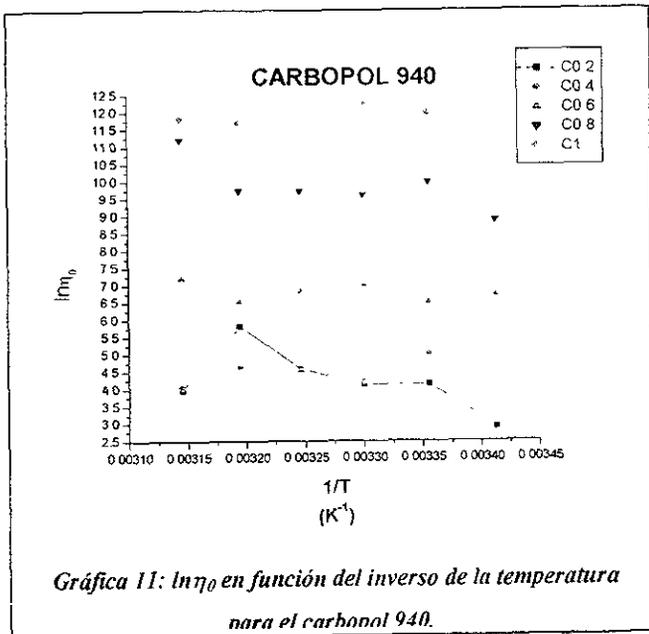
$$\ln \eta_0 = A + \frac{E_a}{R} * \frac{1}{T} \quad \text{Ecuación 10}$$

En esta expresión, **A** es la ordenada al origen y E_a/R es la pendiente. E_a denota la energía de activación en cal/mol, **R** es la constante universal de los gases y es igual a 1.987 cal/mol K. **A** es un valor constante y **T** es la temperatura absoluta. En esta expresión, es de notar que si se obtiene un valor mayor de la constante **A** que de la energía de activación se va a obtener un cambio muy rápido en la viscosidad con respecto a la temperatura. Las gráficas 10, 11 y 12 ilustran el cambio de la viscosidad con la temperatura en nuestros carbopoles:

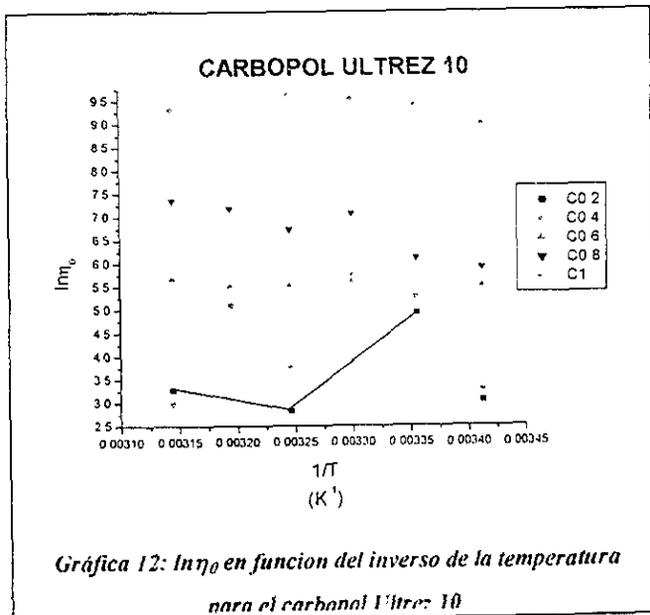
En el caso del carbopol 934, no hay una buena relación entre las dos variables, no hay un adecuado ajuste de los datos con el modelo propuesto, esto es más evidente cuando se emplean datos a concentraciones bajas.



En el caso de los otros dos carbopoles, observamos que no hay un buen ajuste, pero al mirar las concentraciones intermedias de 0.6% y 0.8% el ajuste es un poco mejor que a concentraciones elevadas o bajas. Esto nos ayuda a tener una mejor perspectiva en cuanto a la concentración más adecuada a emplear en el gel



Una concentración un poco menor a 0.6% de carbopol ultrez 10 nos puede dar un gel con un comportamiento mucho más adecuado. El escaso ajuste en la ecuación nos está indicando un probable cambio muy grande de estructura con respecto a la temperatura. Esto nos ayuda a concluir

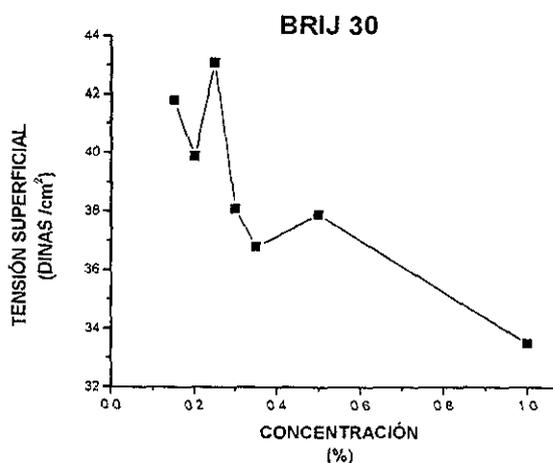


que la temperatura puede afectar la liberación de los tres geles debido al cambio en la estructura y que el cambio más apreciable ocurre en el carbopol 934 seguido del carbopol 940 y el cambio menos apreciable está en el ultrez 10. por este motivo lo consideramos como el mas adecuado como matriz de liberación de los activos de la formulación para el afeitado.

7.2. ESTUDIOS DE TENSIÓN SUPERFICIAL

En lo referente a los estudios de tensión superficial, fue necesario determinar la influencia de los componentes sobre las propiedades tensoactivas en la formulación para el afeitado, para este motivo, se presentan las siguientes graficas en las que es posible analizar dicha influencia. En todas ellas se evaluó la tensión superficial en función de distintas concentraciones de cada componente.

Los componentes que se evaluaron y cuyas gráficas se presentan fueron analizados por separado y fueron disueltos previamente en agua desionizada



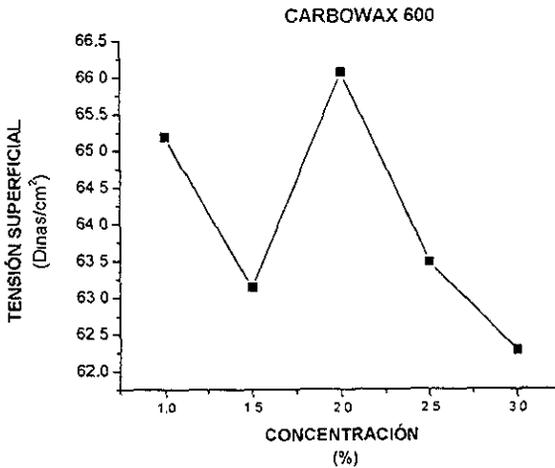
Gráfica 13: Variación de la tensión superficial con la concentración para el Brij 30.

Considerando que en la formulación para el afeitado que se evaluó se empleó el brij 30 como tensoactivo debido a su eficacia como tal en diversas formulaciones y dada su disponibilidad y facilidad de manejo, fue necesario el análisis de tensión superficial en forma experimental, para poder comprobar si a la concentración empleada

en la formulación, el brij 30 efectivamente puede ejercer su papel de tensoactivo. La gráfica 13 nos muestra el comportamiento hallado para esta sustancia:

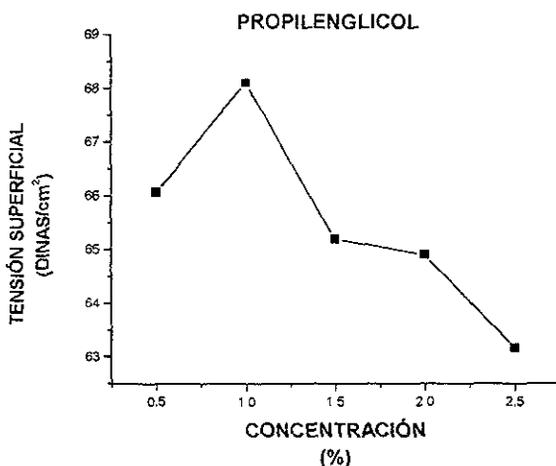
En esta gráfica podemos apreciar que el brij 30, en efecto, muestra propiedades tensoactivas ya que hay una tendencia a disminuir la tensión superficial conforme la concentración de tensoactivo va en aumento. Esto da una información importante en el uso de este componente en el gel porque al disminuir la tensión superficial es posible mejorar la humectación del pelo y con ello disminuir la fuerza de fricción, siendo posible un afeitado más cómodo.

Sin embargo, la influencia de los otros componentes del gel pudiera afectar las propiedades tensoactivas ya sea aumentando la tensión superficial o disminuyéndola de modo apreciable. Por este motivo las siguientes gráficas nos permiten conocer la influencia de los otros componentes sobre la tensión superficial.



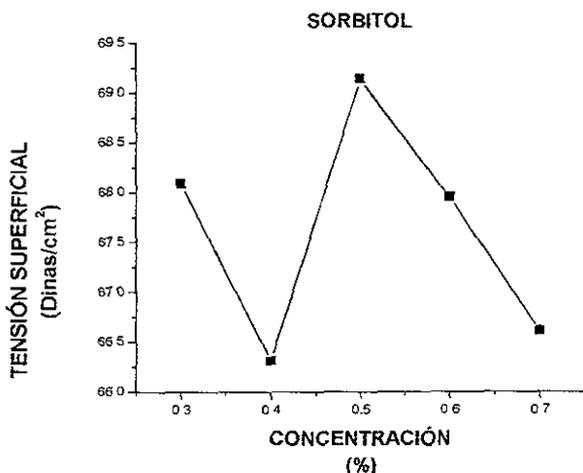
Gráfica 14: Variación de la tensión superficial con la concentración para el carbowax 600.

En la gráfica 14, es muy apreciable la falta de relación entre la tensión superficial y las distintas concentraciones de carbowax empleadas. En realidad se observa un comportamiento en el cual no hay una tendencia de la tensión superficial a disminuir al emplear concentraciones cada vez mayores de carbowax, con ello, es posible afirmar que debido a que el carbowax es un Polietilenglicol de elevado peso molecular que cuenta con grupos hidrofílicos y cadenas hidrofóbicas existe un ligero comportamiento tensoactivo, lo cual todavía lo hace mejor para las propiedades humectantes de nuestro gel



Gráfica 15: Variación de la tensión superficial con la concentración para el propilenglicol

En este caso (gráfica 15) también podemos afirmar que existe una ligera relación entre la tensión superficial del propilenglicol y su concentración. A concentración de 1% se observa un aumento muy notable de la tensión superficial y posteriormente una disminución pero a la siguiente concentración se vuelve a notar un aumento. Esto nos muestra que el propilenglicol influye ligeramente sobre las propiedades tensoactivas del gel. Como en el caso anterior la estructura del propilenglicol con sus grupos hidrofílicos y su parte hidrofóbica son los responsables de este efecto en el gel.



Gráfica 16: Variación de la tensión superficial con la concentración para el sorbitol

El estudio de la tensión superficial para este componente (gráfica 16) también nos muestra que existe alguna ligera relación entre la tensión superficial y la concentración de sorbitol, la influencia sobre la tensión superficial de la formulación es limitada. Al inicio se obtiene un valor relativamente elevado mientras que a la siguiente concentración el valor de la tensión disminuye en forma muy drástica. A valor de concentración 0.5% la tensión vuelve a elevarse a un máximo para disminuir progresivamente a las siguientes concentraciones. De todo esto se puede expresar que hay una leve tendencia del sorbitol a aumentar o disminuir la tensión superficial y por lo tanto que la influencia sobre esta propiedad en el gel es mayoritariamente dada por el Brij 30.

Si consideramos que el sorbitol ($C_6H_{14}O_6$) es un compuesto que tiene también grupos hidrofílicos e hidrofóbicos que originan que se esté presentando el leve efecto tensoactivo que se observa.

En otro experimento en el que se evaluó a todos los componentes con excepción del carbopol se obtuvo el siguiente valor de tensión superficial

COMPONENTE	CONCENTRACIÓN (%)	TENSIÓN SUPERFICIAL(g) (Dinas/cm ²)
SORBITOL AL 70%	0.5	43.97
PROPILENGLICOL	1.5	
CARBOWAX 600	2.0	
BRIJ 30	0.25	

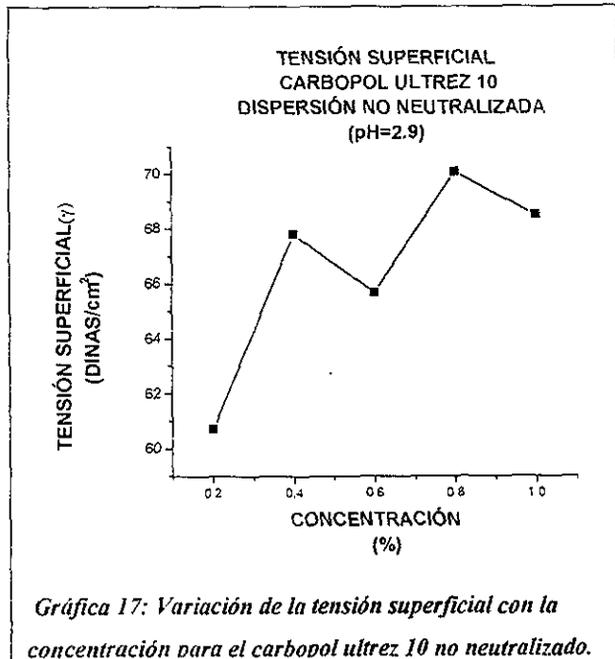
Tabla VII: Tensión superficial de los componentes del gel con excepción de la base

En la tabla *VII* se observa que el valor de la tensión superficial de la mezcla de componentes da un valor muy aproximado al valor obtenido en la gráfica correspondiente cuando la concentración de Brij 30 es muy cercana a 0.25%. El resultado de la tabla anterior es importante porque con ello se observa que hay un efecto muy limitado sobre la tensión superficial de los distintos componentes distintos al Brij 30. Los otros componentes de la formulación como lo son el sorbitol, el propilenglicol, y el carbowax tienen un efecto que modifica en forma muy pequeña el valor de la tensión superficial del brij 30, es decir, en la formulación para el afeitado el efecto de humectación que se tenga se deberá casi exclusivamente al Brij 30 y en menor medida a cualesquiera de los otros componentes participantes en la formulación.

Se consideró además la posibilidad de que el carbopol ultrez 10 presente actividad como tensoactivo. Si esto fuese cierto, entonces el efecto del Brij puede ser ocultado o enmascarado por la propiedad tensoactiva del carbopol haciendo innecesario el uso de este componente o también sería posible que el carbopol incrementara el efecto tensoactivo del Brij 30, así que por ello se muestra el comportamiento de la tensión superficial del carbopol ultrez 10 con respecto a distintas concentraciones y considerando que el efecto del pH pudiese influir sobre esta propiedad se describe el comportamiento del carbopol ultrez al pH de la dispersión y al pH de la formulación.

En ambas gráficas encontramos un comportamiento interesante el cual se explica a continuación:

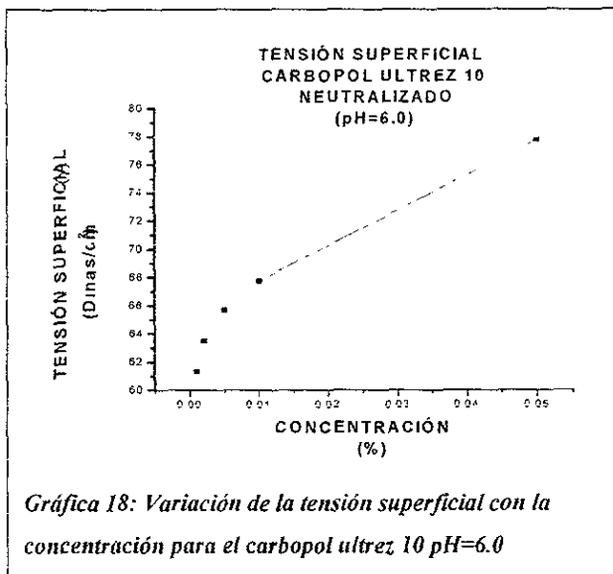
En la gráfica 17 a pH 2.9 se observa una tendencia a aumentar la tensión superficial al aumentar la concentración, podría pensarse que la irregularidad mostrada en el comportamiento (dada por los picos que se observan) no indica una relación de la concentración con la tensión superficial, pero, al observar la gráfica del carbopol a



pH=6.0, se aprecia una clara tendencia a aumentar la tensión superficial con la concentración. Esto es un indicativo de que a una concentración mas elevada de

carbómero hay una gran tensión superficial lo que reflejará una humectación muy baja, y por lo tanto es necesario el empleo del brij 30 para disminuir este elevado valor

Por otra parte es necesario hacer algunas observaciones respecto a estas dos gráficas. En la que contiene los datos a pH=2.9, el método del peso de la gota empleado en la determinación no mostró ninguna



limitante en su aplicación por ello es fácilmente aplicable el método sin que sea pertinente hacer alguna modificación en cuanto al manejo de las concentraciones. Al observar los datos contenidos en la gráfica 18 a pH=6.0 es de notarse que las concentraciones empleadas como la variable independiente son mucho menores. El motivo de esta selección se basó en la limitación del método ya que si se emplean las mismas concentraciones que en el caso de la no-neutralización, el método es difícil de aplicar puesto que no se observa contacto con la superficie externa de la punta de la bureta (lo que nos está mostrando falta de humectación) y además no es posible el flujo del gel hacia el exterior del tubo siendo necesaria la aplicación de una fuerza de presión para provocar el descenso del gel, de este modo al aplicar presión para hacer descender el gel lo que se obtenía no era una gota en forma esférica sino más bien una forma cilíndrica. Esto es una limitante al método del peso de la gota cuya aplicación exige, por una parte, la condición de contacto entre la superficie externa de la bureta y el fluido a evaluar y por otra parte también indica que es necesaria la geometría esférica de las gotas para que

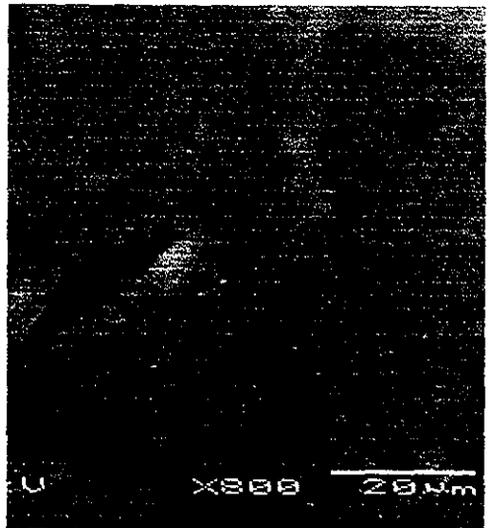
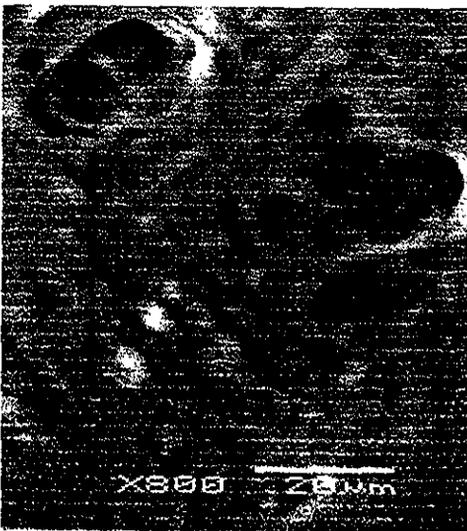
sea posible la evaluación de la tensión. Un empleo de concentraciones mas bajas de ultrez 10 neutralizado permite la formación de gotas esféricas y la humectación de la punta de la bureta.

Recapitulando, en el estudio de la tensión superficial, se aprecia que el efecto en la tensión superficial de la formulación final es casi exclusivamente del Brij 30. Además se observó el hecho de que la ausencia de este componente no hace posible la adecuada humectación ya que el gel de carbopol a la concentración de la formulación muestra una tensión superficial muy elevada. Por esto, se puede concluir que la presencia del Brij 30 es necesaria para la adecuada humectación de la barba y que el sorbitol y el propilenglicol contribuyen levemente en la humectación, sin embargo, la presencia únicamente de estos participantes no es suficiente para poder acondicionar adecuadamente el vello.

7.3 ESTUDIOS MICROSCÓPICOS

Inicialmente es conveniente mostrar como varía la estructura en función del pH y en función de la concentración

Microscopía electrónica de carbopol ultrez 0.8% a pH=2.9 (izquierda) y 4.1(Derecha).



Microscopía electrónica de carbopol ultrez 10 a pH=5.1,(izquierda);

Y PH=6.1(Derecha)



Microscopía electrónica de carbopol ultrez 10 a pH=7.5, (izquierda);

Y PH=8.2(Derecha)



Comenzando a analizar la variación de estructura con respecto al pH, observamos notables diferencias al variar el valor de pH. En todos los casos al comenzar a hacer las observaciones con las dispersiones no neutralizadas es muy difícil encontrar campos en las imágenes tomadas en las que sea factible observar siquiera alguna pequeña formación de estructura. En estos casos se obtuvo una superficie continua y tersa en la cual no hay evidencia de formación de estructura. Estos resultados corresponden a la información conocida acerca de la estructura del carbopol ultrez 10. Cuando se encuentra únicamente dispersado, solo existe hidratación del polvo y no se observa tipo alguno de filamentos o cadenas que sean capaces de entrecruzarse para generar la estructura reticular. A medida que el pH va variando (a valores próximos a 4), es factible encontrar campos en los que se observa estructura. En estos casos, la estructura es apenas visible, la superficie tersa que se observaba a valores de pH más bajo en este valor va transformándose en una estructura en la que pareciese que hubiese algún tipo de desgarradura, los huecos que se generan a este pH son de un tamaño pequeño y de aspecto difuso. Esta observación nos está indicando que hay una formación de estructura pero que no es generalizada ya que hay zonas donde no es visible, siendo por ello difícil obtener un tamaño homogéneo de los huecos que se observan.

Cuando se hacen las observaciones de estructura en valores de aproximadamente 5 ya es posible observar estructura reticular en prácticamente todos los campos siendo los huecos de tamaño y forma variable pero de mayor homogeneidad que en el caso anterior. Aún es posible observar algunas zonas en las que aparece una capa difusa sobre la red.

A valor de pH aproximadamente de 6, es muy notable la formación de estructura en forma de red con huecos de tamaño muy uniforme y de forma generalmente elíptica. En estos valores ya no se aprecian formas difusas y el grosor de los filamentos también es muy uniforme.

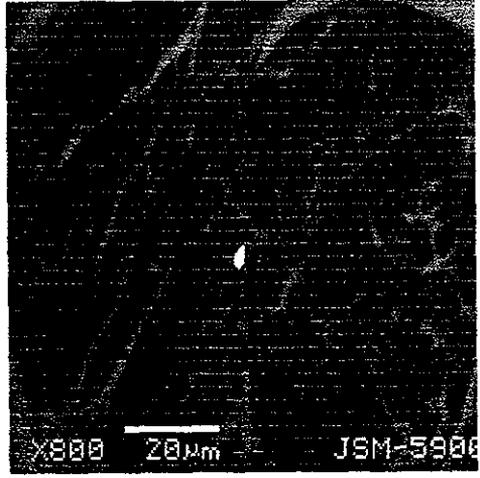
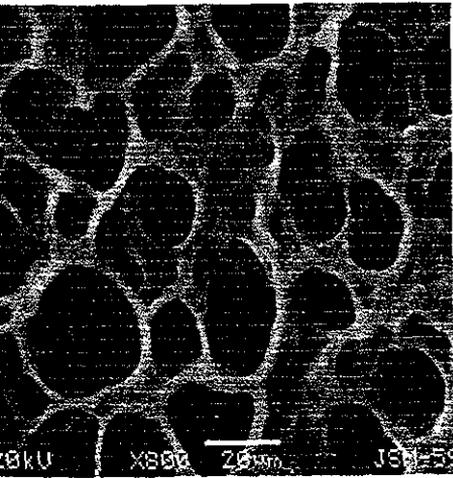
Cuando se observan los geles a valores de pH entre 7 y 8 la estructura comienza a variar en forma notable, los poros van siendo cada vez de mayor área y los filamentos que forman la red van engrosándose generando zonas con grandes espacios vacíos. Al avanzar a valores aproximadamente de 9, esto es aún más apreciable y finalmente a valores de pH cercanos o mayores a 10 ya no es posible observar algún tipo de estructura.

La descripción hecha acerca de esas observaciones nos está indicando que el pH tiene un efecto significativo sobre la estructura de los geles. A pH bajo, el grupo carboxilo del carbopol está en gran medida protonado y esto provoca que exista una baja solubilidad en el agua en la que se está dispersando y que pueda existir algún tipo de interacción entre moléculas distintas del polímero que hagan posible la formación de red.

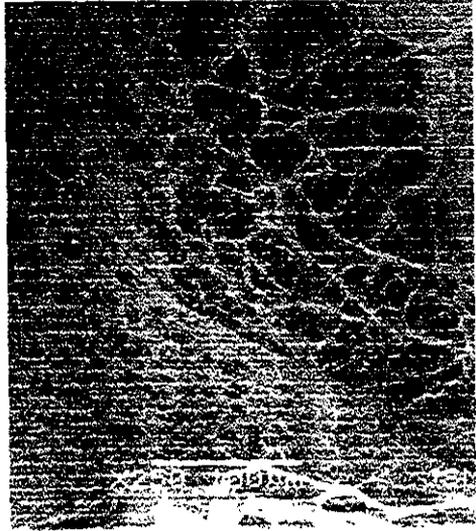
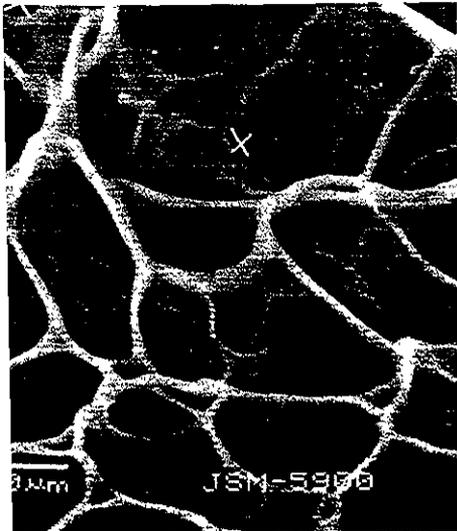
Cuando el carbopol es observado a valores de pH entre 6 y 7, una buena proporción de este se encuentra en forma ionizada por lo que es posible la interacción entre moléculas distintas del polímero y la formación de una red uniforme. Es por ello que en la preparación es muy adecuado el valor de pH de 6 ya que hay una mayor uniformidad en el área.

Es importante mencionar que en gran medida, la viscosidad del gel influyó en cierto grado sobre la preparación de la muestra para las observaciones en el microscopio ya que muestras de valor de pH bajo resultaron de difícil colocación en el portamuestras.

*Microscopía electrónica de carbopol ultrez 10 a Concentraciones de 0.2%, (izquierda);
Y 0.4%(Derecha)*



*Microscopía electrónica de carbopol ultrez 10 a Concentraciones de 0.6%, (izquierda);
Y 0.8%(Derecha)*

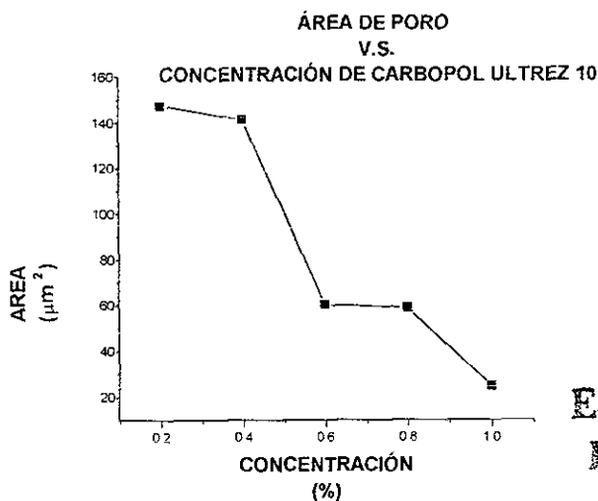




Microscopía electrónica de carbopol ultrez 10 a Concentración de 1%.

Con relación a la variación de la estructura con respecto a la concentración se obtiene que a mayor concentración de carbopol ocurre una disminución del área de los huecos o poros esto es explicable ya que a mayor concentración hay una mayor cantidad de filamentos o cadenas de carbopol que se están entrelazando y generando redes muy estrechas y de este modo van quedando espacios muy limitados formando pequeñas áreas de forma elíptica.

Si tomamos en cuenta esta relación, entonces es muy importante seleccionar una concentración adecuada que en buena medida nos permita obtener una estructura que nos dé una adecuada liberación de tensoactivo.



**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**

Gráfica 19: Variación del área de poro con respecto a la concentración de carbopol ultrez 10 a pH=6

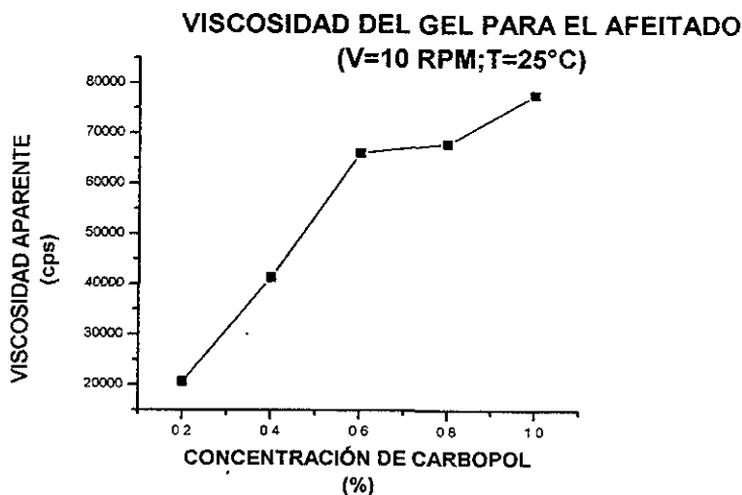
En la gráfica 19 notamos la relación encontrada entre el área de poro y la concentración de carbopol. Se observa que a mayor concentración hay una disminución del área de poro. Esta disminución ocurre en forma casi lineal, esto es a pesar de que las imágenes muestran cierta variabilidad en cuanto al tamaño de poro por lo que es necesaria una medición meticulosa de las áreas. A concentraciones entre 0.2% y 0.4% el valor del área promedio es relativamente grande pero hay una disminución muy pequeña del área entre ambas concentraciones. Esto nos muestra que no hay gran diferencia entre el empleo de una concentración de 0.2% ó 0.4% ya que la estructura no varía mucho. Al observar la variación del área entre las concentraciones de 0.4% o 6% apreciamos una variación mucho más grande en el área promedio. En este intervalo la concentración de carbopol parece influir de modo significativo sobre la estructura. Volvemos, sin embargo, a observar poca variación en el área promedio cuando se analiza la gráfica a las concentraciones entre 0.6% y 0.8% y hay un pequeño

aumento de la pendiente entre 0.8% y 1.0%. En estos valores, el área promedio es muy pequeña por lo que se puede afirmar que la estructura es mucho más compleja y que se puede relacionar con la liberación más retardadas de Brij 30.

7.4. ESTUDIOS DE LIBERACIÓN

En la discusión de los resultados obtenidos en los estudios de liberación fue indispensable conocer la estructura de la red del carbómero por estudios de microscopía electrónica. El conocer como se modifica la estructura del gel al cambiar su concentración y al variar su valor de pH nos permite hacer la adecuada selección del pH y de la concentración más adecuada para una liberación del tensoactivo que haga más fácil la humectación de la barba y por ende disminuya la fuerza de fricción del rastrillo.

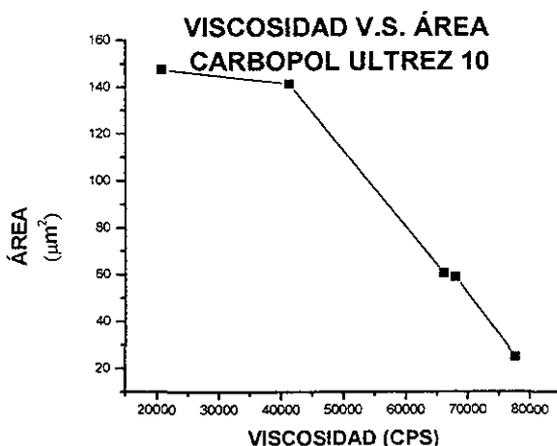
Al relacionar los parámetros que se obtienen de hacer el estudio de las áreas promedio de los huecos o poros generados en la estructura, obtenemos las siguientes gráficas:



Gráfica 20: Variación de la viscosidad con respecto a la concentración de carbopol ultrez 10 a pH=6

En la gráfica 20, observamos la relación que existe entre la viscosidad de la preparación para el afeitado y la concentración del carbopol. La viscosidad se incrementa al aumentar la tensión superficial. A concentraciones bajas de carbopol la variación de la viscosidad es muy grande mientras que el incremento de la viscosidad es menor entre las concentraciones de 0.8% y 1.0%. El comportamiento de la viscosidad del gel es por lo tanto un ejemplo de fluido pseudoplástico en el que ocurre un aumento no lineal de la viscosidad en función de la concentración.

Por otra parte, los datos obtenidos de la gráfica 20 también nos permiten relacionar distintas variables que permiten evaluar la liberación del tensoactivo de la base carbomérica.



Gráfica 21: Variación del área con respecto a la viscosidad de carbopol ultrez 10 a pH=6

En la gráfica 21 puede observarse que hay una relación entre el área de los huecos y la viscosidad. Esto nos está mostrando la dependencia de la estructura con la viscosidad que es una propiedad muy importante en un gel. La gráfica nos indica que a menor área hay una mayor viscosidad y además esta relación es

lineal cuando la concentración de carbopol no es demasiado baja. El punto inicial de esta gráfica, no está mostrando una relación lineal con el resto de los puntos, sin embargo esto es razonable debido a que si se observan los resultados relacionados con la reología del carbopol ultrez 10 se muestra que a valores bajos de concentración el valor de la viscosidad es difícil de determinar con el equipo empleado. Sin embargo, en los demás puntos de la gráfica la relación es muy clara. Esto puede explicarse mencionando que al aumentar la concentración el poro de la red va disminuyendo y por lo tanto el área promedio es menor, esto está originando una estructura cada vez más densa y compacta que origina que el esfuerzo cortante aplicado por el viscosímetro vaya siendo mayor a medida que se incrementa la concentración



Gráfica 22: Variación de la tensión superficial con respecto a la viscosidad aparente de carbopol ultrez 10 a pH=6.

La gráfica 22 que es obtenida a partir de estudios de liberación permite conocer aspectos muy importantes de la liberación del tensoactivo de la matriz de

carbómero. Observamos una correspondencia muy próxima a una línea recta entre la viscosidad y la tensión superficial del Brij 30. Este comportamiento nos está indicando que un gel que tiene una elevada concentración tiene una viscosidad elevada y una estructura muy cerrada con áreas de poro relativamente pequeñas, dicha estructura cerrada impide una liberación rápida del tensoactivo (al menos durante los 5 minutos de prueba del experimento) dando una tensión superficial más elevada, es decir a mayor concentración de carbopol hay una menor liberación de Brij 30 y esto dará una menor humectación de la barba por parte del gel. Por esto, sí en la formulación se emplea una concentración elevada de carbómero, ya sea de 0.8% ó de 1.0%. Se obtendría una viscosidad aparente muy alta la cual daría problemas sobre la extensibilidad del gel sobre la barba o con dificultad para sacar al gel de su envase y por otra parte, esta elevada viscosidad llevaría a una estructura tal que evitará o retrasará la liberación del tensoactivo y por consiguiente la humectación de la barba sería insuficiente dando un inadecuado acondicionado del pelo. Sí se emplean concentraciones mas bajas de carbómero, se obtiene un gel para afeitado con una viscosidad mucho menor que permite un mejor manejo en su extensibilidad sobre la barba y facilidad de extraerlo de algún envase, además de tener estructura menos intrincada o enredada que permite una liberación más rápida del tensoactivo haciendo que sea posible una correcta humectación. Es preciso mencionar que el tiempo de duración del estudio de liberación fue de 5 minutos y la temperatura de esta determinación fue de $37^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ($310^{\circ}\text{K} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$), estas condiciones tratan de reproducir in vitro el comportamiento que mostraría el gel en circunstancias similares a las de su uso real. El tiempo seleccionado es cercano al que es invertido frecuentemente en el procedimiento del afeitado. Tiempos mayores a este tal vez pudieran mostrar resultados de mayor cantidad de tensoactivo liberado, pero esto no correspondería con el uso real del producto ya que es muy poco frecuente que el afeitado sea efectuado a tiempos muy largos (como pudieran ser 15 ó 20 minutos o más). Con respecto a la temperatura de estudio queda claro que si se hubiera efectuado una determinación a otra temperatura distinta a 37°C , la viscosidad del gel se vería afectada y con ello su

estructura y en consecuencia la liberación del tensoactivo. Estas condiciones, además no serían representativas del uso real del preparado

8.-CONCLUSIONES

De acuerdo con los objetivos planteados y con los resultados obtenidos se plantean las siguientes conclusiones:

1. - El carbopol ultrez 10 es el carbómero con mejores características reológicas para su uso como matriz de liberación de tensoactivo en un gel de uso en el afeitado debido a que presenta una baja viscosidad en su dispersión no neutralizada y a una buena correlación entre la viscosidad aparente de la dispersión con respecto a la temperatura. Esto ofrece ventajas en la apariencia del gel y la facilidad en la elaboración del preparado para el afeitado.
- 2.-Un gel carbomérico presenta una estructura reticular y tridimensional con huecos que mayoritariamente son de forma elíptica. La homogeneidad del área de los huecos, la distribución de los mismos depende de la concentración del gel y del pH al cual se encuentra. A mayor concentración de carbopol la estructura reticular es mas cerrada disminuyendo el tamaño de hueco y generando estructura más cerrada y compleja.
3. – La concentración más adecuada de carbopol ultrez 10 en la formulación que se sugiere emplear está entre 0.4 y 0.6% y el pH adecuado en ella es de 6. Esto es debido a que en este intervalo de concentraciones se tiene un comportamiento reológico mas predecible y a pH de 6 la estructura es mas uniforme que a otros valores.
4. - En la formulación estudiada, el Brij 30 es el componente que influye significativamente sobre las propiedades de tensión superficial. Los demás componentes influyen o modifican esta propiedad de manera muy limitada al mejorar levemente la humectación. Por esto, el Brij 30 es el responsable en forma mayoritaria de la humectación de la barba en el preparado.

5. - El estudio de liberación permite concluir que el brij 30 es liberado con facilidad de la matriz carbomérica durante el tiempo de prueba. La importancia de esto radica en el hecho de que al ser liberado el tensoactivo podrá efectuar una buena humectación de la barba acondicionándola adecuadamente para el afeitado

6. - En la eficacia de un gel carbomérico para el afeitado es necesario tomar en cuenta la concentración de carbómero, el comportamiento de la viscosidad aparente con respecto a la temperatura, la función de los diversos componentes participantes y la adecuada liberación de estos. Un preparado en el que se seleccionen adecuadamente estos parámetros mostrará ser eficaz permitiendo un afeitado rápido y cómodo.

9. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFIA

- 1) Salud, S. d *Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos*; Sexta edición ed. México, D.F., 1994, pp 276-282.
- 2) Remington *Farmacia*, 1ª ed Buenos Aires, 1998, Vol. I.
- 3) Paavola, A *Controlled release gel of ibuprofen and lidocaine in epidural use analgesia and absorption systemic in pigs/ Pharmaceutical Research* **1998**, *15*, 482-487.
- 4) Sriamornsak, P. *Calcium pectinate gel beads for controlled release drug delivery, part 1 preparation and in vitro release studies/ internacional journal of pharmaceutics* **1998**, *160*, 207-212
- 5) Ceschel, G.; Maffei, P., Moretti, M.; Peana, A.; Demontis, S. *In vitro permeation through porcine buccal mucosa of Salvia sclarea L.essential oil from topical formulations/ S.T.P Pharma Sciences* **1998**, *8*, 103-106.
- 6) Nastruzzi, C. E., E. Pastesmi, C. Gambari, R. Menegatti, E. *Comparative study on the release kinetics of methyl-nicotinate from topic formulations International Journal of Pharmaceutics* **1993**, *90*, 43-50
- 7) Macedo, T.; Block, L., Shukla, A. *Release of tolmetin from carbomer gel systems/ Drug Development & Industrial Pharmacy* **1993**, *19*, 887-902.
- 8) Sanghavi, N.; Mahalaxmi, D. *Determination of in-vitro release of clobetasol propionate from topical bases/ Indian Drugs* **1993**, *30*, 364-370.

- 9)Adler, J.; Hibberd, S C., MS.; Rogers, T *Epi-fluorescence microscopy and image analysis used to measure diffusion coefficients in gel systems/ Journal of Pharmacy & Pharmacology* **1992**, *44*, 543-549.
- 10)Wesselingh, J. *Controlling diffusion/ Journal of Controlled Release* **1993**, *24*, 47-60.
- 11)Lee, B. *Percutaneous absorption and histopathology of a poloxamer based formulations of capsaicin analog/ International Journal of pharmaceutics* **1997**, *159*, 105-114.
- 12)Valenta, C.; Wedenig, S. *Effects of penetration enhancers on the in vitro percutaneous absorption of progesterone/ Journal of Pharmacy & Pharmacology* **1997**, *49*, 955-959.
- 13)Carr, M *Drug delivery form a liquid cristaline base across Visking and human stratumcorneum/ International Journal of Pharmaceutics* **1997**, *157*, 35-42.
- 14)Dos Santos, E , Prista, L.; Sousa Lobo, J.; Santos, D. *Study of cutaneous diffusion of lapachol. Part I. Studies in vitro/ Revista Portuguesa de Farmacia* **1991**, *41*, 15-19.
- 15)Shin, S. C.; Cho, C. W. *Physicochemical characterization of piroxicam poloxamer solid dispersion/ Pharmaceutical developpment & technology* **1997**, *4*, 403-407.
- 16)Jones, D *Textural, viscoelastic and mucoadhesive properties of pharmaceutical gels composed of cellulose polymers' InternacionaI journal of pharmaceutics* **1997**, *151*, 223-233
- 17)Campos, P. *Vitamin A:skin preparation: studies of some vehicles currently used/ cosmetics & toiletries* **1998**, *113*, 69-72.
- 18)Panigrahi, L. *Formulation an evaluation of lincomycin gels HCl: Indian journal of pharmaceutical sciences* **1997**, *59*, 330-332.

- 19) Dhayse, V. *Formulation and evaluation of topical bases of ketoprofen/ Eastern pharmacist* 1997, 40, 133-135.
- 20) Rebelo, M ; Pita, J.; Leitao, R.; Sousa, P. *Stability of dermatological preparations with clindamycin gelified with carbopol and locust bean gum/ Boletim Da Faculdade de Farmacia de Coimbra (Coimbra)*. 1991, 15, 37-45
- 21) Chu, J., Yu, D.; Amidon, G.; Weiner, N., Goldberg, A. *Viscoelastic properties of polyacrylic acid gels in mixed solvents/ Pharmaceutical Research* 1992, 9, 1659-1663.
- 22) Realdon, N. *Possibilities of conveying a cationic drug in carbomer hidrogels/ Drug development & industrial pharmacy* 1998, 24, 337-343.
- 23) Paavola, A. *Controlled release and dura mater permeability of lidocaine adn ibuprofen from injectable poloxamer based gels/ Journal of Contrlled Release* 1998, 52, 169-178.
- 24) Dominguez, J. V., Planas, M. D ; Rodriguez, P. S.; Maximino, R. B.; Rodriguez, F. G. *Modification of rheological behavior of cellulose gels with sodium chloride concentration: application of Ostwald's model/ Pharmazie* 1993, 48, 15-19.
- 25) Dolz, M.; Rodriguez, F ; Dominguez, M. *Influence of neutralizer concentration on the rheological behavior of a 0.1% Carbopol hydrogel/ Pharmazie* 1992, 47, 351-355.
- 26) Vega-Warner, V. *Composition, solubility and gels properties of salt soluble proteins from two bovine muscle types/ Meat Science* 1999, 51, 197-203.
- 27) Knapczyk, J. *Chitosan hydrogel as a base for semisolid drug forms/ International Journal of Pharmaceutics* 1993, 93, 233-237.

- 28)Lower, E. *Pectin and derived acids--manufacture properties uses. Part 5/ Seifen, Oele, Fette, Wachse* **1993**, 119, 42-44.
- 29)Gombotz, W. *Protein release from alginate matrices/ Avanced Drugs Delivery Reviews* **1998**, 31, 267-285.
- 30)Bromberg, L. *Temperature responsive gels and thermogelling polymer matrices for protein and peptide delivery/ Avanced Drugs Delivery Reviews* **1998**, 31, 197-221.
- 31)Miyajima, M.; Yoshida, M., Sato, H.; Omichi, H.; Higuchi, W. *Controlled release of 9-beta-D-arabinofuranosyladenine from thermo-responsive devices based on acryloyl-L-proline methyl ester/ International Journal of Pharmaceutics* **1993**, 95, 153-160.
- 32)Lovera, V. *Development of an experimental method for measuring adhesion of gellified formulations using texture analyzers/ S.T.P. Pharma. Sciences* **1998**, 8, 183-187.
- 33)Jacques, Y. *Investigation of the physical behavior of moisture activated mucoadhesive hidrogels upon contact with biological and non -biological substrates/ Pharmaceutical Acta Helvetiae* **1997**, 74, 225-232.
- 34)Kojima, M.; Ando, S.; Kataoka, K.; Hirota, T ; Nakagami, H. *Magnetic resonance imaging (MRI) study of swelling and water mobility in micronized low-substituted hydroxypropylcellulose matrix tablets* *Chemical & Pharmaceutical Bulletin* **1998**, 46, 324-328.
- 35)Erdogan, S.; Ozer, A.; Hincal, A. *Comparative evaluation of the formulation, characterization, stability and in vitro release of iopromide liposomes and niosomes/ S.T.P. Pharma Sciences* **1998**, 8, 127-132.

- 36)Korting, H.; Klovekorn, W ; Klovekorn, G. *Comparative efficacy and tolerability of econazole liposomal gel 1%, branded econazole conventional cream 1% and generic clotrimazole cream 1% in tinea pedis/ Clinical Drug Investigation* **1997**, *14*, 186-293.
- 37)Kublik, H, Vidgren, M. *Nasal delivery systems and their effect on deposition and absorption/ Advanced Drug Delivery Reviews* **1998**, *29*, 157-177.
- 38)Solans, C., Carrera, I.; Pons, R ; Erra, P.; Kunieda, H. *Gel emulsions: formulating with highly concentrated w/o emulsions/ Cosmetics & Toiletries* **1993**, *108*, 61-64.
- 39)Hoguet, A.; .Roby, C.; Burstein, A. *Stability of fosphenytoin in an extemporaneously compounded rectal gel formulation/ ASHP Midyear Clinical Meeting* **1998**, *33*, P-352E.
- 40)Zhang, X., Cai, H.; Luo, S ; Zhou, Y.; Yin, W. *Preparation of diclofenac sodium gels/ Chinese Journal of Pharmaceuticals* **1997**, *28*, 505-507.
- 41)Ulbrich, K.; Subr, V., Seymour, L.; Duncan, R. *Novel biodegradable hydrogels prepared using the divinyllic crosslinking agent N,O-dimethacryloylhydroxylamine. Part I. Synthesis and characterization of rates of gel degradation. and rate of release of model drugs, in vitro and in vivo/ Journal of Controlled Release* **1993**, *24*, 181-190
- 42)Berger, R.; Mills, O., Calvarese, B. *Reduced skin irritation with new tretinoin treatment/ Cosmetic Dermatology* **1998**, *11*, 35-38.
- 43)Simmons, B.; Chukwumerije, O ; Stewart, J. *Supercritical fluid extraction of 13-cis-retinoic acid and its photoisomers from selected pharmaceutical dosage forms/ Journal of Pharmaceutical & Biomedical Analysis* **1997**, *16*, 395-403.
- 44)Wakerly, Z.; Fell, J ; Attwood, D.; Parkins, D. *Studies on amidated pectins as potential carriers in colonic drug delivery. Journal of Pharmacy & Pharmacology* **1997**, *49*, 622-625.

- 45)Viegas, T.; Hikal, A , Jones, A *Percutaneous absorption of bendroflumethiazide from gel and membrane controlled gel systems: in vitro and in vivo study/ International Journal of Pharmaceutics* 1997, 152, 165-178.
- 46)Merck *The merck index* u.s.a., 1996, Vol. 1
- 47)Park, K. *Biodegradable hidrogels for Drug Delivery*, 1° ed. Lancaster, Pennsylvania, 1993; Vol. 1
- 48)Wilkinson, J. B. *Cosmetologia de Harry*, 1° ed. Madrid, 1990, Vol. 1.
- 49)Kosel, L. *After shave lotion for pseudofolliculitis barbae/ Journal of Pharmaceutical compounding* 1999, 3, 102-103.
- 50)Anonymous *Traditional shave preparations/ Cosmetics & Toiletries* 1976, 91, 39-40.
- 51)Anonymous *Formulations/ International Journal of Pharmaceutical Compounding* 1999, 3, 130-139.
- 52)Alexander, P. *Shaving preparations in the patent literature 1970-1975/ Cosmetics & Toiletries* 1976, 91, 18-20.
- 53)Abdelaziz, A ; Ashour, M.; Hefni, H : El-Tayeb, O. *Microbial contamination of cosmetics and personal care items in Egypt--shaving creams and shampoos/ Journal of Clinical Pharmacy & Therapeutics* 1989, 14, 29-34.
- 54)Draelos, Z. *.Re-evaluating the mechanics of shaving. Cosmetic Dermatology* 1996, 9, 11-12, 14

- 55)Wickett, R.; Walter, L. *Beard length measurement by image analysis/ Beard length measurement by image analysis* **1990**, *105*, 71-74
- 56)Weinstein, S. *New methods for the in vivo assessment of skin smoothness and skin softness/ Journal of the Society of Cosmetic Chemists* **1978**, *29*, 99-115
- 57)Breuer, M., Tsai, H. *Measuring the viscoelastic properties of aerosol shaving foams/ Journal of the Society of Cosmetic Chemists* **1984**, *35*, 59-71
- 58)Barker, G. *Newer propoxylated derivatives as raw materials for cosmetics/ Cosmetics & Toiletries* **1980**, *45*, 41-42, 44-45.
- 59)Nidzovic, Z.; Danilovic, M. *Effects of water and shaving cream on the swelling capability of human and animal hair/ Cosmetics & Toiletries* **1979**, *94*, 39-42.
- 60)Deem, D.; Rieger, M. *Observations on the cutting of heard hair/ Journal of the Society of Cosmetic Chemists* **1976**, *27*, 579-592.
- 61)De Smedt, A., Van Reeth, I., Marchioretto, S.; Glover, D. Naud, J. *Measurement of silicone deposited on hair : developing x-ray fluorescence and hair wettability protocols/ Cosmetics & Toiletries* **1997**, *112*, 39-44.
- 62)Reich, C.; Robbins, C. *Light scattering and shine measurements of Human hair sensitive probe of the hair surface/ Journal of the Society of Cosmetic Chemists* **1993**, *44*, 221-234.
- 63)Yin, N.; Kissinger, R.; Tolgyesi, W.; Cottington, E. *Effect of fiber diameter on the cosmetic aspects of hair/ Journal of the Society of Cosmetic Chemists* **1977**, *28*, 139-150.

- 64) Kamath, Y.; Hornby, S.; Weigmann, H. *Effect of chemical and humectant treatments on the mechanical and fractographic behavior of Negroid hair/ Journal of the Society of Cosmetic Chemists* **1985**, *36*, 39-52.
- 65) Gamez-Garcia, M. *Effects of some oils, emulsions, and other aqueous systems on the mechanical properties of hair at small deformations/ Journal of the Society of Cosmetic Chemists* **1993**, *44*, 69-87.
- 66) Kamath, Y.; Dansizer, C.; Weigmann, H. *Wettability of keratin fiber surfaces/ Society of Cosmetic Chemists* **1977**, *28*, 273-284
- 67) Shaw, D. *Introducción a la química de superficies y coloides* Madrid, 1977.
- 68) Muller, H. G. *Introducción a la reología de los alimentos*; 2a ed. Zaragoza, España, 1977; Vol. 1.
- 69) Bird, R. B. *Fenómenos de transporte*; 1a ed. México, D F , 1998.