



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE QUÍMICA**

**CARACTERIZACION DE FLUIDOS CON ADITIVOS POLIMÉRICOS**

**TESIS**  
**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**  
**INGENIERO QUÍMICO**

**PRESENTA:**

**Jonathan Rodrigo Olivares Hernández**

**MÉXICO, D.F. NOVIEMBRE 2015**





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 ASÍGNADO:**

**PRESIDENTE:**           **Profesor: Octavio Manero Brito**

**VOCAL:**               **Profesor: Mariano Pérez Camacho**

**SECRETARIO:**       **Profesor: Juan Pablo Aguayo Vallejo**

**1er. SUPLENTE:**      **Profesor: Eduardo Vivaldo Lima**

**2° SUPLENTE:**       **Profesor: Blanca Estela García Rojas**

## **SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO (UNAM), CENTRO DE CIENCIAS  
APLICADAS Y DESARROLLO TECNOLÓGICO (CCADET-UNAM)**

### **ASESOR DEL TEMA:**

**DR. JUAN PABLO AGUAYO VALLEJO**

**FIRMA**

### **SUPERVISOR TÉCNICO:**

**DRA. MARÍA SOLEDAD CÓRDOVA AGUILAR**

**FIRMA**

### **SUSTENTANTE (S):**

**JONATHAN RODRIGO OLIVARES HERNÁNDEZ**

**FIRMA**

## INDICE

1) INTRODUCCIÓN:.....	6
2) CONCEPTOS PRINCIPALES .....	7
2.1) REOLOGÍA.....	7
3) METODOLOGIA DE TRABAJO Y ELECCION DE LAS MUESTRAS.....	17
3.1) Análisis: .....	17
3.2) Uso de reómetros-Trabajo experimental .....	17
4) RESULTADOS .....	20
4.1) Salsa Botanera.....	21
4.2) Salsa Búfalo .....	24
4.3) Salsa Valentina .....	27
4.4) Salsa Cátup “Mi Cátup” .....	30
4.5) Salsa Cátup “Del Monte” .....	34
4.6) Salsa Cátup “Heinz” .....	38
5) ANALISIS DE RESULTADOS .....	42
6) BIBLIOGRAFÍA.....	45
7) APENDICE: VALORES EXPERIMENTALES.....	46
7.1) Datos experimentales de los análisis de corte, extensionalidad y viscoelásticidad de la salsa Botanera.....	46
7.2) Datos experimentales de los análisis de corte, extensionalidad y viscoelásticidad de la salsa Búfalo .....	47
7.3) Datos experimentales de los análisis de corte, extensionalidad y viscoelásticidad de la salsa Valentina .....	48
7.4) Datos experimentales de los análisis de corte, extensionalidad y viscoelásticidad de la salsa Cátup “Mi cátup” .....	49
7.5) Datos experimentales de los análisis de corte, extensionalidad y viscoelásticidad de la salsa Cátup “Del Monte” .....	50
7.6) Datos experimentales de los análisis de corte, extensionalidad y viscoelásticidad de la salsa cátup “Heinz” .....	51

## **IMÁGENES**

Imagen 2.1 Modelo de Maxwell.....	10
Imagen 2.2 Modelo de Voight.....	11
Imagen 2.3 Reómetro de Cilindros Concéntricos .....	15
Imagen 2.4 Reómetro de Cono y Plato .....	15
Imagen 2.5 Reómetro de Plato y Plato .....	15
Imagen 2.6 Reómetro Extensional .....	16
Imagen 3.1 Reómetro Plato-Plato.....	18
Imagen 3.2 Caída de presión calculada VS. Flujo .....	19

## **TABLAS**

Tabla 3.1 Muestras Experimentales.....	17
Tabla 4.1 Valores de $\lambda$ y G (Botanera).....	23
Tabla 4.2 Valores de $\lambda$ y G (Búfalo) .....	26
Tabla 4.3 Valores de $\lambda$ y G (Valentina) .....	29
Tabla 4.4 Valores de $\lambda$ y G (Mi Cátsup) .....	32
Tabla 4.5 Valores de $\lambda$ y G (Del monte).....	36
Tabla 4.6 Valores de $\lambda$ y G (Heinz).....	40

## GRAFICAS

Grafica 4.1 Viscosidad vs. Rapidez de Corte (Botanera) .....	21
Grafica 4.2 Esfuerzo de corte vs. Rapidez de corte (Botanera).....	21
Grafica 4.3 $G'$ , $G''$ vs. $w$ (Botanera) .....	22
Grafica 4.4 viscosidad extensional vs. Rapidez de extensión (Botanera) 1:8 .....	22
Grafica 4.5 Viscosidad vs. Rapidez de Corte (Búfalo).....	24
Grafica 4.6 Esfuerzo de corte vs. Rapidez de corte (Búfalo) .....	24
Grafica 4.7 $G'$ , $G''$ vs. $w$ (Búfalo).....	25
Grafica 4.8 viscosidad extensional vs. Rapidez de extensión (Búfalo) 1:8.....	25
Grafica 4.9 Viscosidad vs. Rapidez de Corte (Valentina).....	27
Grafica 4.10 Esfuerzo de corte vs. Rapidez de corte (Valentina) .....	27
Grafica 4.11 $G'$ , $G''$ vs. $w$ (Valentina).....	28
Grafica 4.12 viscosidad extensional vs. Rapidez de extensión (Valentina) 1:8.....	28
Grafica 4.13 Viscosidad vs. Rapidez de Corte (Mi Cátup).....	30
Grafica 4.14 Esfuerzo de corte vs. Rapidez de corte (Mi Cátup) .....	30
Grafica 4.15 $G'$ , $G''$ vs. $w$ (Mi Cátup) .....	31
Grafica 4.16 viscosidad extensional vs. Rapidez de extensión (Mi Cátup) 1:4 .....	31
Grafica 4.17 viscosidad extensional vs. Rapidez de extensión (Mi Cátup) 1:8.....	32
Grafica 4.18 Viscosidad vs. Rapidez de Corte (Del Monte) .....	34
Grafica 4.19 Esfuerzo de corte vs. Rapidez de corte (Del Monte) .....	34
Grafica 4.20 $G'$ , $G''$ vs. $w$ (Del Monte) .....	35
Grafica 4.21 viscosidad extensional vs. Rapidez de extensión (Del monte) 1:4 .....	35
Grafica 4.22 viscosidad extensional vs. Rapidez de extensión (Del Monte) 1:8 .....	36
Grafica 4.23 Viscosidad vs. Rapidez de Corte (Heinz) .....	38
Grafica 4.24 Esfuerzo de Corte vs. Rapidez de Corte (Heinz).....	38
Grafica 4.25 $G'$ , $G''$ vs. $w$ (Heinz) .....	39
Grafica 4.26 viscosidad extensional vs. Rapidez de extensión (Heinz) 1:4 .....	39
Grafica 4.27 viscosidad extensional vs. Rapidez de extensión (Heinz) 1:8 .....	40
Grafica 4.28 Viscosidad vs. Rapidez de Corte (Salsas Picantes) .....	42
Grafica 4.29 Viscosidad vs. Rapidez de Corte (Salsas tipo Cátup) .....	43

## **1) INTRODUCCIÓN:**

Es evidente que los fluidos alimenticios son de gran importancia para el ser humano. Debido a esto, la industria ha dedicado diferentes estudios para su manejo, almacenamiento y transporte, procurando siempre que el producto sea del agrado del cliente en cuanto a sabor, textura y consistencia.

Teniendo en cuenta que uno de los mercados más amplios en la venta de alimentos, es el de las salsas y los aderezos, ya que estos productos son los acompañamientos de mayor uso al comer botanas o ensaladas, y por esta razón, se busca que tengan un amplio tiempo de vida y una consistencia adecuada.

Debido a lo anterior, se eligieron las salsas como objeto de este estudio y se puede establecer que el objetivo principal es el análisis reológico de este tipo de fluidos, con el fin de caracterizarlos y saber su comportamiento en movimiento (bajo un esfuerzo de corte y extensional). Con este objetivo es necesario analizar los principales conceptos de reología, dando énfasis a la viscosidad de corte, su carácter extensional y los módulos de viscoelasticidad.

Para su estudio las salsas se clasifican como emulsiones, ya que una emulsión es la mezcla de dos o más líquidos inmiscibles de manera relativamente homogénea. Para lograr esta homogeneidad y facilitar el manejo de la mezcla, se agregan agentes estabilizadores o aditivos, tales como la goma xantana y la carboximetilcelulosa (CMC), de las cuales, se da una breve descripción en el siguiente capítulo.

Para el estudio reológico se analizaron muestras comerciales que dentro de sus ingredientes mencionan la existencia de aditivos, y para efectos de comparación, se utilizaron muestras sin ellos. Con esto se obtuvieron ecuaciones constitutivas que posteriormente se podrán emplear en procesos industriales.

## 2) CONCEPTOS PRINCIPALES

Una vez establecido el objetivo de la investigación, la siguiente etapa sería la revisión de los conceptos, empezando por una breve descripción de los aditivos y continuando con definir lo que es reología.

Como antes se mencionó los aditivos que se usaran son la goma xantana y el CMC, la goma xantana es un aditivo altamente utilizado en la industria por su fácil producción y su bajo costo; es un polvo color crema, que se disuelve en agua caliente o fría produciendo soluciones de viscosidad relativamente alta a concentraciones bajas, además, este alto valor se mantiene en un amplio rango de concentraciones y las soluciones son estables en un gran intervalo de pH, concentración de sales y temperaturas.

La xantana se agrega a los alimentos para controlar la reología del producto final, debido a que este polímero tiene un gran efecto sobre propiedades como la textura y apariencia, lo cual contribuye a la aceptabilidad del producto para su consumo. Dentro de las características más importantes de esta goma, en el ámbito reológico, es la generación de una viscosidad de corte alta a bajos valores de rapidez de deformación, adicionalmente se ha encontrado que la Xantana produce un esfuerzo de cedencia en las emulsiones que la utilizan.

Por otra parte el CMC es un compuesto orgánico, que deriva de la celulosa, es soluble en agua y se disuelve además, en soluciones azucaradas (sacarosa, fructosa). Se utiliza como espesante y estabilizante, pero también como producto de relleno, fibra dietética y emulsificante.

### 2.1) REOLOGÍA

Reología: Rama de la física que se encarga del estudio de la deformación y flujo de la materia. Es común que la Reología se concentre dentro del campo delimitado entre dos leyes clásicas sobre deformación:

1. Ley de Newton  $\sigma = \eta \dot{\gamma}$   
 $\sigma$ =esfuerzo cortante  
 $\eta$ =viscosidad  
 $\dot{\gamma}$ =rapidez de deformación
2. Ley de Hooke  $\sigma = G\gamma$   
 $\sigma$ =esfuerzo  
 $G$ =módulo de rigidez  
 $\gamma$ =deformación

Componentes de la investigación reológica:

- Determinar ecuaciones constitutivas
- Medidas de comportamiento de flujo en geometrías complejas

Para la determinación de las ecuaciones constitutivas del material es necesario tener mediciones experimentales, tales como el esfuerzo y la rapidez de corte, datos que son necesarios para la determinación de la viscosidad (usando la ley de Newton)

Viscosidad (Pa s)

Es el coeficiente de proporcionalidad que existe en la ley de Newton y, dependiendo de si el fluido es newtoniano o no, será una constante o bien tendrá dependencia con la rapidez de corte, respectivamente.

Físicamente el significado de la viscosidad es la resistencia que presenta un fluido a ser deformado.

Así mismo, tenemos dos tipos de viscosidades:

Viscosidad de corte, que es la resistencia que presenta un fluido, debida a la fricción de las moléculas del mismo.

Viscosidad extensional, que es la resistencia que presenta un fluido al ser "estirado".

De manera general los fluidos se pueden clasificar como newtonianos o no newtonianos, de acuerdo al comportamiento de su viscosidad, y dentro de la última clasificación, existen diferentes clases de fluidos no newtonianos. A continuación se presentan las definiciones de lo anterior:

- Fluido newtoniano: la viscosidad de este fluido es independiente de la rapidez de corte.
- Fluido pseudo-plástico: Fluido no newtoniano, en el cual, la viscosidad disminuye conforme aumenta la rapidez de corte.
- Fluido dilatante: Fluido no newtoniano, en el cual, la viscosidad aumenta conforme se incrementa la rapidez de corte.
- Fluido de Boger: Fluido que bajo esfuerzo de corte presenta un comportamiento aproximado al newtoniano, además de que muestra características viscoelásticas

Una vez teniendo los conceptos más importantes, es fundamental conocer los modelos representativos que describen el comportamiento de los fluidos no newtonianos, teniendo como modelos típicamente usados los siguientes:

Ley de potencia  $\eta = k_2 \dot{\gamma}^{n-1}$

Modelos de Cross  $\frac{\eta - \eta_\infty}{\eta_0 - \eta_\infty} = \frac{1}{(1 + k\dot{\gamma})^m}$

Modelo de Sisko  $\eta = \eta_{\infty} + \frac{k_2}{\dot{\gamma}}$

En particular, el modelo de Cross expresa la existencia de dos zonas en donde la viscosidad será una constante, denominadas *primer región newtoniana* ( $n_0$ ) y *segunda región newtoniana* ( $n_{\infty}$ ), en contraste el modelo de la ley de potencia, presenta una ecuación que no presenta zonas constantes y depende del exponente. Por último, el modelo de Sisko consiste en la unión del modelo Ley de potencia con una segunda región newtoniana. En el análisis de datos experimentales, lo anterior será útil para el reconocimiento del modelo a utilizar.

Sin embargo, los modelos no se presentan únicamente en función de la rapidez de corte, sino que existen también modelos que están en función del esfuerzo y así, aparece un término nuevo, denominado esfuerzo de cedencia, el cual es el esfuerzo necesario que hay que aplicar a un fluido para que comience a fluir. Se mencionan a continuación, los modelos más representativos asociados a este concepto:

Modelo de Bingham  $\sigma = \sigma_y + \eta\dot{\gamma}$

Modelo de Casson  $\sigma^{0.5} = \sigma_0^{0.5} + k\dot{\gamma}^{0.5}$

Una vez que se revisaron los conceptos básicos de viscosidad cortante se prosiguió al estudio de viscosidad extensional.

Flujo extensional: el flujo extensional es un flujo que no involucra un esfuerzo de corte, sino que se considera la resistencia del material al ser sujeto a una extensión o “estiramiento”. Este flujo se clasifica como:

- Uniaxial
- Planar
- Biaxial

Ya en el marco de las propiedades extensionales, Truoton encontró experimentalmente la relación que guarda la viscosidad extensional y cortante de un fluido newtoniano (H.A Barnes, J.F Hutton, K Walters, And Introduction to rheology):

-Viscosidad extensional newtoniana  $\eta_E = 3\eta_{\gamma}$

En general para un fluido inelástico y no newtoniano, esta relación se mantiene.

No es suficiente tan solo hablar de viscosidad y elasticidad, ya que muchos fluidos exhiben un tercer comportamiento intermedio entre los dos anteriores, el cual se denomina viscoelasticidad.

La viscoelasticidad se define como la existencia simultanea de propiedades de viscosidad y elasticidad en el material. Esto significa que si se ejerce una fuerza para deformar un fluido viscoelástico, el material se deformará, sin embargo, en cuanto el esfuerzo se interrumpa, el fluido tenderá a regresar a su forma original (antes de la deformación), sin embargo, este proceso es incompleto, es decir, el fluido no puede recuperar su posición original, sino solo acercarse a ella.

Dada la explicación anterior, los modelos viscoelásticos se basan en arreglos físicos de resortes y amortiguadores.

Como ejemplo se presentan dos modelos de los más característicos:

- Modelo de Maxwell
- Modelo de Voigt

Modelo de Maxwell:

Este modelo toma en cuenta que el comportamiento viscoelástico del material se puede representar a través de un resorte y un amortiguador en serie.

Teniendo esa premisa, se dice que la suma de rapidez de deformación del resorte con la del amortiguador, es la rapidez de deformación total. Dentro de este modelo se genera una nueva variable llamada tiempo de relajación que es una propiedad característica del material. Como se puede observar en la ecuación 3 es un cociente de la viscosidad entre el módulo de corte.

$$\frac{d\gamma}{dt} = \frac{1}{G} \frac{d\sigma}{dt} + \frac{\sigma}{\eta} \tag{1}$$

$$\eta \frac{d\gamma}{dt} = \frac{\eta}{G} \frac{d\sigma}{dt} + \sigma \tag{2}$$

$$\eta \frac{d\gamma}{dt} = \lambda \frac{d\sigma}{dt} + \sigma \tag{3}$$

$$\frac{\eta}{G} = \lambda \text{ tiempo de relajacion}$$

Imagen 2.1 Modelo de Maxwell

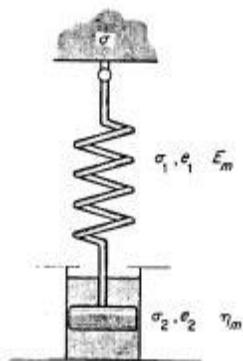


Figure 5.8. The Maxwell model.

En la imagen 2.1 se presenta el esquema físico del Modelo de Maxwell

Modelo de Voight:

Este modelo toma como comparación física un resorte y un amortiguador, siendo este, un modelo en paralelo, que se define como la suma de los esfuerzos tanto del amortiguador como del resorte, en otras palabras, es el esfuerzo total.

$$\sigma = \eta \frac{d\gamma}{dt} + G\gamma \dots (4)$$

Imagen 2.2 Modelo de Voight

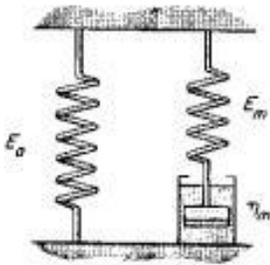


Figure 5.10. The standard linear solid.

En la imagen 2.2 se presenta el esquema físico del Modelo de Voight

Una vez descritos los modelos básicos, es necesario hablar de los parámetros que se utilizan más en el ámbito experimental para determinar el comportamiento viscoelástico que son los módulos  $G'$  y  $G''$

$G'$ =MODULO DE ALMACENAMIENTO (ASOCIADO A LA ELASTICIDAD)

$G''$ =MODULO DE PERDIDA (ASOCIADO A LA VISCOSIDAD)

Estos módulos se obtienen del experimento de oscilación sinusoidal, que consiste en aplicar una deformación sinusoidal cortante en el reómetro, y se obtiene la respuesta del esfuerzo medido

De este experimento obtenemos las siguientes definiciones:

$$\gamma = \gamma_0 \sin \omega t \quad (5)$$

$$\tau = \tau_0 \sin (\omega t + \delta) \quad (6)$$

Donde  $\delta$  es el desfase del esfuerzo con respecto a la deformación provocada (característico de cada material). Manipulando algebraicamente las anteriores definiciones obtenemos lo siguiente:

$$\frac{d\gamma}{dt} = \gamma_0 \omega \cos \omega t \quad \dot{\gamma} = \dot{\gamma}_0 \cos \omega t \quad (7)$$

De la expresión 6 mediante una identidad trigonométrica llegamos a

$$\tau = \tau_0 \sin \omega t \cos \delta + \tau_0 \cos \omega t \sin \delta \quad (8)$$

Dividiendo (8) entre  $\gamma_0$

$$\frac{\tau}{\gamma_0} = \frac{\tau_0 \cos \delta}{\gamma_0} \sin \omega t + \frac{\tau_0 \sin \delta}{\gamma_0} \cos \omega t \quad (9)$$

$$G'(\omega) = \frac{\tau_0 \cos \delta}{\gamma_0} \quad G''(\omega) = \frac{\tau_0 \sin \delta}{\gamma_0} \quad (10)$$

Sustituyendo (10) en (9)

$$\frac{\tau}{\gamma_0} = G' \sin \omega t + G'' \cos \omega t \quad (11)$$

Dentro del ámbito del modelado de ecuaciones, una vez teniendo los módulos  $G$  experimentalmente, se tiene que generar una ecuación que cumpla con ajustar los datos obtenidos, para esto se elige el modelo de Maxwell, para representar al sistema y una vez teniendo este, se resuelve a través de la transformada de Fourier, obteniendo la siguiente expresión:

$$\sigma(i\omega) = \frac{i\omega \eta \gamma(i\omega)}{1 + i\omega\lambda} \quad (12)$$

Dado que  $G^* = \frac{\sigma(i\omega)}{\gamma(i\omega)}$  se sustituye en (12)

$$G^* = \frac{i\omega G \lambda}{1 + i\omega\lambda} \quad (13)$$

Multiplicando(13) por un conjugado de  $(1 + i\omega)$  y separando la suma

$$G^* = \frac{\omega^2 \lambda^2 G}{1 + \omega^2 \lambda^2} + i \frac{\omega \lambda G}{1 + \omega^2 \lambda^2} \quad (14)$$

$$G^* = G' + iG'' \quad (15)$$

$$G' = \frac{\omega^2 \lambda^2 G}{1 + \omega^2 \lambda^2} \quad G'' = \frac{\omega \lambda G}{1 + \omega^2 \lambda^2} \quad (16)$$

Las ecuaciones presentadas en el número 16, son los modelos que describen el comportamiento de  $G'$  y  $G''$ , para el experimento oscilatorio. Una vez definidos los módulos se presenta una relación que nos permite determinar si el fluido es viscoelástico o totalmente viscoso, la cual se presenta a continuación:

$$\frac{G''}{G'}$$

Los resultados de esta relación se pueden analizar de la siguiente manera:

- si el cociente es menor que 1 significa que la parte elástica esta dominando y se considera un material viscoelástico
- si el cociente es mayor que uno significa que los efectos elásticos son despreciables y se le considerara un fluido netamente viscoso.

Para llevar a cabo el estudio de las propiedades antes mencionadas, y poder determinarlas experimentalmente se requieren equipos adecuados. Los reómetros son equipos que permiten la medición de viscosidad de corte, módulos de pérdida y elástico. La determinación de la viscosidad extensional es un tema que aún está en etapas de desarrollo, y para esta propiedad, se tienen reómetros especiales. Existen diversos reómetros, a continuación se mencionan algunos de estos:

*Reómetros para propiedades de corte ( $\dot{\gamma}$ )*

Cilindros concéntricos  
 Cono y plato  
 Platos paralelos  
 Capilar

*Reómetro para propiedades extensionales ( $\dot{\epsilon}$ )*

Existen varios equipos para la determinación de esta propiedad, sin embargo, como se mencionó previamente, no hay un consenso sobre cuál es el más adecuado. El Reómetro de orificio ha sido usado con éxito en fluidos alimenticios y además en el CCADET se tiene acceso a este equipo, ya que fue desarrollado en esta entidad.

Además, por tratarse de un equipo todavía en desarrollo, es importante fundamentar su uso con un breve análisis.

Partiendo de la definición de viscosidad extensional en flujo de elongación:

$$\eta_{E,a} = \frac{N_1}{\dot{\epsilon}_a} \quad (17)$$

$N_1$ : Primera diferencia de esfuerzos normales

$\dot{\epsilon}_a$ : Es la rapidez extensional nominal (no considera efectos de borde)

$N_1$  se puede determinar de la contribución elástica de la caída de presión

$\Delta P_e$ : caída de presión de la parte elástica

$\Delta P_c$ : caída de presión

$\Delta P_{c,v}^{PL}$ : caída de presión generada en la contracción

$$\Delta P_e = \Delta P_c - \Delta P_{c,v}^{PL}$$

$W = \text{trabajo por unidad de volumen}$

$$\frac{D}{Dt} \left( \frac{\partial W}{\partial V} \right) = (\tau_{XX} - \tau_{YY}) \dot{\epsilon}_{XX} \quad (18)$$

Teniendo en cuenta que durante la contracción el trabajo va aumentando y este será igual al trabajo mecánico externo que se ejerce en el material, podemos hacer la siguiente igualdad.

$$\frac{\partial W}{\partial V} = -P \quad (19)$$

$$\dot{\varepsilon}_{xx} = \dot{\varepsilon}_a \quad (20)$$

Substituyendo en la ecuación 18, las ecuaciones 19 y 20, además de la definición de esfuerzos normales, tenemos que:

$$\frac{DP}{Dt} = -N_1 \dot{\varepsilon}_a \quad (21)$$

Definiendo el esfuerzo de Henky de la siguiente forma:

$$\varepsilon_H(x) = \int_0^t \dot{\varepsilon}_a dt' \quad (22)$$

E integrando la ecuación 21, asumiendo  $N_1$  constante, tenemos que

$$N_1 = \frac{\Delta P_e}{\varepsilon_H} \quad (23)$$

Y Utilizando la definición (17), se sustituye en (23). obteniendo

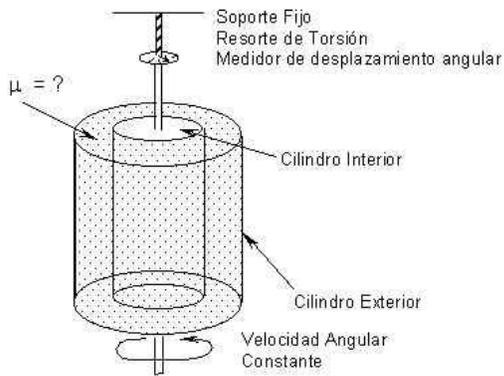
$$\eta_{E,a} = \frac{\Delta P_e}{\varepsilon_H \dot{\varepsilon}_a} \quad (24)$$

La ecuación 24 es la que se utilizó para calcular la viscosidad extensional en el reómetro de orificio, esta se puede encontrar, en el artículo **Microfluidic extensional rheometry using hyperbolic contraction geometry**, en el cual se puede encontrar con más detalle el anterior análisis.

En la ecuación 24 se puede ver que su estructura es parecida a la de una viscosidad aparente la cual es un cociente entre el tensor de esfuerzos y la rapidez de deformación, en este caso, el gradiente de presión entre el esfuerzo de henky se relación con la primera diferencia de esfuerzos, así las unidades de esta ecuación amanera de corroboración son **Pa s** .

Se presentan a continuación esquemas de algunos Reómetros

**Imagen 2.3 Reómetro de Cilindros Concéntricos**



En las imágenes 2.3, 2.4 y 2.5 se presentan las configuraciones de “cilindros concéntricos”, “cono y plato” y “plato-plato” que se utilizan en el reómetro dependiendo de la viscosidad del fluido.

**Imagen 2.4 Reómetro de Cono y Plato**

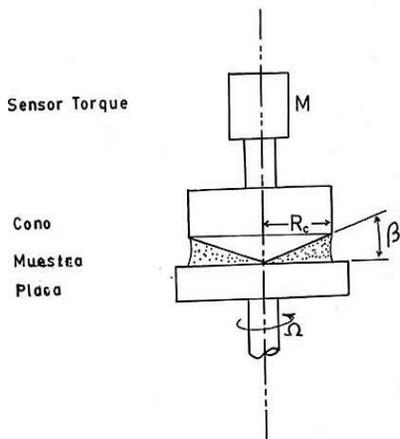


Figura 6 : Viscosímetro de cono y placa.

**Imagen 2.5 Reómetro de Plato y Plato**

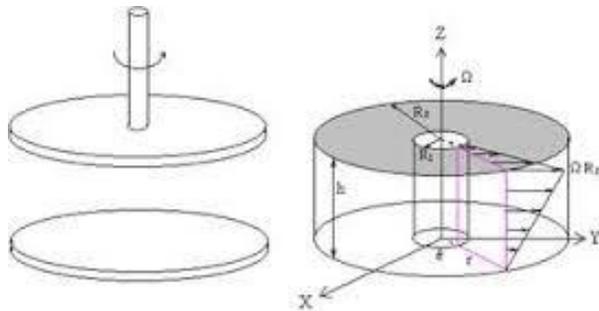


Imagen2.6 Reómetro Extensional



Reómetro extensional que se desarrolló en el CCADET, siguiendo las ecuaciones presentadas del número 17 al 22.

### 3) METODOLOGIA DE TRABAJO Y ELECCION DE LAS MUESTRAS

Se analizaron 6 muestras de salsas, tres salsas cátsup y tres salsas picantes, con lo cual se tuvieron dos que no contenían aditivos y cuatro que sí.

Tabla 3.1 Muestras Experimentales

<b>Salsa Cátsup</b>	<b>Salsa Picante</b>
<i>Heinz</i> (sin aditivos)	<i>Valentina</i> (sin aditivos)
<i>Del Monte</i> (Aditivo: Xantana)	<i>Búfalo</i> (Aditivo: Xantana)
<i>Mi Cátsup</i> (Aditivo:CMC)	<i>Botanera</i> (Aditivo: Xantana)

#### 3.1) Análisis:

Este consistió en hacer pasar cada una de las muestras por el reómetro de corte con geometría plato-plato, después teniendo ya las pruebas finalizadas, se usó el reómetro extensional. Las pruebas efectuadas en el reómetro de corte son las de deformación por rapidez de corte y oscilación sinusoidal. Una vez teniendo los datos suficientes, se asignaron los modelos anteriormente mencionados, que se ajustan al comportamiento de los mismos adecuadamente.

Como un detalle importante para el ajuste de los modelos de los módulos  $G'$ ,  $G''$ , es necesario tomar en cuenta el modulo  $G^*$

#### 3.2) Uso de reómetros-Trabajo experimental

Reómetro de corte

Para el análisis se estableció la geometría “Plato-Plato”, debido a que la consistencia de las muestras en apariencia era alta, teniendo lo anterior especificado, para que el análisis se llevara a cabo, fue necesario establecer la separación entre plato y plato, además de fijar la temperatura para restringir la dependencia de la viscosidad exclusivamente a la rapidez de corte.

Imagen3.1Reómetro Plato-Plato



Reómetro con la configuración Plato-Plato, la imagen 3.1 muestra las condiciones de trabajo que se programaron para determinar la viscosidad de corte.

Reómetro extensional:

Para el uso del reómetro extensional era necesario calibrarlo teniendo en cuenta lo siguiente:

Se utilizó para la calibración un fluido newtoniano. Esto debido a que se haría uso de la “relación de Trouton”. Con lo anterior, teniendo ya preestablecida una viscosidad de corte, se podía calcular la viscosidad extensional.

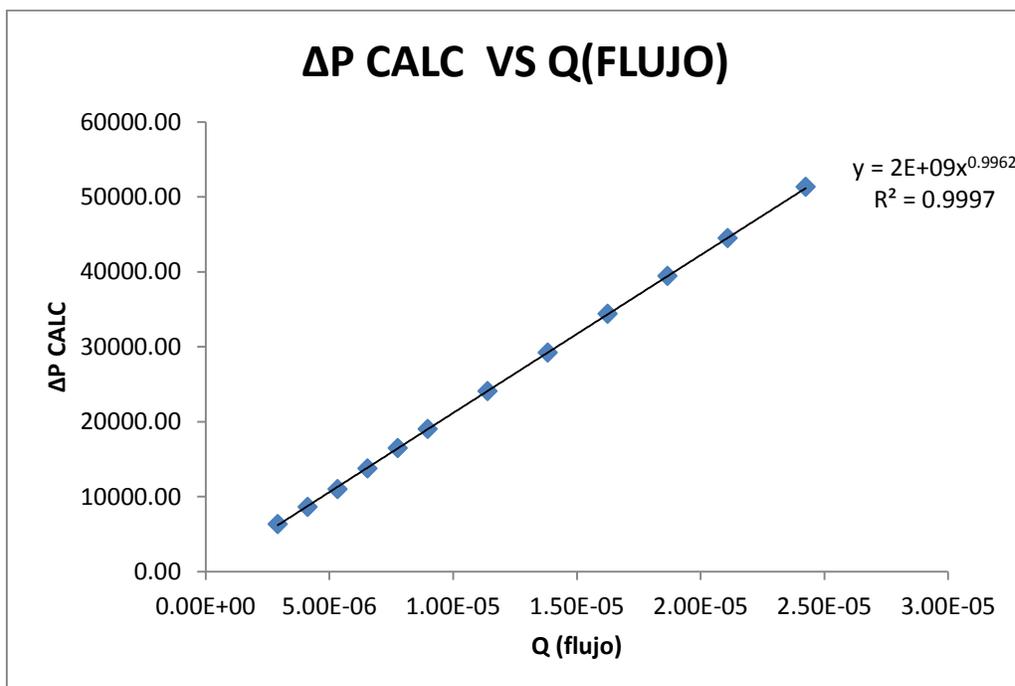
Tomando la ecuación 21, sabiendo los parámetros de rapidez de extensión y el esfuerzo de henky, se obtuvo una caída de presión, que se denominó  $\Delta P_{CALC}$

Posteriormente se hizo pasar la muestra por el reómetro de orificio, obteniendo el parámetro  $\Delta P_{MED}$ .

Una vez teniendo los datos ya mencionados, se elaboró una gráfica  $\Delta P_{CALC}$  vs.  $\Delta P_{MED}$ , de manera que al hacer un ajuste entre estos dos parámetros se pueda obtener una ecuación que ayude a corregir la caída de presión experimental.

Es importante corroborar que el reómetro extensional esté trabajando a régimen laminar, esta es una de las condiciones más importantes, por lo cual una vez obtenida la ecuación de corrección del delta de presión, se usaría para generar una grafica  $\Delta P_{CALC}$  vs.  $Q$  (flujo), de manera que al observar su correspondencia lineal, con una pendiente positiva, se pueda asegurar el régimen laminar.

Imagen 3.2 Caída de presión calculada VS. Flujo



#### 4) RESULTADOS

Para la caracterización, se encontró un modelo que reprodujera el comportamiento de la viscosidad corte, para posteriormente utilizarlo en la ecuación constitutiva, mientras que para la parte extensional solo se asignó el modelo de comportamiento, de la parte viscoelástica se obtuvieron los valores de los tiempos de relajación mediante el análisis de los módulos  $G'$  y  $G''$ .

La ecuación constitutiva para la parte de viscosidad de corte se propuso la de un fluido newtoniano generalizado:

$$\bar{\tau} = -\eta(\dot{\gamma})\bar{\gamma}$$

Para la parte viscoelástica se utilizó el modelo lineal generalizado:

$$\bar{\tau} = -\int_{-\infty}^t G(t-t')\bar{\gamma}(t') dt'$$

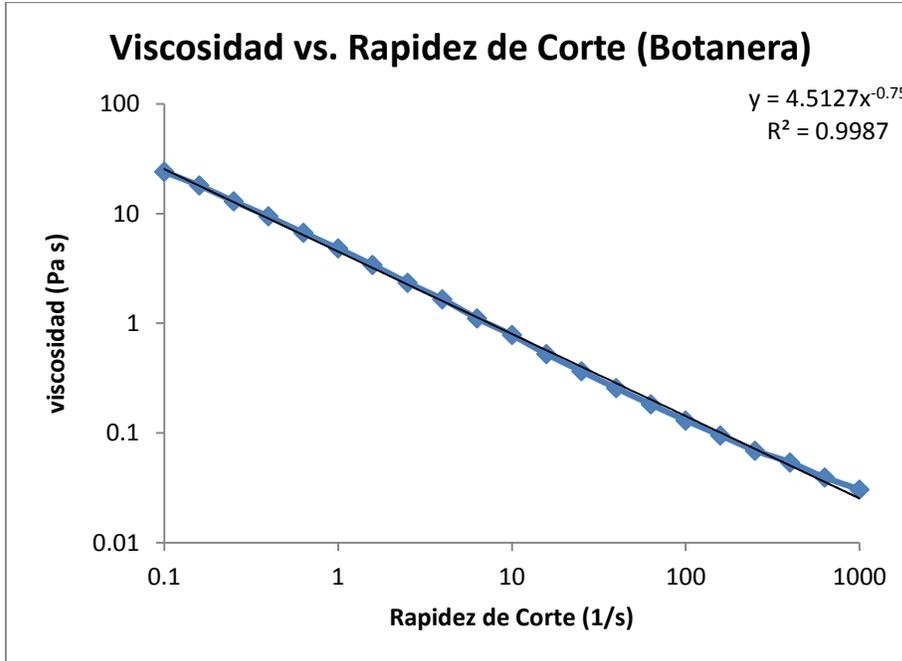
Del cual tomando G como el modelo de maxwell general, se puede obtener:

$$\text{Modulo } G' = \sum_{i=1}^n \frac{\omega^2 \lambda_n^2 G_n}{1+\omega^2 \lambda_n^2} \quad \text{Modulo } G'' = \sum_{i=1}^n \frac{\omega \lambda_n G_n}{1+\omega^2 \lambda_n^2}$$

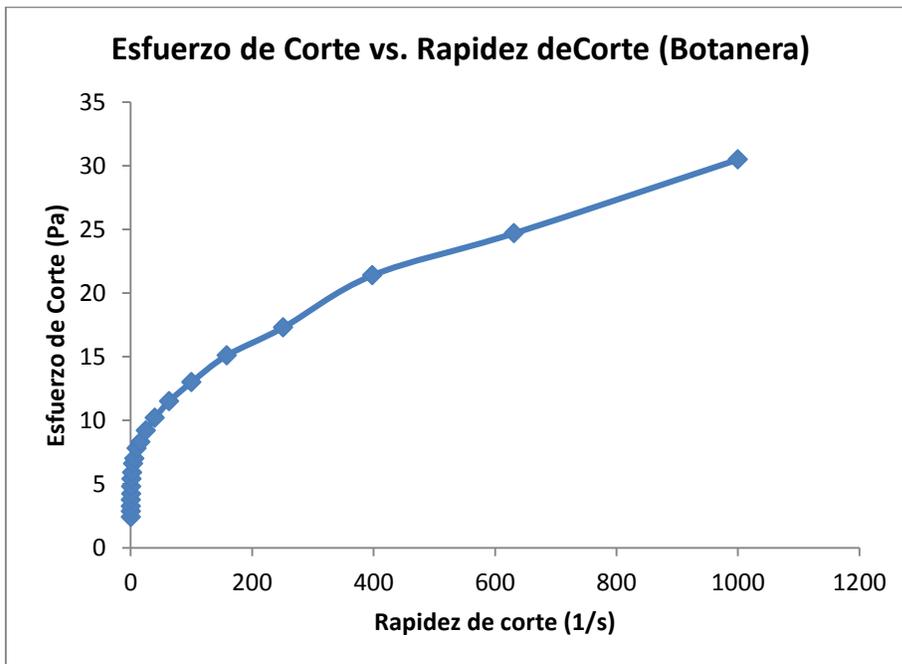
Así a continuación se muestran los resultados de las pruebas efectuadas.

## 4.1) Salsa Botanera

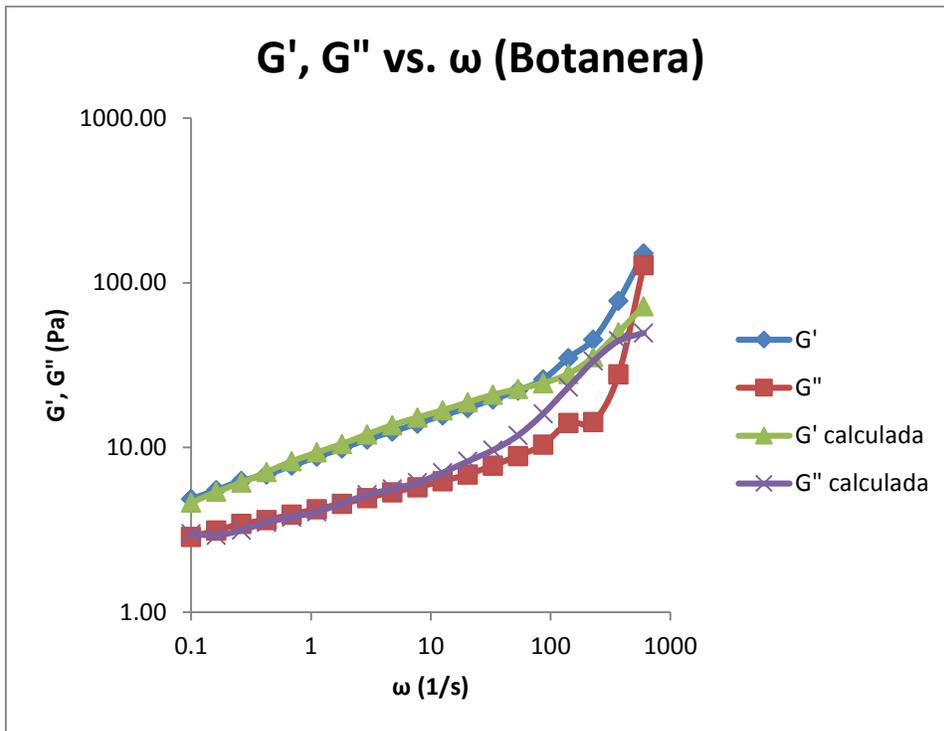
Grafica 4.1 Viscosidad vs. Rapidez de Corte (Botanera)



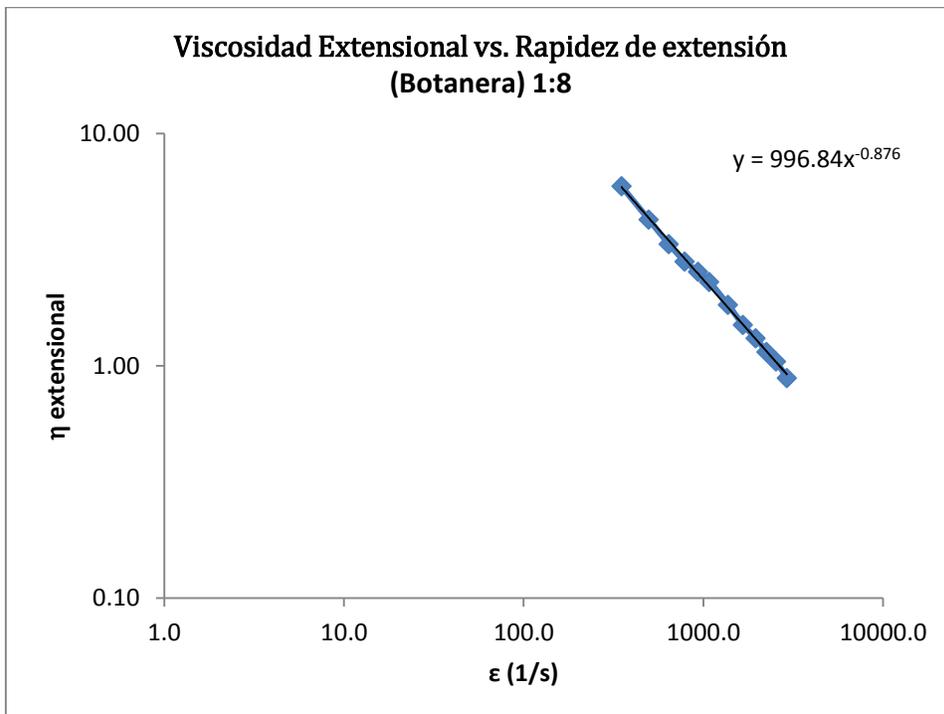
Grafica 4.2 Esfuerzo de corte vs. Rapidez de corte (Botanera)



Grafica 4.3 G', G'' vs.  $\omega$  (Botanera)



Grafica 4.4 viscosidad extensional vs. Rapidez de extensión (Botanera) 1:8



Tras la obtención de los datos y la observación de los mismos, se obtuvieron los siguientes modelos de ecuaciones constitutivas

Análisis de viscosidad de corte (viscosidad vs. Rapidez de Corte):

Modelo Ley de potencia:  $\eta = 4.5127\dot{\gamma}^{-0.75}$

Análisis de oscilación sinusoidal:

Modulo  $G' = \sum_{i=1}^n \frac{\omega^2 \lambda_n^2 G_n}{1 + \omega^2 \lambda_n^2}$  Modulo  $G'' = \sum_{i=1}^n \frac{\omega \lambda_n G_n}{1 + \omega^2 \lambda_n^2}$

$\Lambda = 1.66 \times 10^{-3} \text{ s}$

Con los siguientes  $\lambda$  y G

Tabla 4.1 Valores de lambda y G (Botanera)

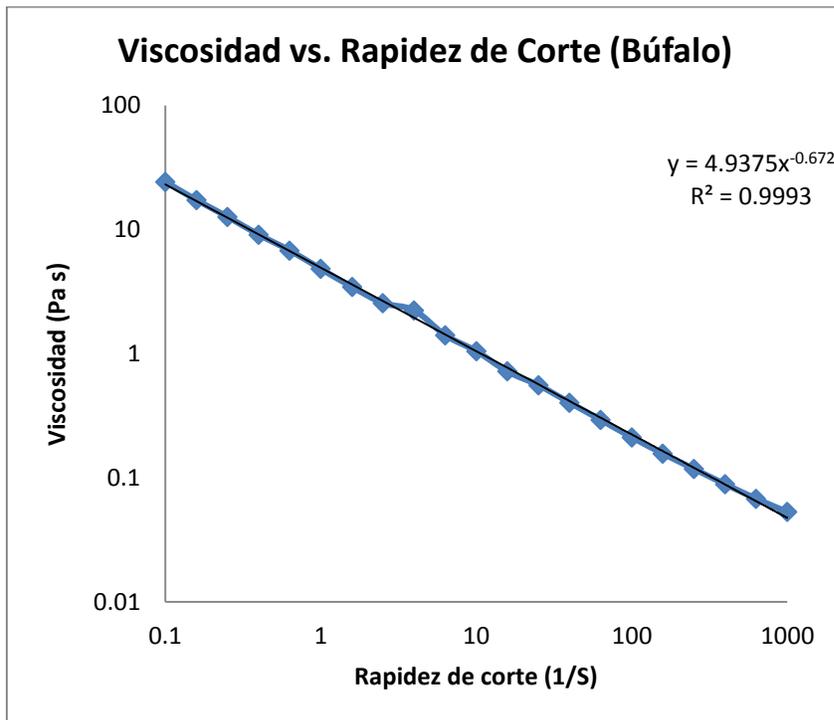
$\lambda$	G
0.814	0.614
1.122	2.152
0.041	5.152
1.414	$8.17 \times 10^{-05}$
26.309	4.889
$6.11 \times 10^{-06}$	0.446
1.000	$4.85 \times 10^{-06}$
0.814	0.614
1.000	$5.08 \times 10^{-06}$
0.001	103.77
0.037	2.55
0.472	$2.00 \times 10^{-05}$
0.251	1.931
3.555	2.594
0.212	3.483

Análisis de viscosidad extensional

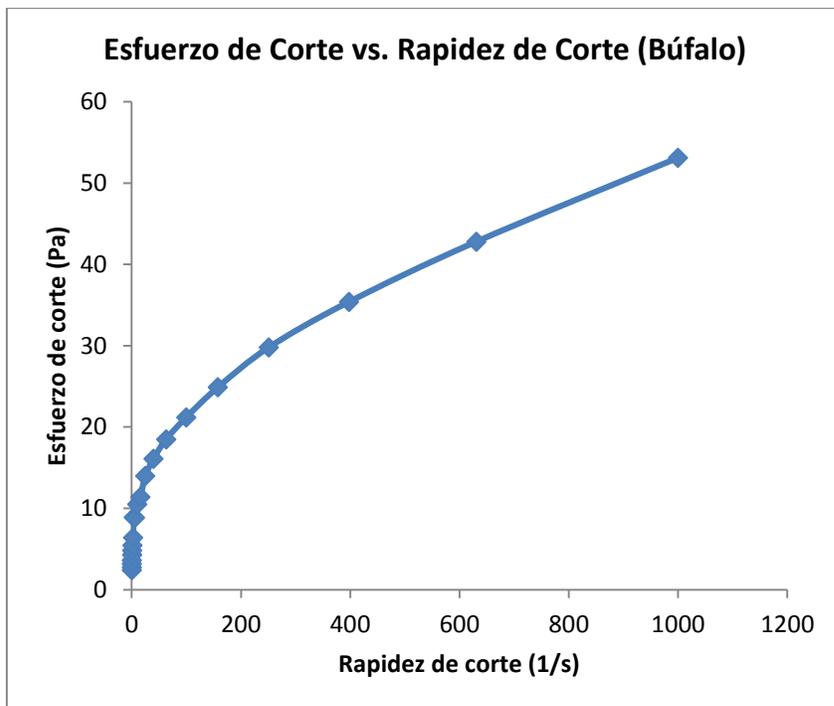
Modelo Ley de potencia:  $\eta_{ext} = 996.84\dot{\epsilon}^{-0.876}$

## 4.2) Salsa Búfalo

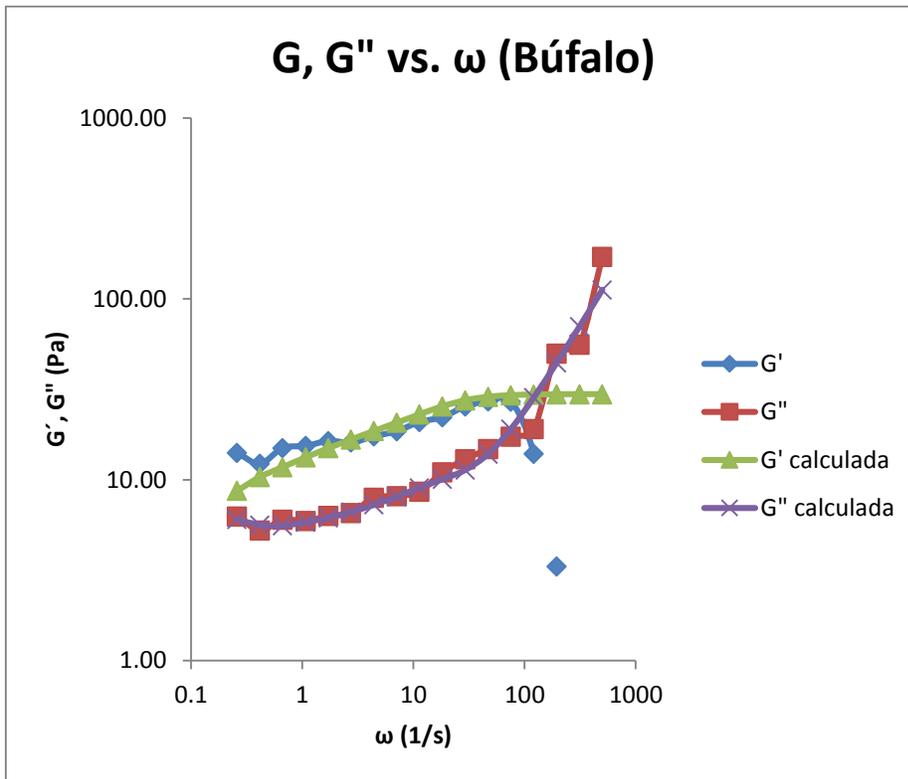
Grafica 4.5 Viscosidad vs. Rapidez de Corte (Búfalo)



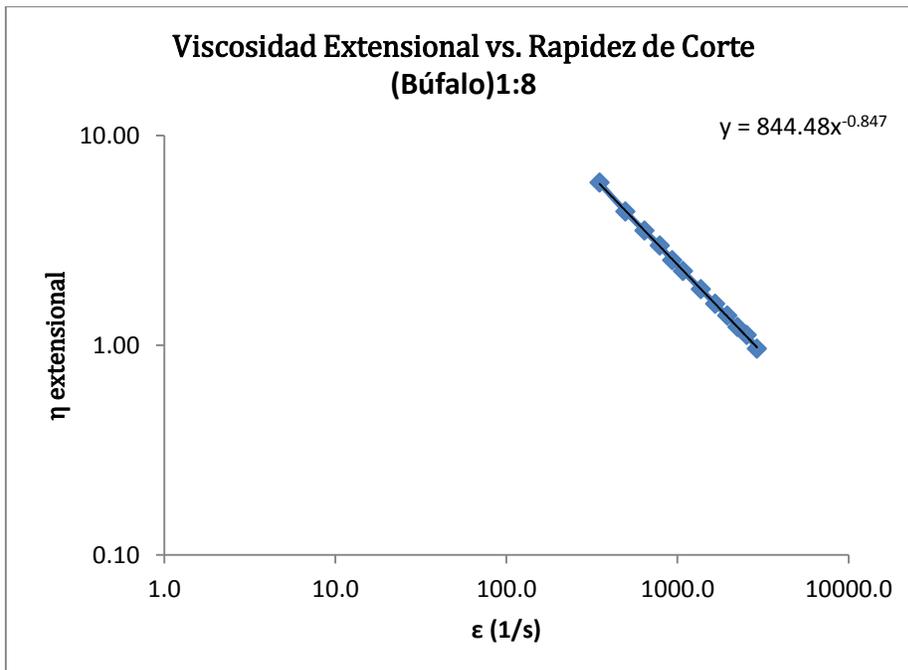
Grafica 4.6 Esfuerzo de corte vs. Rapidez de corte (Búfalo)



Grafica 4.7 G', G'' vs. w (Búfalo)



Grafica 4.8 viscosidad extensional vs. Rapidez de extensión (Búfalo) 1:8



Los modelos para esta salsa son los siguientes:

Análisis de viscosidad de corte (viscosidad vs. Rapidez de Corte):

$$\text{Modelo Ley de potencia: } \eta = 4.9375\dot{\gamma}^{-0.672}$$

Análisis de oscilación sinusoidal:

$$\text{Modulo } G' = \sum_{i=1}^n \frac{\omega^2 \lambda_n^2 G_n}{1 + \omega^2 \lambda_n^2} \quad \text{Modulo } G'' = \sum_{i=1}^n \frac{\omega \lambda_n G_n}{1 + \omega^2 \lambda_n^2}$$

$$\Lambda = 0.013 \text{ s}$$

Con los siguientes  $\lambda$  y G

Tabla 4.2 Valores de lambda y G (Búfalo)

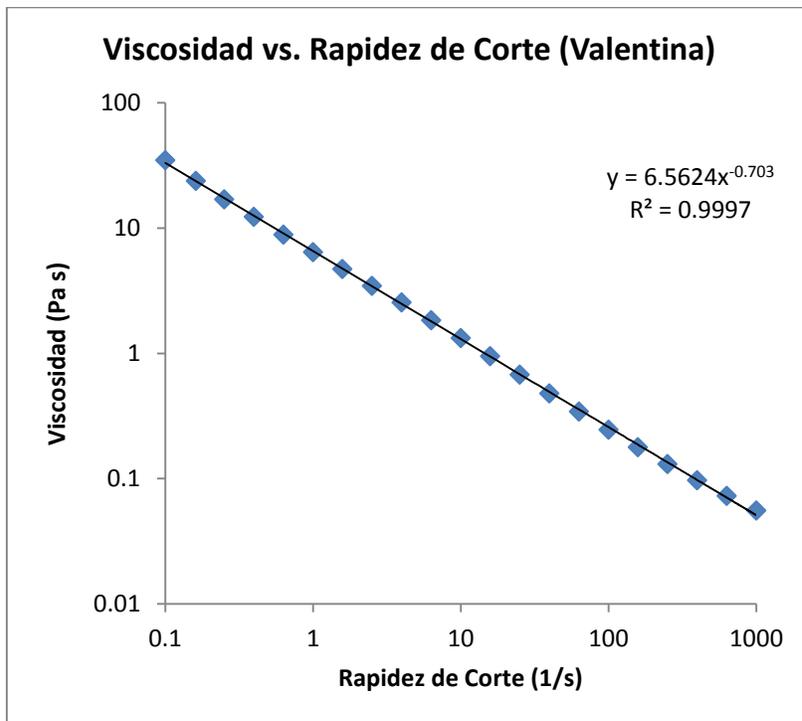
$\lambda$	G
1.383	$8.55 \times 10^{-05}$
7.258	14.15
$2.77 \times 10^{-06}$	0.046
1.00	$4.87 \times 10^{-06}$
$9.85 \times 10^{-04}$	$9.51 \times 10^{-06}$
0.999	$5.11 \times 10^{-06}$
0.100	8.95
0.109	$1.20 \times 10^{-05}$
0.471	$2.02 \times 10^{-05}$
$5.97 \times 10^{-06}$	$3.67 \times 10^{+04}$
0.668	3.68
1.506	$5.69 \times 10^{-03}$

Análisis de viscosidad extensional

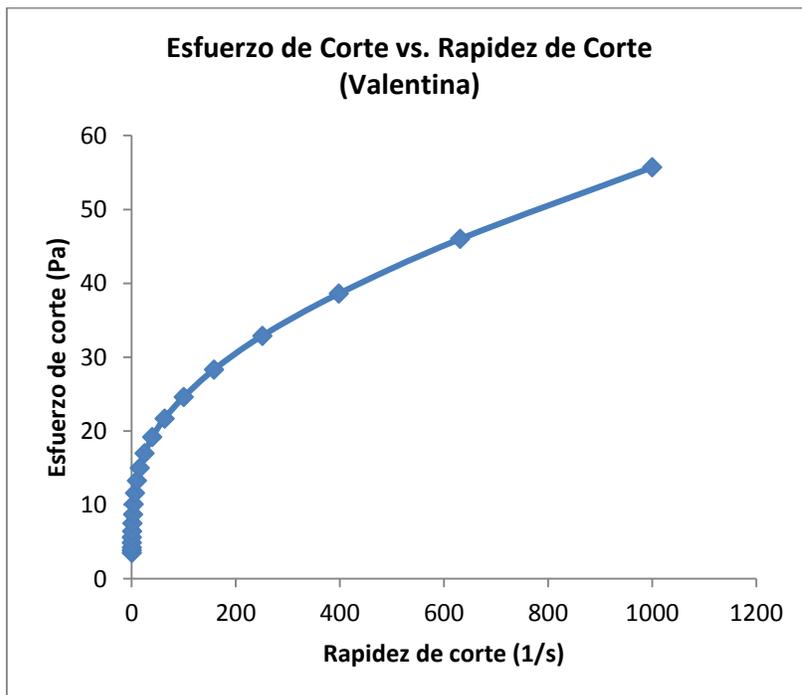
$$\text{Modelo Ley de potencia: } \eta_{ext} = 844.48\dot{\epsilon}^{-0.847}$$

### 4.3) Salsa Valentina

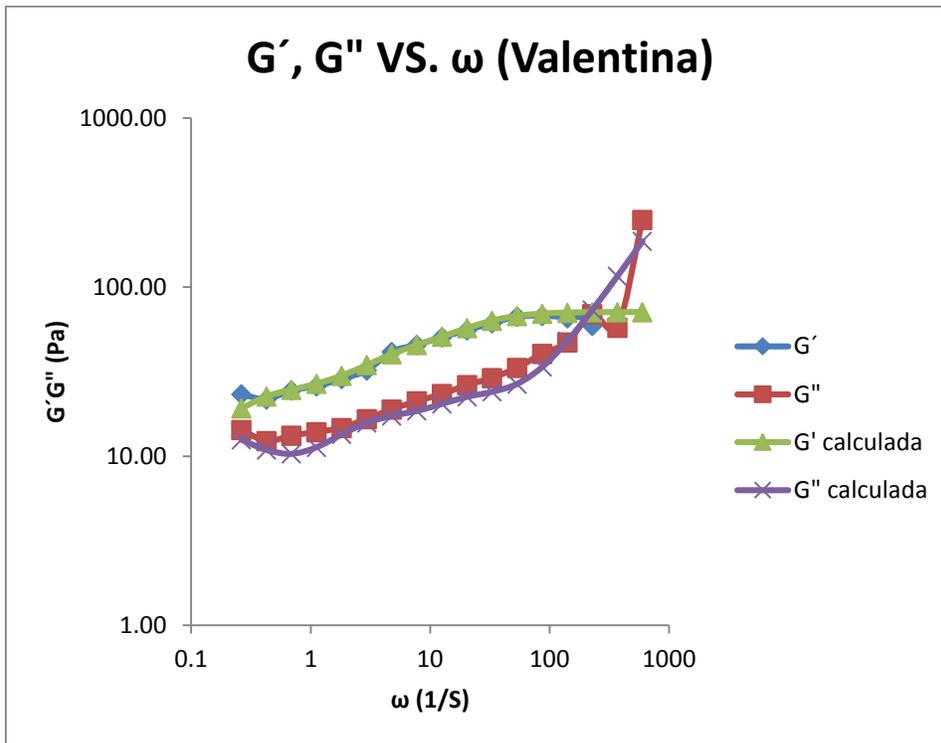
Grafica 4.9 Viscosidad vs. Rapidez de Corte (Valentina)



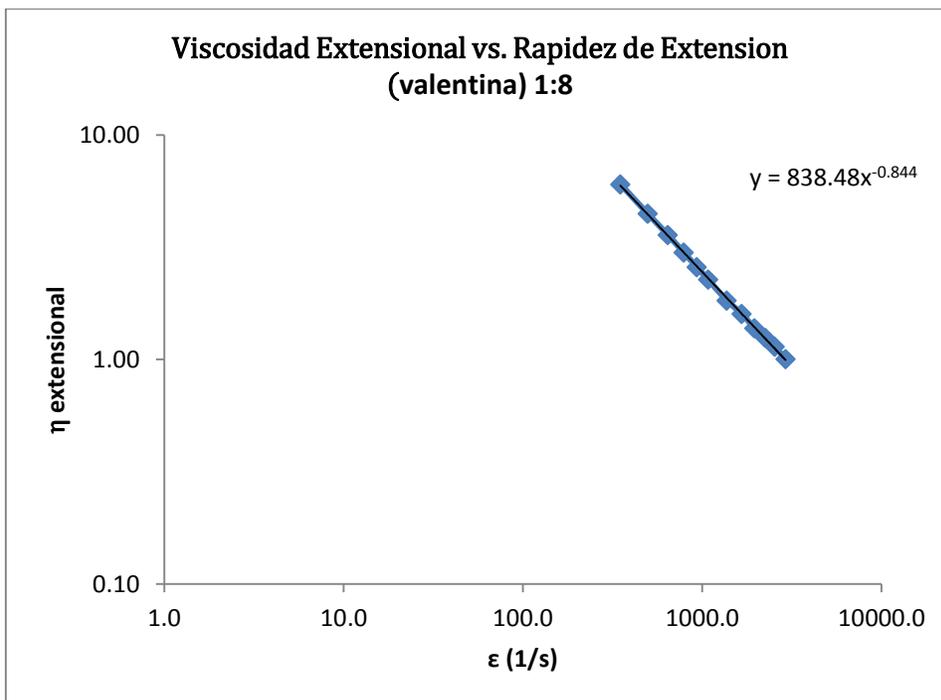
Grafica 4.10 Esfuerzo de corte vs. Rapidez de corte (Valentina)



Grafica 4.11 G', G'' vs. w (Valentina)



Grafica 4.12 viscosidad extensional vs. Rapidez de extensión (Valentina) 1:8



Modelos de salsa valentina:

Análisis de viscosidad de corte (viscosidad vs. Rapidez de Corte):

$$\text{Modelo Ley de potencia: } \eta = 6.5624\dot{\gamma}^{-0.703}$$

Análisis de oscilación sinusoidal:

$$\text{Modulo } G' = \sum_{i=1}^n \frac{\omega^2 \lambda_n^2 G_n}{1 + \omega^2 \lambda_n^2} \quad \text{Modulo } G'' = \sum_{i=1}^n \frac{\omega \lambda_n G_n}{1 + \omega^2 \lambda_n^2}$$

$$\Lambda = 4.38 \times 10^{-3}$$

Con los siguientes  $\lambda$  y  $G$

Tabla 4.3 Valores de Lambda y G (Valentina)

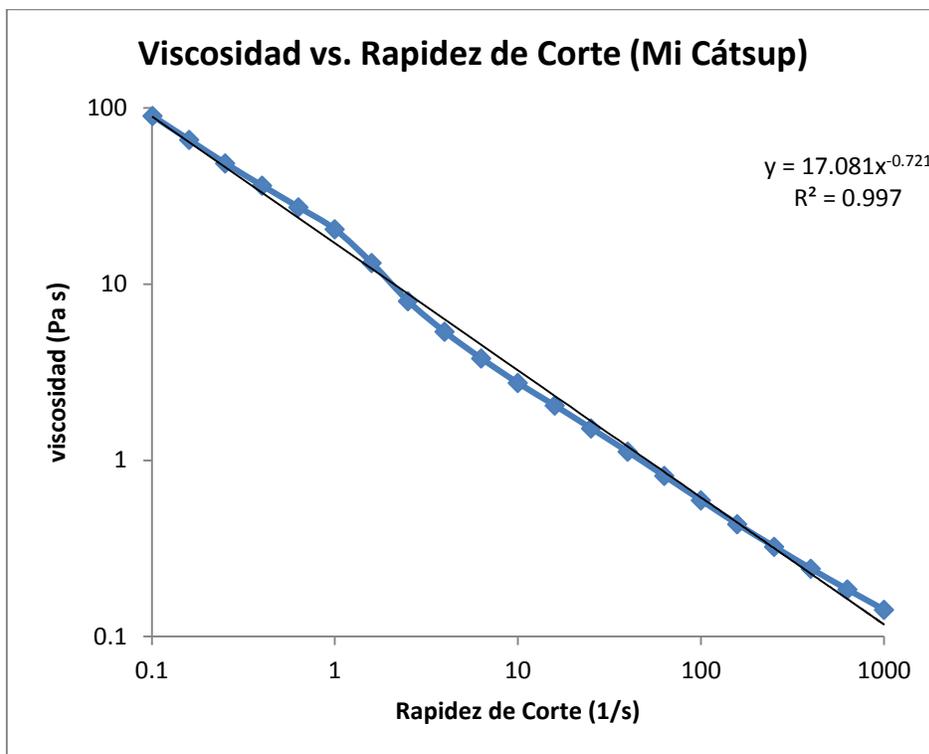
$\lambda$	G
0.210	8.128
0.065	0.199
0.032	28.047
0.147	4.798
6.263	21.675
0.516	1.462
0.628	8.088
0.147	4.798
$1.64 \times 10^{-06}$	$1.73 \times 10^{+05}$
6.565	0.682
6.454	1.124
6.051	0.548

Análisis de viscosidad extensional

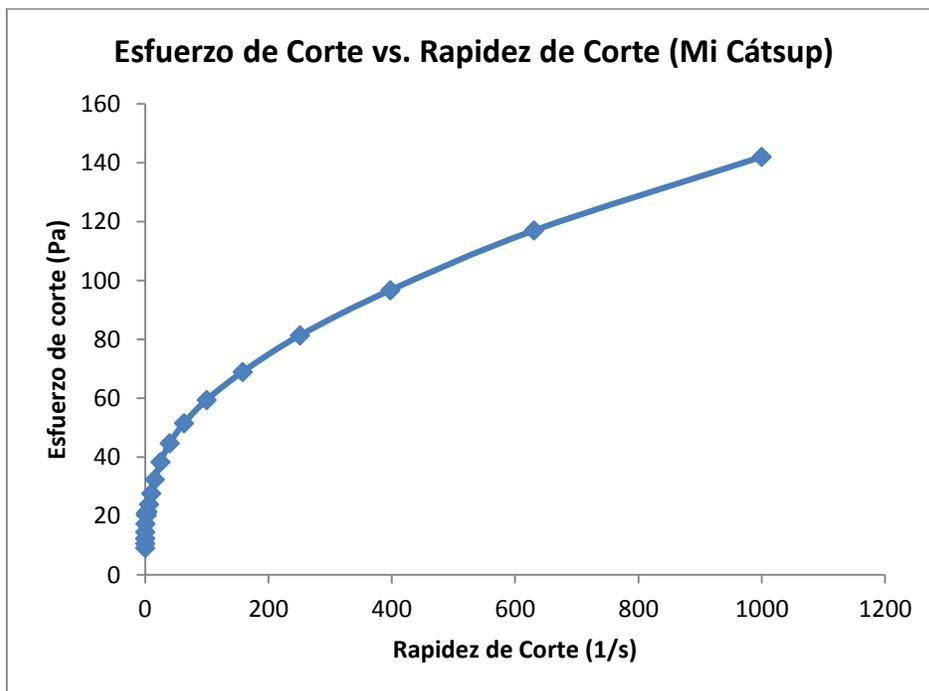
$$\text{Modelo Ley de potencia: } \eta_{ext} = 838.48\dot{\epsilon}^{-0.844}$$

#### 4.4) Salsa Cátup “Mi Cátup”

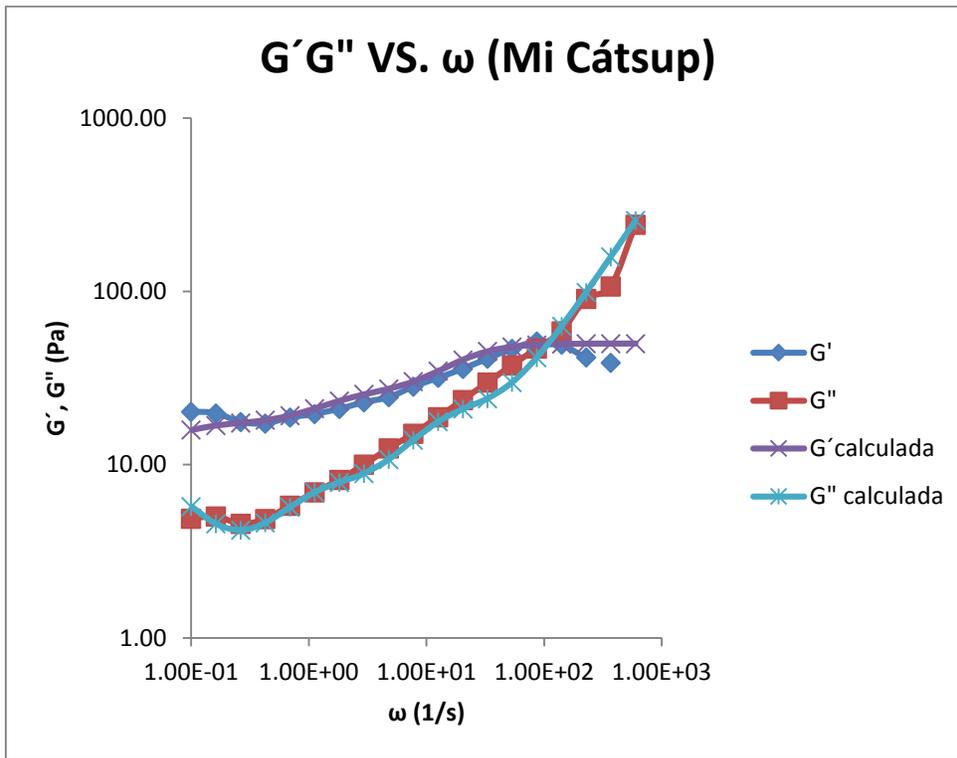
Grafica 4.13 Viscosidad vs. Rapidez de Corte (Mi Cátup)



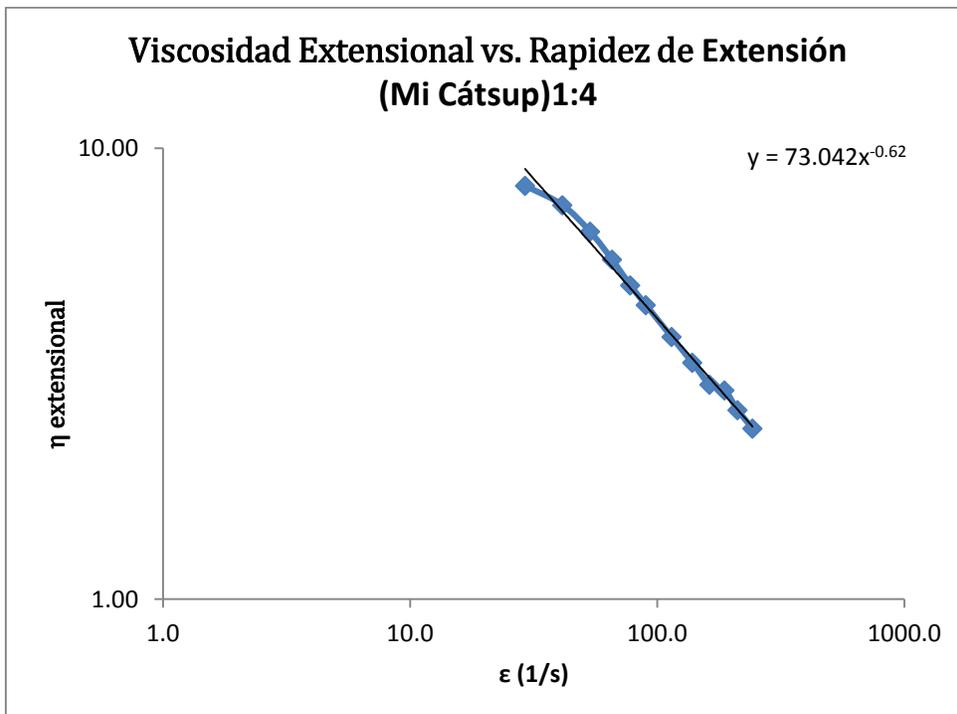
Grafica 4.14 Esfuerzo de corte vs. Rapidez de corte (Mi Cátup)



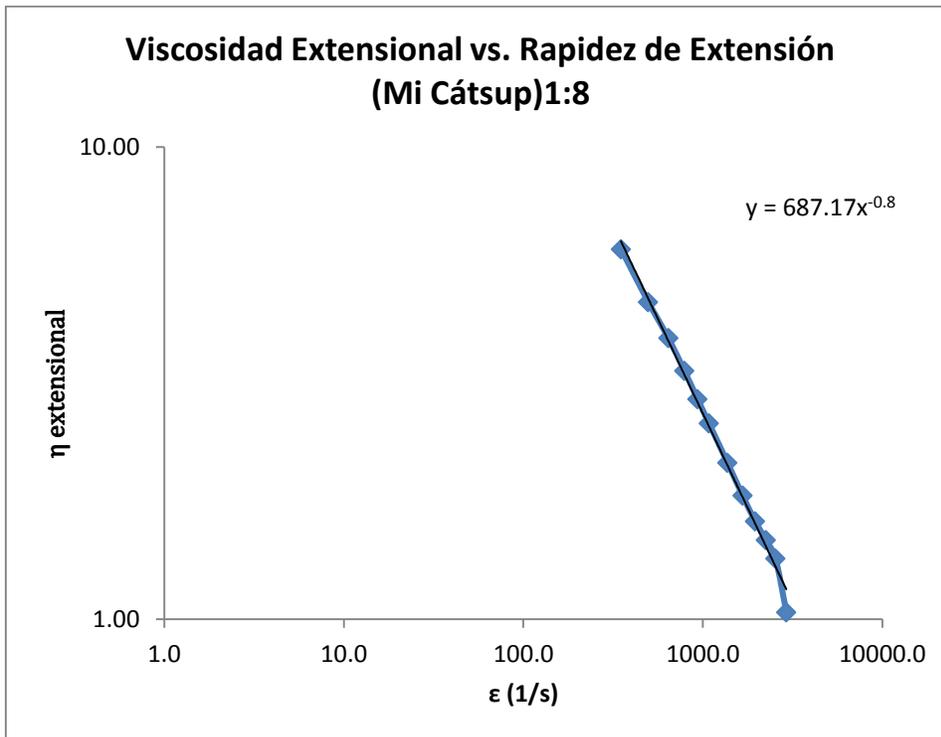
Grafica 4.15 G', G'' vs.  $\omega$  (Mi Cátsup)



Grafica 4.16 viscosidad extensional vs. Rapidez de extensión (Mi Cátsup) 1:4



Grafica 4.17 viscosidad extensional vs. Rapidez de extensión (Mi Cátup) 1:8



Modelos para la salsa cátsup “Mi Cátup”

Análisis de viscosidad de corte (viscosidad vs. Rapidez de Corte):

Modelo Ley de potencia:  $\eta = 17.081\dot{\gamma}^{-0.721}$

Análisis de oscilación sinusoidal:

$$\text{Modulo } G' = \sum_{i=1}^n \frac{\omega^2 \lambda_n^2 G_n}{1 + \omega^2 \lambda_n^2} \quad \text{Modulo } G'' = \sum_{i=1}^n \frac{\omega \lambda_n G_n}{1 + \omega^2 \lambda_n^2}$$

$$\Lambda = 0.011 \text{ s}$$

Con los siguientes  $\lambda$  y G

Tabla 4.4 Valores de Lambda y G (Mi Cátup)

$\lambda$	G
0.275	7.596
0.045	23.388
17.614	0.021
34.131	8.234
34.115	8.324
0.276	0.077

1.000	$1.08 \times 10^{-04}$
1.329	4.656
1.000	$7.57 \times 10^{-06}$
0.019	$1.64 \times 10^{-04}$
0.368	0.006
0.477	$6.63 \times 10^{-05}$
$2.4 \times 10^{-08}$	$1.70 \times 10^{+07}$

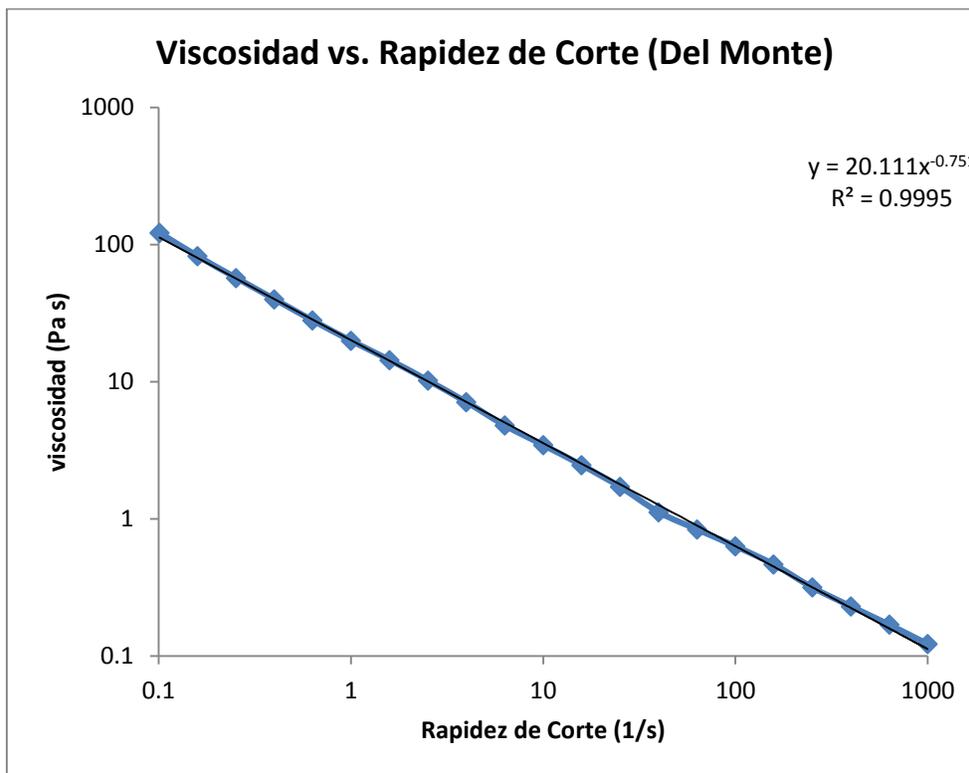
Análisis de viscosidad extensional

Contracción (1:4) -Modelo Ley de potencia:  $\eta_{ext} = 73.042\dot{\epsilon}^{-0.62}$

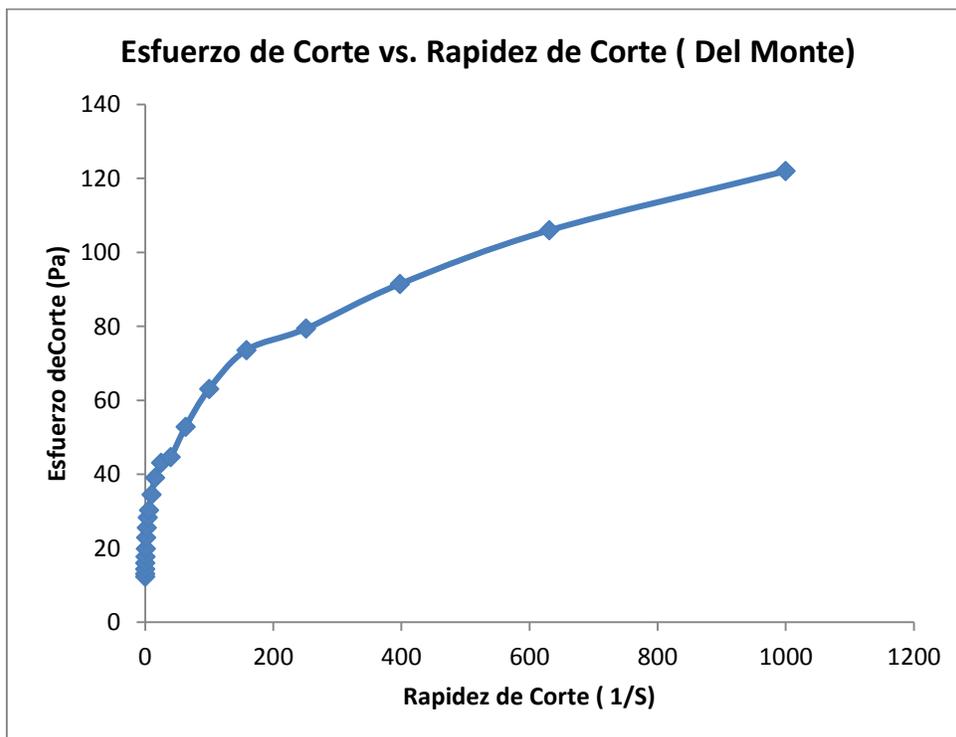
Contracción (1:8) -Modelo Ley de potencia:  $\eta_{ext} = 687.17\dot{\epsilon}^{-0.8}$

## 4.5) Salsa Cátup “Del Monte”

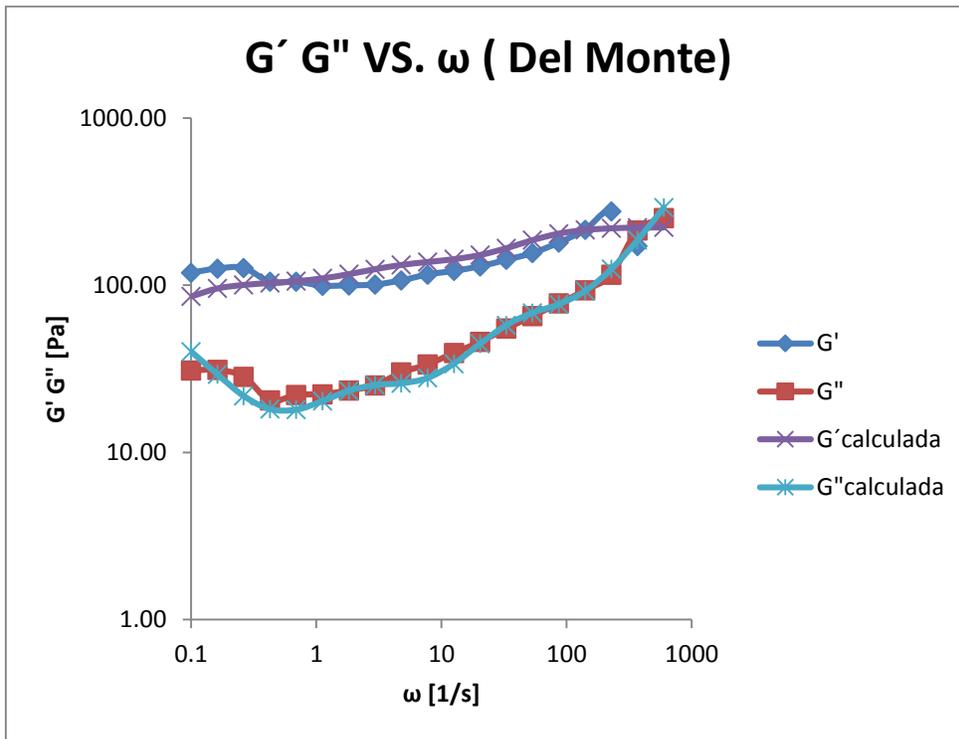
Grafica 4.18 Viscosidad vs. Rapidez de Corte (Del Monte)



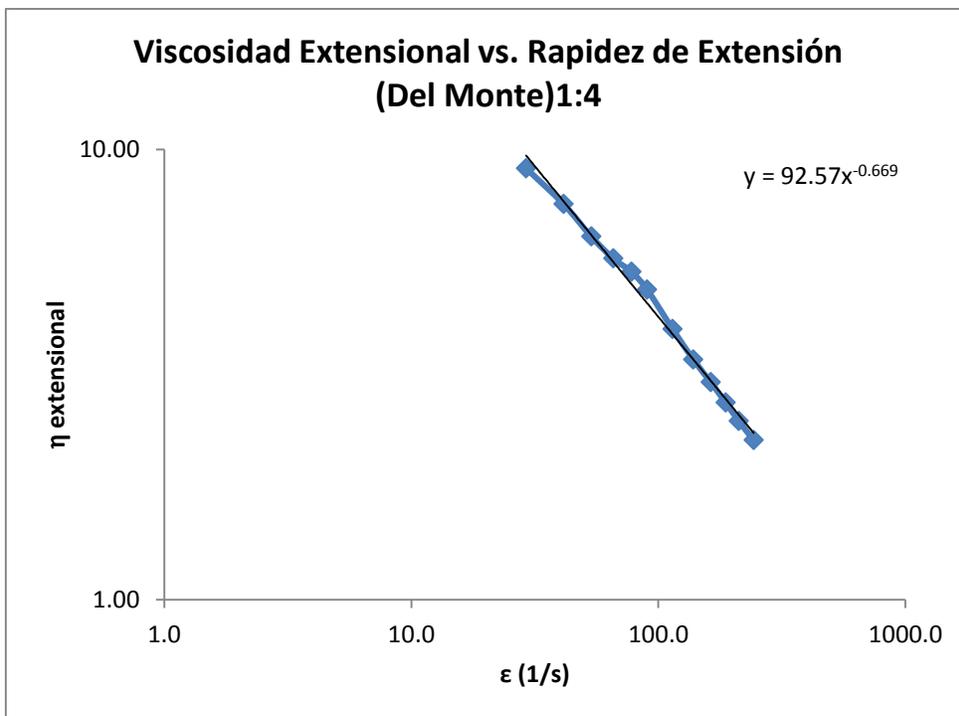
Grafica 4.19 Esfuerzo de corte vs. Rapidez de corte (Del Monte)



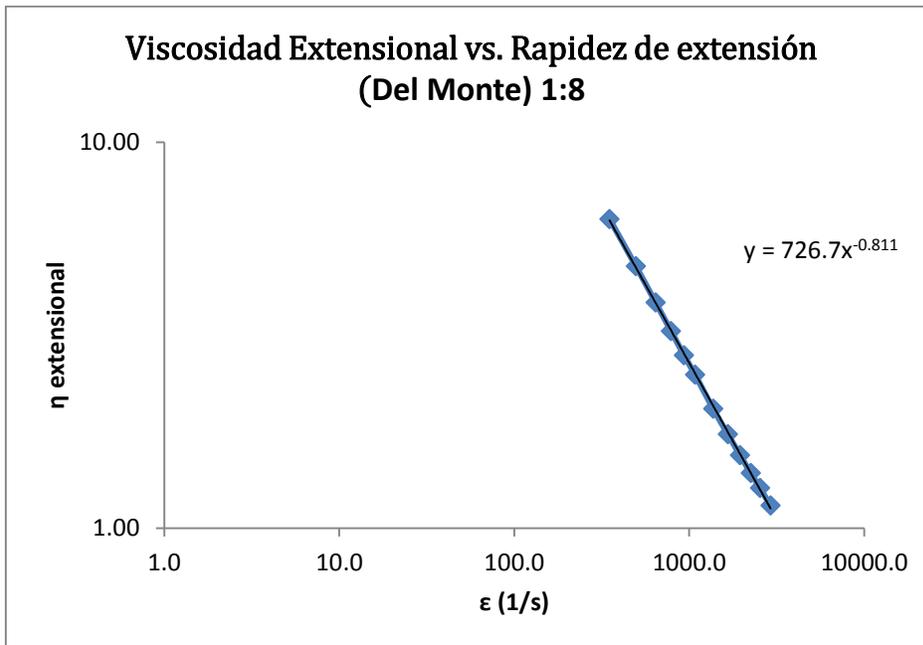
Grafica 4.20 G', G'' vs.  $\omega$  (Del Monte)



Grafica 4.21 viscosidad extensional vs. Rapidez de extensión (Del monte) 1:4



Grafica 4.22 viscosidad extensional vs. Rapidez de extensión (Del Monte) 1:8



Modelos para la salsa cátsup “Del Monte”

Análisis de viscosidad de corte (viscosidad vs. Rapidez de Corte):

Modelo Ley de potencia:  $\eta = 20.111\dot{\gamma}^{-0.751}$

Análisis de oscilación sinusoidal:

$$\text{Modulo } G' = \sum_{i=1}^n \frac{\omega^2 \lambda_n^2 G_n}{1 + \omega^2 \lambda_n^2} \quad \text{Modulo } G'' = \sum_{i=1}^n \frac{\omega \lambda_n G_n}{1 + \omega^2 \lambda_n^2}$$

$$\Lambda = 1.66 \times 10^{-3}$$

Con los siguientes  $\lambda$  y  $G$

Tabla 4.5 Valores de Lambda y G (Del monte)

$\lambda$	$G$
0.120	26.150
0.016	38.180
14.089	0.026
22.348	6.690
24.196	91.239
0.108	0.087
1.00	0.0001
0.723	18.288
1.000	$7.57 \times 10^{-06}$

23.328	3.909
$6.74 \times 10^{-06}$	$6.89 \times 10^{+04}$
0.477	$6.63 \times 10^{-05}$
0.016	38.073

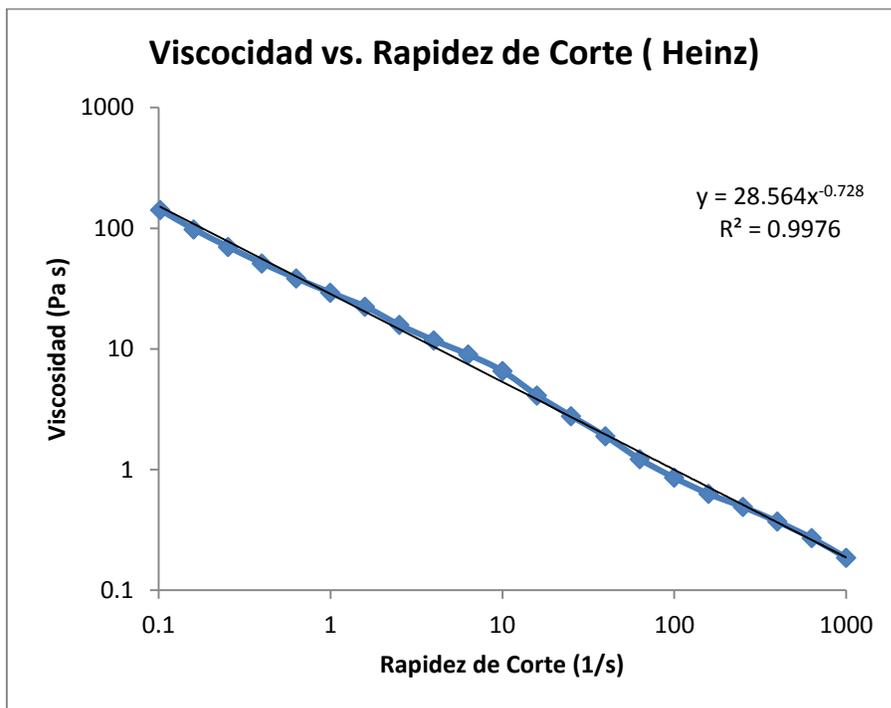
Análisis de viscosidad extensional

Contracción (1:4) -Modelo Ley de potencia:  $\eta_{ext} = 92.57\dot{\epsilon}^{-0.669}$

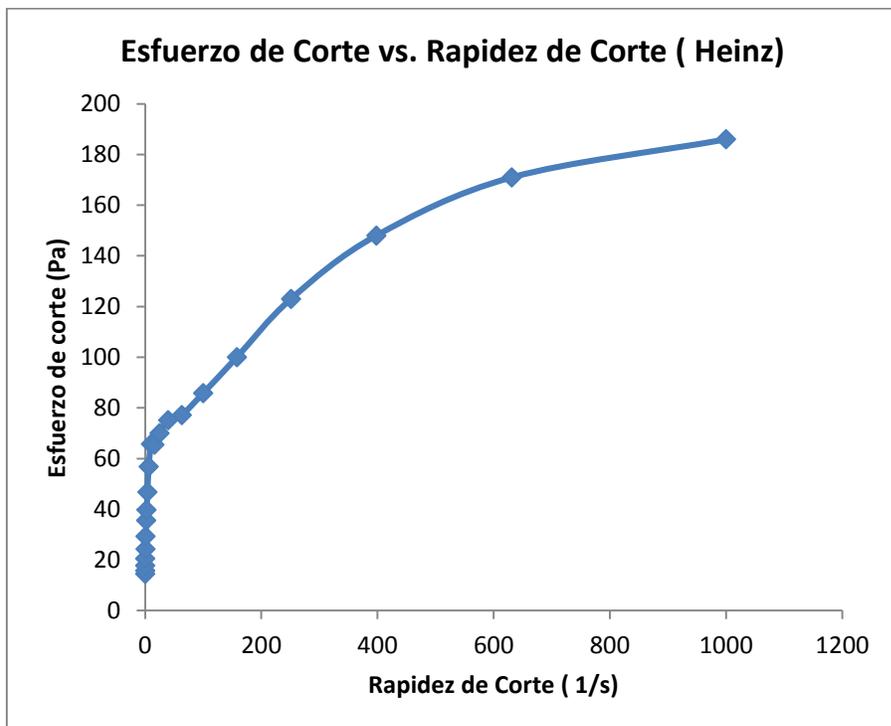
Contracción (1:8) -Modelo Ley de potencia:  $\eta_{ext} = 726.7\dot{\epsilon}^{-0.811}$

## 4.6) Salsa Cátsup "Heinz"

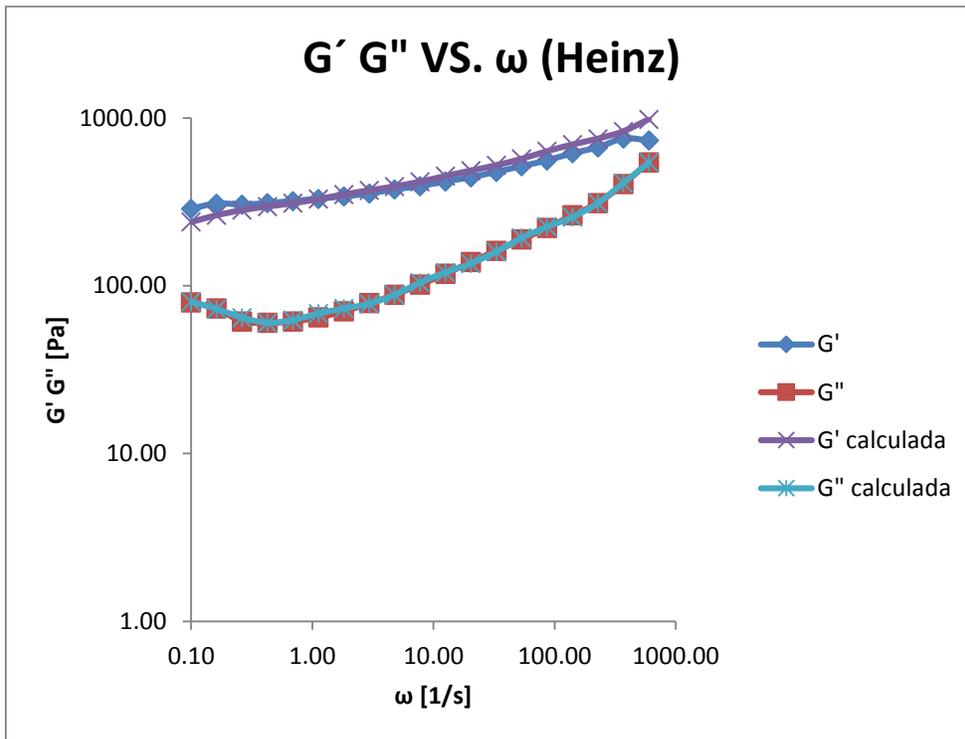
Grafica 4.23 Viscosidad vs. Rapidez de Corte (Heinz)



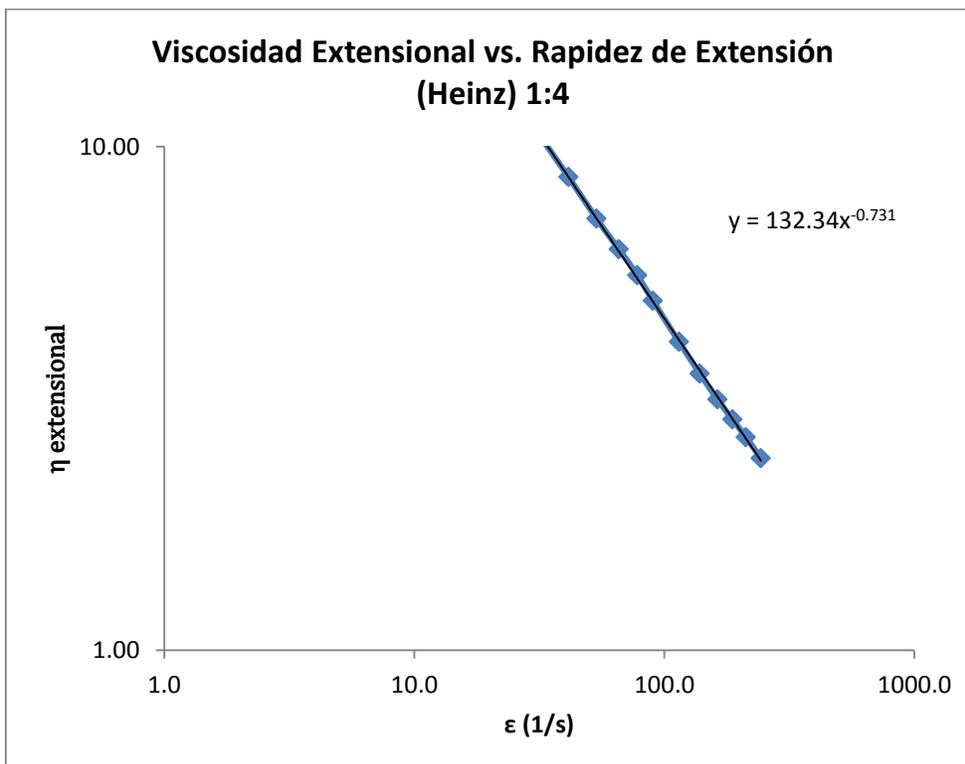
Grafica 4.24 Esfuerzo de Corte vs. Rapidez de Corte (Heinz)



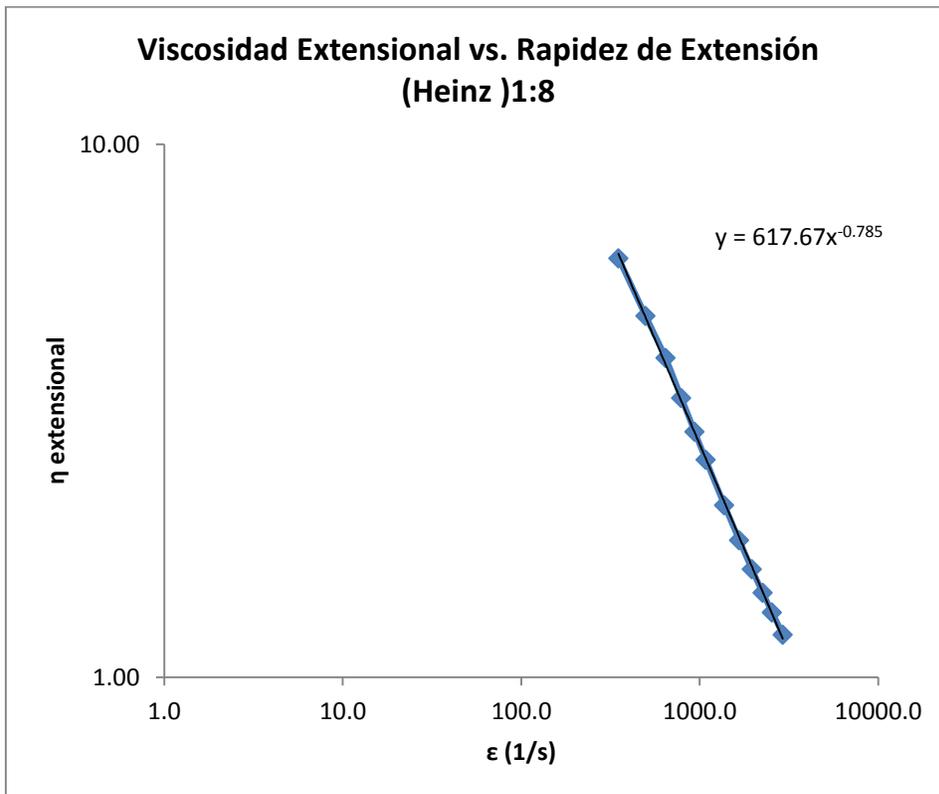
Grafica 4.25 G', G'' vs.  $\omega$  (Heinz)



Grafica 4.26 viscosidad extensional vs. Rapidez de extensión (Heinz) 1:4



Grafica 4.27 viscosidad extensional vs. Rapidez de extensión (Heinz) 1:8



Modelos para la salsa cátsup “Heinz”

Análisis de viscosidad de corte (viscosidad vs. Rapidez de Corte):

Modelo Ley de potencia:  $\eta = 28.564\dot{\gamma}^{-0.728}$

Análisis de oscilación sinusoidal:

$$\text{Modulo } G' = \sum_{i=1}^n \frac{\omega^2 \lambda_n^2 G_n}{1 + \omega^2 \lambda_n^2} \quad \text{Modulo } G'' = \sum_{i=1}^n \frac{\omega \lambda_n G_n}{1 + \omega^2 \lambda_n^2}$$

Con los siguientes  $\lambda$  y  $G$

Tabla 4.6 Valores de Lambda y G (Heinz)

$\lambda$	$G$
61.404	216.664
7.468	80.740
0.152	0.060
1.000	0.372
0.001	1286.469

1.000	0.036
0.013	236.630
0.093	120.268
0.711	74.957

Análisis de viscosidad extensional

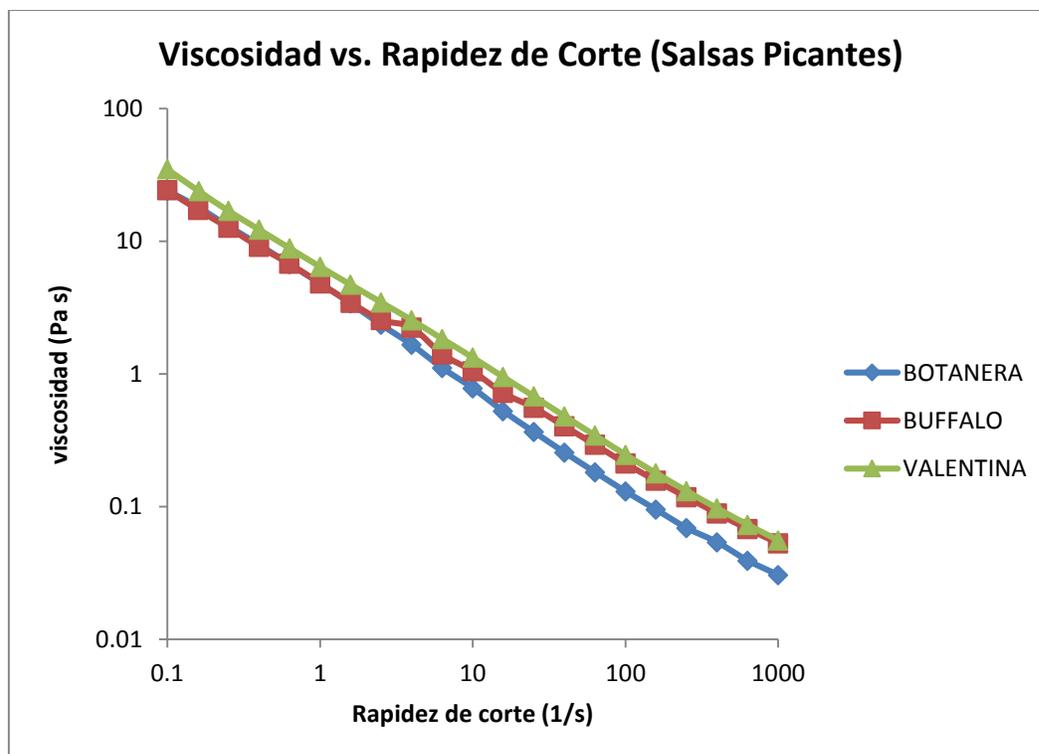
Contracción (1:4) -Modelo Ley de potencia:  $\eta_{ext} = 132.34\dot{\epsilon}^{-0.731}$

Contracción (1:8) -Modelo Ley de potencia:  $\eta_{ext} = 617.67\dot{\epsilon}^{-0.785}$

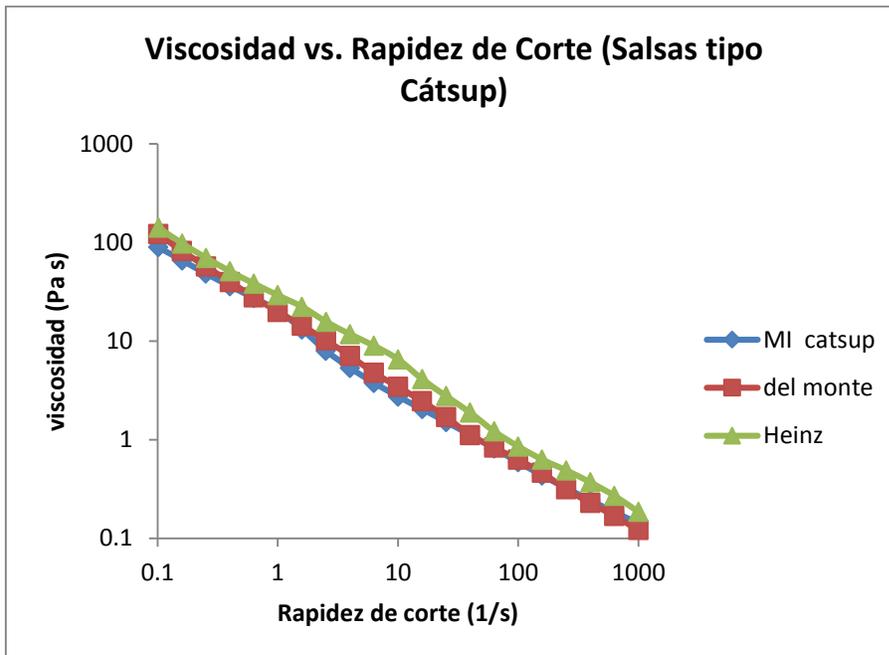
## 5) ANALISIS DE RESULTADOS

Dado los anteriores resultados, en lo que se refiere a la viscosidad de corte, se pudo observar que esta tiene un comportamiento decreciente en todas las muestras, con lo cual se puede decir que demuestran un comportamiento pseudo-plástico, además de que algunas de ellas presentaron esfuerzo de cedencia. Así, para la asignación de un modelo de comportamiento se usó la ley de potencia, este modelo fue suficiente aun cuando algunas de ellas presentaron esfuerzo de cedencia. Como un resultado interesante de esta propiedad se encontró que las muestras que no contenían aditivos (Valentina y Heinz) demostraron tener una mayor viscosidad con respecto de los que si los contenían.

Grafica 5.1 Viscosidad vs. Rapidez de Corte (Salsas Picantes)



Grafica 5.2 Viscosidad vs. Rapidez de Corte (Salsas tipo Cátsum)



Antes de continuar, es importante mencionar que las siguientes pruebas están relacionadas entre sí, esto debido a que para efectuar la prueba extensional en el reómetro, es necesario comprobar la existencia de comportamiento viscoelástico, tal como se requiere en el análisis del viscosímetro extensional.

Así, se encontró que para el análisis viscoelástico, se compararon los valores característicos de tiempo de relajación de cada muestra, este se determinó gráficamente en el punto en el cual  $G'$  y  $G''$  son iguales. El resultado que se obtuvo fue que todas las muestras presentaban este comportamiento, las muestras que presentaron una mayor viscoelásticidad en este caso fueron las que tenían aditivos (Mi Cátsum, Búfalo).

Una vez confirmada la existencia de viscoelásticidad, en la prueba extensional se obtuvo que las que tuvieron una viscosidad extensional mayor fueron las muestras sin aditivos (Heinz, Valentina). Además de esto, todas demostraron tener un comportamiento decreciente en su viscosidad extensional, teniendo como modelo la ley de potencia.

## **6) CONCLUSIONES**

De lo anterior, se concluye que las muestras analizadas, se comportaron como fluidos pseudo-plásticos y siguieron la ley de potencia, presentaron viscoelásticidad, y en su parte extensional siguieron la ley de potencia.

Para las comparaciones entre los fluidos con y sin aditivos no solo se usaron las gráficas anteriormente mostradas, también se checaron los valores numéricos obtenidos en la experimentación, estos valores se pueden encontrar en el apéndice de valores experimentales.

Con este análisis, y los resultados anteriores, ya fue posible representar el comportamiento de los fluidos bajo un esfuerzo de corte y extensional, así que para un trabajo futuro, estas ecuaciones pueden ser usadas en la ecuación de couchy para el cálculo del esfuerzo necesario para transportar los productos analizados y embotellarlos.

## **7) BIBLIOGRAFÍA**

- **H.A Barnes, J.F Hutton, K Walters, And Introduction to rheology, Elsevier**
- **James F. Steffe, Rheological methods in food process engineering, second edition**
- **Christopher W. Macosko, Rheology, Principles, Measurements, and Applications , Wiley-VCH**
- **Faith A. Morrison, understanding rheology, oxford, First edition.**
- **Thomas J.Ober, Simon J.Haward, Christopher J.Pipe, Johannes Soulages, Gareth H. Mckinley, Microfluidic extensional rheometry using hyperbolic contraction geometry.**
- **Albert Ibarz, Gustavo V Barbosa –Canovas , Unit Operations in Food Engineering , CRC**
- **R. Byron Bird, Warren E. Steward , Edwin n. Lightfoot, Fenomenos de transporte, Reverte**
- **John M. Delay, Official nomenclature for material functions describing the response of a viscoelastic fluid to a various shearing and extensional deformations.**
- **Peter Fisher ,Erich J. Windhab , Rheology of food materials**

## 8) APENDICE: VALORES EXPERIMENTALES

### 8.1) Datos experimentales de los análisis de corte, extensibilidad y viscoelásticidad de la salsa Botanera.

Rapidez C.	Esfuerzo C.	Viscosidad
[1/s]	[Pa]	[Pa s]
0.1	2.41	24.1
0.159	2.87	18.1
0.251	3.27	13
0.397	3.76	9.45
0.631	4.23	6.71
1	4.82	4.82
1.58	5.4	3.41
2.51	5.91	2.35
3.98	6.6	1.66
6.31	7.01	1.11
10	7.8	0.781
15.8	8.32	0.525
25.1	9.2	0.366
39.8	10.2	0.256
63.1	11.5	0.182
100	13	0.13
158	15.1	0.0951
251	17.3	0.069
398	21.4	0.0538
631	24.7	0.0392
1,000	30.5	0.0305

$\omega$ [1/s]	G' [Pa]	G'' [Pa]	G* [Pa]
600	151.00	128.00	197.95
370	77.70	27.80	82.52
228	45.30	14.30	47.50
141	35.00	14.10	37.73
86.8	25.90	10.40	27.91
53.5	22.20	8.90	23.92
33	19.60	7.77	21.08
20.4	17.40	6.87	18.71
12.6	15.70	6.26	16.90
7.75	14.00	5.74	15.13
4.78	12.50	5.36	13.60
2.95	11.20	4.93	12.24
1.82	9.87	4.55	10.87
1.12	8.79	4.23	9.75
0.691	7.77	3.92	8.70
0.426	6.86	3.63	7.76
0.263	6.28	3.44	7.16
0.162	5.53	3.13	6.35
0.1	4.87	2.87	5.65

% carga de motor	RPM	Promedio voltaje 1:8
100	29.1	0.6184
87	25.317	0.6289
77	22.407	0.6182
67	19.497	0.6160
57	16.587	0.6033
47	13.677	0.6060
37	10.767	0.6018
32	9.312	0.5835
27	7.857	0.5574
22	6.402	0.5462
17	4.947	0.5408
12	3.492	0.5339

## 8.2) Datos experimentales de los análisis de corte, extensibilidad y viscoelásticidad de la salsa Búfalo

Rapidez C.	Esfuerzo C	Viscosidad	$\omega$ [1/s]	G' [Pa]	G'' [Pa]	G*
[1/s]	[Pa]	[Pa s]				
0.1	2.43	24.3	500	0.00	171.00	171
0.159	2.75	17.3	312	0.00	55.80	55.8
0.251	3.18	12.7	194	3.32	49.90	50.01
0.398	3.63	9.12	121	13.90	19.10	23.62
0.63	4.28	6.8	75.3	27.10	17.30	32.15
1	4.83	4.83	46.9	27.20	14.80	30.97
1.59	5.47	3.45	29.2	25.50	13.00	28.62
2.51	6.42	2.56	18.2	22.20	11.00	24.78
3.98	8.9	2.24	11.3	20.90	8.60	22.60
6.31	8.88	1.41	7.07	18.60	8.12	20.30
10	10.5	1.05	4.41	17.40	7.96	19.13
15.8	11.4	0.721	2.74	16.10	6.55	17.38
25.1	14	0.557	1.71	16.40	6.31	17.57
39.8	16.1	0.404	1.07	15.40	5.92	16.50
63.1	18.5	0.293	0.664	15.00	6.01	16.16
100	21.2	0.212	0.414	12.30	5.25	13.37
158	24.9	0.157	0.258	14.10	6.28	15.44
251	29.8	0.118				
398	35.4	0.089				
631	42.8	0.0679				
1, 000	53.1	0.0531				

% carga de motor	RPM	Promedio voltaje 1:8
100	29.1	0.6548
87	25.317	0.6608
77	22.407	0.6449
67	19.497	0.6381
57	16.587	0.6246
47	13.677	0.6097
37	10.767	0.5930
32	9.312	0.5826
27	7.857	0.5794
22	6.402	0.5634
17	4.947	0.5468
12	3.492	0.5354

### 8.3) Datos experimentales de los análisis de corte, extensibilidad y viscoelásticidad de la salsa Valentina

Rapidez C.	Esfuerzo C	Viscosidad	$\omega$ [1/s]	G' [Pa]	G'' [Pa]	G*
[1/s]	[Pa]	[Pa s]				
0.1	3.51	35	600	0.00	250.00	250.00
0.161	3.85	23.9	370	0.20	57.40	57.40
0.251	4.26	17	228	59.10	69.30	91.08
0.398	4.89	12.3	141	65.60	47.10	80.76
0.631	5.61	8.89	86.8	67.60	40.30	78.70
1	6.44	6.44	53.5	66.80	33.30	74.64
1.58	7.5	4.73	33	61.00	29.00	67.54
2.51	8.73	3.47	20.4	55.60	26.30	61.51
3.98	10.1	2.55	12.6	50.40	23.30	55.53
6.31	11.6	1.84	7.75	45.50	21.10	50.15
10	13.3	1.33	4.78	41.40	18.90	45.51
15.8	15	0.95	2.95	32.10	16.60	36.14
25.1	17	0.678	1.82	28.60	14.70	32.16
39.8	19.2	0.481	1.12	25.90	13.90	29.39
63.1	21.7	0.344	0.691	24.50	13.20	27.83
100	24.6	0.246	0.426	21.70	12.30	24.94
158	28.3	0.179	0.263	23.20	14.30	27.25
251	32.9	0.131				
398	38.6	0.0971				
631	46	0.0729				
1,000	55.7	0.0557				

% carga de motor	RPM	Promedio voltaje 1:8
100	29.1	0.6758
87	25.317	0.6698
77	22.407	0.6546
67	19.497	0.6370
57	16.587	0.6300
47	13.677	0.6063
37	10.767	0.5956
32	9.312	0.5890
27	7.857	0.5812
22	6.402	0.5719
17	4.947	0.5563
12	3.492	0.5393

#### 8.4) Datos experimentales de los análisis de corte, extensionalidad y viscoelásticidad de la salsa Cátsup "Mi cátsup"

Rapidez C.	Esfuerzo C.	Viscosidad	$\omega$ [1/s]	$G'$ [Pa]	$G''$ [Pa]	$G^*$
[1/s]	[Pa]	[Pa s]				
0.101	9.11	90.1	6.00E+02	0.00	243.00	243
0.16	10.6	66	3.70E+02	38.80	107.00	113.82
0.252	12.3	48.6	2.28E+02	41.60	90.70	99.79
0.4	14.5	36.3	1.41E+02	49.20	58.90	76.75
0.632	17.3	27.4	8.68E+01	51.30	46.90	69.51
1	20.5	20.5	5.35E+01	46.70	37.50	59.89
1.59	21	13.2	3.30E+01	40.90	29.80	50.60
2.51	20.2	8.02	2.04E+01	35.80	23.60	42.88
3.98	21.4	5.37	1.26E+01	31.70	18.80	36.86
6.31	23.9	3.79	7.75E+00	28.20	15.10	31.99
10	27.6	2.75	4.78E+00	24.50	12.40	27.46
15.9	32.4	2.05	2.95E+00	22.90	10.00	24.99
25.1	38.3	1.52	1.82E+00	21.00	8.18	22.54
39.8	44.7	1.12	1.12E+00	19.60	6.92	20.79
63.1	51.5	0.816	6.91E-01	18.70	5.80	19.58
100	59.4	0.594	4.26E-01	17.30	4.86	17.97
158	68.9	0.435	2.63E-01	17.60	4.55	18.18
251	81.3	0.324	1.62E-01	19.80	5.03	20.43
398	96.7	0.243	1.00E-01	20.20	4.87	20.78
631	117	0.185				
1,000	142	0.142				

% carga de motor	RPM	Promedio voltaje 1:8	% carga de motor	RPM	Promedio voltaje 1:4
100	29.1	0.6908	100	29.1	0.57979908
87	25.317	0.7561	87	25.317	0.57515495
77	22.407	0.7380	77	22.407	0.57321579
67	19.497	0.7129	67	19.497	0.5630734
57	16.587	0.6943	57	16.587	0.55893875
47	13.677	0.6776	47	13.677	0.55395524
37	10.767	0.6555	37	10.767	0.54829385
32	9.312	0.6429	32	9.312	0.54516513
27	7.857	0.6286	27	7.857	0.54254307
22	6.402	0.6091	22	6.402	0.53856545
17	4.947	0.5760	17	4.947	0.53144548
12	3.492	0.5420	12	3.492	0.51929439

### 8.5) Datos experimentales de los análisis de corte, extensibilidad y viscoelásticidad de la salsa Cátup “Del Monte”

Rapidez C.	Esfuerzo C	Viscosidad	$\omega$ [1/s]	G' [Pa]	G'' [Pa]	G*
[1/s]	[Pa]	[Pa s]				
0.101	12.3	122	370.00	172.00	213.00	273.78
0.159	13.1	82.6	228.00	277.00	116.00	300.31
0.253	14.4	57.2	141.00	215.00	93.20	234.33
0.4	16	40	86.80	180.00	78.00	196.17
0.632	17.7	28	53.50	156.00	65.40	169.15
1	19.9	19.9	33.00	142.00	55.10	152.32
1.59	22.9	14.4	20.40	130.00	45.90	137.87
2.52	25.6	10.2	12.60	122.00	39.40	128.20
3.98	28.3	7.11	7.75	116.00	33.60	120.77
6.31	30.3	4.8	4.78	107.00	30.10	111.15
10	34.5	3.45	2.95	101.00	25.20	104.10
15.8	39.1	2.47	1.82	99.90	23.50	102.63
25.1	43.1	1.71	1.12	99.50	22.30	101.97
39.8	44.7	1.12	0.69	105.00	22.10	107.30
63.1	52.8	0.837	0.43	105.00	20.50	106.98
100	63.1	0.631	0.26	127.00	28.40	130.14
158	73.6	0.465	0.16	126.00	31.20	129.81
251	79.4	0.316	0.10	119.00	30.90	122.95
398	91.5	0.23				
631	106	0.169				
1, 000	122	0.122				

% carga de motor	RPM	Promedio voltaje 1:8	% carga de motor	RPM	Promedio voltaje 1:4
100	29.1	0.7440	100	29.1	0.57422591
87	25.317	0.7251	87	25.317	0.57033445
77	22.407	0.7082	77	22.407	0.56770283
67	19.497	0.6906	67	19.497	0.56460093
57	16.587	0.6734	57	16.587	0.56063177
47	13.677	0.6534	47	13.677	0.55755826
37	10.767	0.6374	37	10.767	0.55461982
32	9.312	0.6243	32	9.312	0.55049848
27	7.857	0.6131	27	7.857	0.5433039
22	6.402	0.5990	22	6.402	0.53740505
17	4.947	0.5820	17	4.947	0.53203955
12	3.492	0.5566	12	3.492	0.52354558

### 8.6) Datos experimentales de los análisis de corte, extensibilidad y viscoelásticidad de la salsa cátsup “Heinz”

Rapidez C.	Esfuerzo C	Viscosidad	$\omega$ [1/s]	G´[Pa]	G''[Pa]	G*
[1/s]	[Pa]	[Pa s]				
0.102	14.5	142	600.00	738.00	546.00	918.02
0.16	15.7	98.2	370.00	756.00	405.00	857.65
0.253	17.8	70.3	228.00	670.00	312.00	739.08
0.399	20.5	51.3	141.00	618.00	264.00	672.03
0.632	24.3	38.5	86.80	560.00	222.00	602.40
0.999	29.3	29.3	53.50	517.00	189.00	550.46
1.59	35.6	22.4	33.00	478.00	162.00	504.71
2.52	39.7	15.8	20.40	444.00	139.00	465.25
3.98	46.8	11.8	12.60	419.00	118.00	435.30
6.31	56.8	9.01	7.75	393.00	102.00	406.02
10	65.7	6.57	4.78	376.00	88.60	386.30
15.9	65.5	4.13	2.95	355.00	78.90	363.66
25.1	70	2.78	1.82	341.00	70.60	348.23
39.8	75.1	1.89	1.12	330.00	65.00	336.34
63.1	77.2	1.22	0.69	320.00	61.40	325.84
100	85.8	0.858	0.43	311.00	60.40	316.81
158	100	0.632	0.26	305.00	61.50	311.14
251	123	0.491	0.16	309.00	73.50	317.62
398	148	0.371	0.10	288.00	79.70	298.82
631	171	0.271				
1,000	186	0.186				

% carga de motor	RPM	Promedio voltaje 1:8
100	29.1	0.7716
87	25.317	0.7470
77	22.407	0.7267
67	19.497	0.7067
57	16.587	0.6879
47	13.677	0.6680
37	10.767	0.6477
32	9.312	0.6371
27	7.857	0.6260
22	6.402	0.6123
17	4.947	0.5814
12	3.492	0.5440

% carga de motor	RPM	Promedio voltaje 1:4
100	29.1	0.5805299
87	25.317	0.57607784
77	22.407	0.57210106
67	19.497	0.567595
57	16.587	0.56375993
47	13.677	0.55966105
37	10.767	0.55548962
32	9.312	0.55328931
27	7.857	0.54954569
22	6.402	0.54485437
17	4.947	0.54043471
12	3.492	0.53428127

