

“UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN”



FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
QUÍMICO

“COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DE UNA PINTURA
INDUSTRIAL”

PRESENTADO POR:

KAREN ELIZABETH MUNAYCO PERALTA

ASESOR:

Ing. VÍCTOR RAÚL COCA RAMÍREZ

VÍCTOR RAÚL COCA RAMÍREZ
INGENIERO QUÍMICO
Reg. del Colegio de Ingenieros N° 48044

CIP 48044

HUACHO – PERÚ

2020

"COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DE UNA PINTURA INDUSTRIAL"

INFORME DE ORIGINALIDAD

16%

INDICE DE SIMILITUD

16%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	es.scribd.com Fuente de Internet	4%
2	Submitted to Universidad Nacional Jose Faustino Sanchez Carrion Trabajo del estudiante	4%
3	ri.biblioteca.udo.edu.ve Fuente de Internet	3%
4	www.dspace.espol.edu.ec Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Universidad Privada Boliviana Trabajo del estudiante	1%
6	repositorio.unjfsc.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	Submitted to Universidad San Ignacio de Loyola Trabajo del estudiante	<1%

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi madre y a mi abuela que ambas me impulsan en salir adelante todos los días y a ver el lado bueno de la vida.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por sobre todas las cosas y en este tiempo en especial que me permite seguir con una buena salud en este mundo de pandemia, a mi madre que me enseñó a salir a adelante a pesar de tantos obstáculos que te pone la vida y a mi asesor por tomarse el tiempo de guiarme para realizar esta tesis.

**“COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DE UNA PINTURA
INDUSTRIAL”**

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
RESUMEN	X
ABSTRACT.....	XI
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Descripción de la Realidad Problemática	2
1.2. Formulación del problema	2
1.2.1. Problema General.....	2
1.2.2. Problemas Específicos	3
1.3. Objetivos	3
1.3.1. Objetivo general.....	3
1.3.2. Objetivos Específicos	3
1.4. Justificación de la investigación.....	3
1.5. Delimitaciones del estudio	4
1.6. Viabilidad del estudio	4
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	5
2.1. Antecedentes de la Investigación	5

2.1.1.	Antecedentes Internacionales.....	5
2.1.2.	Antecedentes Nacionales	8
2.2.	Bases Teóricas	10
2.2.1.	Pintura.....	10
2.2.2.	Reología	13
2.2.3.	Viscosidad	16
2.2.4.	Fluidos newtonianos	18
2.2.5.	Fluidos no newtonianos	18
2.2.7.	Viscosímetros.....	23
2.2.8.	Reología de pinturas	27
2.2.9.	Aditivos reológicos.....	28
2.3.	Definiciones conceptuales.....	30
2.4.	Hipótesis de investigación	31
2.4.1.	Hipótesis General.....	31
2.4.2.	Hipótesis Específica.....	31
CAPITULO III: METODOLOGÍA		32
3.1.	Diseño Metodológico.....	32
3.1.1.	Tipo de Investigación	32
3.1.2.	Nivel	32
3.1.3.	Diseño	32
3.1.4.	Enfoque.....	32
3.2.	Población y Muestra	32

3.2.1. Población	32
3.2.2. Muestra	33
3.3. Operacionalización de variables e indicadores.....	33
3.4. Técnicas e instrumentos para la obtención de datos.....	34
3.5.1. Determinación del pH	35
3.5.2. Determinación de la viscosidad mediante viscosímetro RHEOTEST Messgeräte Medingen Series RHEOTESTE RN.....	35
3.5.3. Determinación del porcentaje de sólidos.....	37
3.5.4. Determinación de la densidad de las pinturas tipo x, y e z.....	37
3.5.5. Determinación del comportamiento reológico de las pinturas tipo W, X, Y e Z	38
 CAPITULO IV :RESULTADOS.....	 43
4.1. Análisis fisicoquímico y reológico de las muestras.....	43
4.1.1. Determinación del pH	43
4.1.2. Determinación de la viscosidad	44
4.1.3. Determinación de la densidad.....	45
4.1.4. Determinación del porcentaje de solidos.....	46
4.2. Resumen del Análisis Fisicoquímico	47
4.3. Determinación de la velocidad de corte y el esfuerzo de corte	47
4.4. Determinación de la Influencia respecto al esfuerzo y velocidad de corte	50
4.5. Determinación respecto a la composición de espesantes celulósicos o acrílicos para la disminución de tixotropía.....	51

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	52
5.1. Discusiones.....	52
5.2. Conclusiones	54
5.2. Recomendaciones	55
CAPITULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
ANEXOS	58
Anexo 01: Tabla de escalonamientos de velocidades de corte ($\dot{\gamma}$), en función de los cilindros rotatorios del Rheotest y de frecuencia eléctrica	58
Anexo 02 : Manual del viscosímetro	59
Anexo 03 : Cálculos realizados en el transcurso del proyecto de investigación	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de aditivos reológicos.....	28
Tabla 2. Cuadro Operacional	33
Tabla 3. Parámetros para el cálculo de porcentaje de solidos.....	37
Tabla 4. Parámetros para la determinación de Densidad.....	38
Tabla 5. Valores de viscosidad y torque.....	39
Tabla 6. Efecto reológico reduciendo Hidroxietilcelulosa	41
Tabla 7. Efecto reológico , aumentando la Hidroxietilcelulosa	42
Tabla 8. Efecto reológico aplicando espesante acrílico.....	42
Tabla 9. Valores de pH de las muestras examinadas.....	43
Tabla 10. Valores de viscosidades examinadas	44
Tabla 11. Determinación de la densidad.....	45
Tabla 12. Determinación del porcentaje de solidos.....	46
Tabla 13. Análisis Físicoquímico detallado.....	47
Tabla 14. Esfuerzo cortante de cada muestra.....	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Idealización del deslizamiento entre planos	14
Figura 2. Flujo entre dos placas paralelas desplazándose una respecto a la otra.....	15
Figura 3. Reogramas para distintos fluidos	19
Figura 4. Reogramas para fluidos no-newtonianos dependientes del tiempo	21
Figura 5. Viscosímetro de Brookfield	24
Figura 6.: Viscosímetro de Stormer	25
Figura 7. Especificaciones del viscosímetro RHEOTEST	26
Figura 8. Viscosímetro RHEOTEST Messgeräte Medingen Series RHEOTEST RN ...	27
Figura 9. Medición de pH.....	35
Figura 10. Viscosímetro RHEOTEST Messgeräte Medingen Series RHEOTESTE R .	36
Figura 11. Valores de pH	43
Figura 12. Valores de viscosidad	44
Figura 13. Determinación de la densidad.....	45
Figura 14. Porcentaje de solidos	46
Figura 15. Esfuerzo de corte respecto a la velocidad de corte	48
Figura 16. Esfuerzo de corte respecto a la velocidad de corte para X.....	48
Figura 17. Esfuerzo de corte respecto a la velocidad de corte para Y	49
Figura 18. Esfuerzo de corte respecto a la velocidad de corte para Z.....	49
Figura 19. Variación de la viscosidad en respecto a la velocidad de corte	50
Figura 20. Variación del esfuerzo de corte respecto a la velocidad de corte	50
Figura 21. Variación de la viscosidad y el tiempo. (curva tixotrópica)	51
Figura 22. Viscosidad y velocidad de corte respecto a la modificación del espesante de la pintura.....	51

RESUMEN

Este proyecto de investigación se aplicó con debido cuidado, siguiendo el procedimiento adecuado respecto a los mecanismos empleados por la literatura, las muestras de los diversos tipos de pinturas se variaron con el fin de poseer resultados óptimos para la mejora de calidad, teniendo en cuenta las diversas características principales y fundamentales que debe poseer una pintura, tales como: densidad, viscosidad, porcentaje de sólidos, velocidad de corte y esfuerzo cortante.

Respecto al estudio del comportamiento de las muestras, indicaron que las características presentes en todas las muestras son de fluido no newtoniano, tipo pseudoplástico, debido a que la viscosidad que presentan dichas muestras W, X, Y y Z, se redujeron en función al aumento de velocidad de corte.

Las pruebas obtenidas en función variación en su composición mostro un aumento del 25% respecto a la composición del espesante, el rango de estudio empleado fue de 1 a 12 rpm, y al aumentarse la velocidad de corte no se mostró ningún cambio de viscosidad significativa.

Así mismo también se pudo observar el fenómeno de tixotropía en las muestras, lo que indica que la viscosidad se reduce en función al tiempo estando este en reposo. Por último, se analizaron y compararon los resultados obtenidos de las pinturas entre ellas mismas siendo como resultado un comportamiento reológico.

Palabras claves: Reología, pseudoplástico, tixotropía y no newtoniano.

ABSTRACT

This research project was applied with due care, following the appropriate procedure regarding the mechanisms used by the literature, the paints were varied in an optimal and controlled way, in order to have optimal results for quality improvement, taking into account the various main and fundamental characteristics that a paint must possess, such as: low dripping, easy application, viscosity and optimal homogeneity.

Regarding the study of the behavior of the samples, they indicated that the characteristics present in all the samples are non-Newtonian fluid, pseudoplastic type, due to the fact that the viscosity presented by said samples W, X, Y and Z, decreased as a function of the increase cutting speed.

The tests obtained as a function of variation in its composition showed an increase of 25% with respect to the composition of the thickener, the study range used was from 1 to 12 rpm, and when the cutting speed was increased, no significant viscosity change was shown.

Likewise, it was also possible to observe the phenomenon of thixotropy in the samples, which indicates that the viscosity decreases as a function of time when it is at rest. Finally, the results obtained from the paintings were analyzed and compared among themselves, resulting in rheological behavior.

Key words: Rheology, pseudoplastic, thixotropy and non-Newtonian.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día en el país, un problema preocupante dentro de las diversas industrias peruanas enfocadas a la fabricación de diversas pinturas es la información bibliográfica, debido a que no se ve ningún medio el cual se sometan estas pinturas en la aplicación de los diversos aditivos reológicos.

Se ha especificado el trabajo como meta de estudio siendo su principal objetivo la comparación de las diversas pinturas y así mismo realizar un óptimo y adecuado análisis reológico, aplicando diversas bases de pinturas siendo estas muestras del estudio principal.

No obstante, se han especificado distintos conceptos principales de acuerdo con la literatura como la pintura, reología y viscosidad, siendo de principal objeto el tema en comparación a la mejor pintura respecto a su reología.

Así mismo dentro de esta investigación se muestra diversos apartados en donde se encontrarán lo siguiente:

En el capítulo 1 se hará un planteamiento de la problemática y del mismo modo se cuestionara el porqué de la investigación, teniendo claro todos los objetivos a enfocarse, en el segundo capítulo se hará un pequeño resumen de toda la literatura extraída dentro de los últimos años respecto al tema , dándole una mayor énfasis al comportamiento reológico de la pintura y su influencia , en el capítulo 3 se hablara sobre los diversos métodos aplicados por el investigador , así como también se diseñara la metodología a usada , en el apartado 4 se detallan los resultados obtenidos de manera precisa de acuerdo al análisis reológico del estudio y por último en el capítulo 5 se especificara de manera precisa las discusiones y conclusiones respecto a la investigación realizada.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la Realidad Problemática

La pintura es uno de los productos imprescindibles en el mundo moderno, no sólo por la estética que impone su aplicación, sino fundamentalmente por el nivel de contaminación que ésta puede ocasionar al medio ambiente y el mantenimiento del área pintada. Es común que las plantas de pinturas con el transcurso del tiempo cambian de proveedores de materia prima o cambian las condiciones operativas, estas nuevas situaciones alteran el comportamiento de algunas propiedades reológicas importantes del producto y que afectan su calidad original, teniendo en cuenta las características de estabilidad ,dispersión y propiedad de cubrir o también puede surgir el fenómeno no deseado más conocido o llamado piel de naranja , las cuales son chicas concavidades sobre el área del cubrimiento ocasionando o provocando una pequeña suavidad en la película ocasionada.

Para efectos de definir las propiedades de una pintura, por la naturaleza del producto, son muy necesarias la capacidad de fluidez del producto a efectos de encontrar las mejores condiciones en su aplicación, esto es conocer aspectos reológicos de la pintura, siendo éste el problema principal.

En este contexto, es imprescindible definir la reología del producto respecto a la mejoría de las diversas condiciones en función a la estabilidad y uso de las pinturas analizadas y examinadas.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema General:

¿De qué manera se podrá determinar el comportamiento reológico de las pinturas industriales?

1.2.2 Problemas Específicos:

- ¿De qué manera influye la formulación respecto al proceso de obtención de pinturas industriales?
- ¿Cómo analizar las propiedades fisicoquímicas y reológicas respecto a las pinturas W, X, ¿Y y Z?
- ¿De qué manera se podrá determinar las formulaciones de espesantes celulósicos o acrílicos que permitan la reducción de los problemas de sinéresis y tixotropía de estos recubrimientos?

1.3. Objetivos**1.3.1. Objetivo general:**

Determinar el comportamiento reológico de las pinturas industriales

1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar de qué manera influye la formulación respecto al proceso de obtención de pinturas industriales
- Analizar las propiedades fisicoquímicas y reológicas respecto a las pinturas W, X, Y y Z
- Determinar las formulaciones de espesantes celulósicos o acrílicos que permitan la reducción de los problemas de sinéresis y tixotropía de estos recubrimientos

1.4. Justificación de la investigación

Dicho proyecto tiene una justificación de vital importancia debido a que es primordial hallar un modelo reológico de una pintura que sirve para definir la calidad del recubrimiento y obtener la mejor formulación de la pintura. En la Óptica profesional, es de vital importancia, esto se debe a que brinda comprender

de manera óptima el desarrollo fundamentos básicos de la fluidez de los diversos sistemas con la finalidad de mejorar el modelo que manipula el mecanismo.

1.5. Delimitaciones del estudio

Enfocándose en el desarrollo espacial, la fuente principal de este estudio será analizado y ejecutado en el laboratorio de la Facultad de Ing. Química de la UNJFSC, cuya ubicación es Huacho - Perú.

De acuerdo con el desarrollo temporal el tiempo adecuado y optimo en la que se desarrolló este trabajo experimental fueron aproximadamente en 6 meses.

1.6. Viabilidad del estudio

La viabilidad de esta investigación es óptima, esto se debe a que el que ejecuta la tesis cuenta con los recursos económicos óptimos para la ejecución del proyecto, también posee una asesoría de primera, con especialistas respecto al tema.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Respecto a Méndez et al (2009) en su estudio denominado “Comportamiento reológico de un fluido”, se concluyó:

- El adecuado mecanismo empleado en este proyecto de investigación es de vital importancia de estudio, debido a que complementa como información secundaria al usuario en función a la adecuada manipulación del viscosímetro Brookfield, del mismo modo también ayuda al entendimiento de los diversos aspectos teóricos en función a la reología.
- Así mismo también se valida de manera óptima los diversos resultados exhibidos, en donde indica de manera detallada que la salsa cátsup observada en un fluido newtoniano, siendo este fluido de tipo pseudoplástico e tixotrópico, la medida de dependencia lineal entre las dos variables aleatorias cuantitativas permite darle una definición a la elección del “spindle” correcto, dando como resultado optimo los parámetros reológicos en función a la muestra brindada por el “spindle” 4. (Regalado, 2009)

De acuerdo con Pantoja (2009), en su investigación titulada “Conducta reológica y caracterización de una suspensión en circuito cerrado de molienda húmeda para la producción de cemento” llegó a la siguiente conclusión:

- Aplicando la teoría de instrucción de paquetes de partículas en suspensión, se dedujo que el líquido newtoniano que está relacionado a la formación de cajas es aquel que se encuentra ubicado en los intersticios de las cajas de partículas y brinda la existencia de la misma caja, por lo contrario, el líquido newtoniano

que no se encuentra relacionado a la formación de las cajas es aquel en donde la caja puede desplazarse libremente. (Pantoja, 2009)

- La incorporación de las partículas pequeñas al líquido newtoniano genera que estas partículas más grandes se trasladen por un líquido con diferentes características reológicas respecto al líquido newtoniano inicialmente combinado. (Pantoja, 2009)
- La disolución de energía mecánica es guiada principalmente por las partículas más finas, debido al defecto o exceso que se encuentre. No obstante, las cualidades de defecto o exceso están relacionada más que todo a la repartición de tamaños, debido a que la repartición será encargada de controlar el empaquetamiento y por lo mismo la propiedad de poseer partículas delgadas en las grietas de las cajas. (Pantoja, 2009)
- La conducta que presenta el líquido en suspensión indica que posee una variación de la reología del fluido newtoniano, que comprende en parte la separación generada por la existencia del mecanismo de partículas (interacción partícula / líquido) y el choque entre partículas (interacción partícula / partícula). (Pantoja, 2009)
- De acuerdo con el estudio indica que, si las partículas añadidas tienen una forma más gruesa que las partículas iniciales, se tienden a permanecer estáticas las otras incógnitas en el mecanismo de deformación, las partículas iniciales no serían las que controlarían la creación de intersticios, sino que serán las nuevas añadidas que presentan un mayor tamaño, por lo que las partículas originales se encontrarían en los intersticios y tendrá el papel de las partículas relativamente más delgadas. (Pantoja, 2009)

- La suspensión hace que la viscosidad aumente, esto se debe a que las partículas más delgadas se encuentran en exceso en función a la cantidad de los intersticios, no obstante, si las partículas delgadas se encuentran volumétricamente en defecto de acuerdo con el cuerpo de intersticios, la viscosidad de la suspensión estará a costas de la proporción del fluido “libre” en la suspensión. (Pantoja, 2009)
- El aumento de la proporción volumétrica de sólidos sube la viscosidad de las suspensiones y progresivamente cambia la conducta reológica de las suspensiones a la de un sólido, esto resulta lógico de acuerdo con el cambio del número de Deborah *De*. (Pantoja, 2009)

En función a Salas (2005) en su investigación titulada “Modelo de un mecanismo de la observación reológica de una pintura con solvente mineral y resina alquídica” de la universidad de San Carlos de Guatemala, llegó a las siguientes conclusiones:

- El ajuste y la regularización de las características de aplicación y firmeza de las muestras de pinturas que poseen las empresas a su alcance fueron realizadas y confirmadas por las pruebas con éteres de celulosa y PUR.
- Los beneficios que brindan los adictivos PUR de acuerdo con las características de la aplicación de pinturas, posee un mecanismo de asociación.
- Los beneficios brindados en función a la firmeza de las pinturas fueron dados por los éteres de celulosa.
- Los mejores resultados encontrados y hallados fue la mezcla del éter de celulosa y PUR, brindando así una óptima estabilidad en las pinturas compuestas por resina alquídica y disolvente mineral.

- El factor que influye de manera inversa respecto a la viscosidad es la temperatura, por lo que puede ser manipulado añadiéndole mezclas de éter de celulosa y PUR, teniendo en cuenta que este efecto es reversible.
- La disminución de la viscosidad en pinturas compuestas por resinas alquídica y solvente mineral son generados por los tensoactivos, la estabilidad del efecto puede mantenerse añadiendo éter de celulosa en la pintura o del mismo modo una mezcla de éter de celulosa con PUR.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

Según Sanabria (2011) indicando en su proyecto de tesis denominada “Obtención de goma a través de semillas de tara (*caesalpinia spinosa*) y examinación de sus características reológicas” concluye lo siguiente:

- El mecanismo apropiado aplicado a la obtención de goma se basa por el mecanismo termitostado con una eficiencia del 25.82 % de goma, teniendo en cuenta la relación existente entre arena/semilla, cuya relación es de 2:1, a una temperatura de tostado de 180°C, durante un tiempo de 180 segundos, con agitación constante.
- De acuerdo con el análisis obtenido de la goma indica que el porcentaje de humedad es del 5.10 %, porcentaje de ceniza de 5.60 %, porcentaje de fibra de 1.13 %, porcentaje de proteína de 6.22 %, porcentaje de grasa de 0.42 %, porcentaje de carbohidratos de 81.53 %, con un pH de 5.5 y un índice de finura de 1.85.
- La conducta del fluido de la goma de tara pertenece a un pseudoplástico, con una concentración entre un rango de 0.1% a 0.5% p/v, indica que el índice reológico es de 0,178 a 0,3931 y posee una estabilidad de 1.05 a 3.467(Pa.sn).

- El aumento de la viscosidad es debido a la relación de la concentración, y esta misma disminuye de acuerdo con el aumento de temperatura, así mismo también posee una variación mínima al aumentar el pH.
- La evaluación sensorial concluyó que no existe alguna diferencia relevante a un nivel de α (0.05) en las diversas características de color, sabor, apariencia, color y textura de la mermelada compuesta por pectina y goma de tara, teniendo como puntuación un 3, dando a entender que es indiferente, para el olor puntaje de 4, dando a entender que es agradable, para la apariencia, color y textura un 4.5, que indico un gusto moderado.

En función a Casas & Franco (2018) cuya tesis denominada “Determinación de los modelos reológicos asociados al zumo de piña” concluyendo:

- Se obtuvo de forma experimental la relación numérica entre la velocidad y esfuerzo cortante para el zumo de piña cuando fue tamizado por la malla +140 (106 μm) y +200 (75 μm) a las temperaturas de 20 °C, 30°C y 40°C.
- Se han analizado 8 modelos de fluido no newtoniano independiente del tiempo, obteniendo que solo los modelos de Herschel-Bulkey y Cross, lograron el propósito de una buena correlación, cuya validez se determinó con la optimización de la función objetivo
- Se obtuvieron los parámetros reológicos de los 2 modelos que cumplen satisfactoriamente con el análisis estadístico.
- Se elaboraron los reogramas del zumo de piña a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C, los cuales nos sirvieron para poder determinar cuáles son los modelos que se ajustan al modelo requerido.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Pintura

Se denomina pintura a la sustancia viscosa y líquida, que es roseada o desplegada sobre un área seca, con el fin de protegerla y embellecer la superficie roseada. Está compuesta por tres elementos principales los cuales son el ligante, pigmento y disolvente, del mismo modo también se le agregan otras sustancias denominadas cargas y aditivos cuya finalidad es modificar o mejorar las características iniciales de la pintura. (Flores, 2005)

Según Rico (2010) la pintura es una disgregación de pigmento finamente fraccionado en un fluido formado por una resina o aglutinante y un solvente volátil. El nombre que recibe la parte líquida es vehículo. Es un compuesto formado a través de ligantes, pigmento y aditivos, que, al ser aplicada encima de un sustrato, este forma una película cohesiva con propiedades impermeables al agua, en pocas palabras no absorbentes, defensora y decorativa. (p. 20)

- **EL LIGANTE:** Normalmente está formado por un compuesto medio transparente, cuyo aspecto es de resina y que normalmente le da el nombre a la pintura, la gran mayoría de características se basan de él. (Flores, 2005,p.1)

Disolvente + Ligante = Barniz

- **LOS PIGMENTOS:** brindan color y protección, son compuesto muy finos con un color característicos, las principales propiedades que poseen dentro de la pintura son la reducción de la movilidad y la flexibilidad de cadenas de polímeros. (Flores, 2005, p.1)

Ligante + Disolvente + Pigmentos = Pintura

- **LOS DISOLVENTES:** Se basan en brindar facilidades en la elaboración y uso de la pintura, moderando su viscosidad. Normalmente se evaporan en pleno secado y suelen ser: (Flores, 2005, p.2)
 - ✓ Ligeros: Su evaporación es rápida, jamás se usan solos.
 - ✓ medios: Demorar segundos en evaporarse.
 - ✓ pesados: la evaporación es pausado.
- **LAS CARGAS:** Se utilizan con la finalidad de brindar otras características a la pintura, las gamas de cargas usadas en la fabricación de pinturas son amplia.
- **LOS ADITIVOS:** Brindan mejoría en la mayoría de las características de la pintura y estos normalmente son:
 - ✓ Plastificantes: Brindan mayor elasticidad a la película de la pintura.
 - ✓ Dispersantes: Brindan facilidad en la separación de los pigmentos a la hora de la elaboración y del mismo modo anulan la formación de poros en el recipiente de la pintura que lo contenga.
 - ✓ Secantes: Aumentan la velocidad de endurecimiento.
 - ✓ Estabilizantes: Eluden las formaciones de piel en el fondo del envase.
 - ✓ reológicos: Ayudan a eludir descuelgues y tixotropía
 - ✓ área: Brindan mejoría en la regulación de las características basadas en el brillo y extensibilidad. (Flores, 2005, p.2)

Propiedades Físicoquímicas

- a) **Permeabilidad:** Rapidez con la que emigra el agua mediante la película. La disminución de velocidad es menor siempre cuando se agranda el grosor de la película. Tiene gran influencia en la elaboración de pinturas, siendo este el un punto vital al seleccionar la sustancia menos permeable. (Anaya y Chaoca, 2009, p. 164)

- b) **Adherencia:** Contacto interno a escala molecular de dos sustancias relevantes con el fin de evitar el aumento de corrosión respecto al sustrato y del mismo modo que se conserve en un entorno corrosivo. Esto más que todo va a depender de la relación que tenga el sustrato y recubrimiento. El agua contribuye a un defecto a la hora que atraviesa en el recubrimiento. Esto se debe más que todo al mecanismo denominado osmosis en donde se acelera la penetración. (Anaya y Chaoca, 2009, p. 164)
- c) **Corrosión:** La protección respecto a la corrosión, la debe brindar una pintura. La gran mayoría de revestimientos son resistentes al agua y sustancias químicas, a veces suelen faltar por discontinuidad de película. Las sustancias químicas en el entorno ambiental son: ácidos, sales y agua (Anaya y Chaoca, 2009, p. 164)
- ✓ Ácidos: Normalmente la corrosividad se incrementa de acuerdo con la concentración y temperatura.
 - ✓ Álcalis: Gran diversidad (sosa cáustica)
 - ✓ Sales: Tienen comportamiento ácidos o álcalis.

Propiedades mecánicas

- a) **Dureza:** Es la unión de diversas propiedades físicas. Las pruebas que normalmente se realiza es para la dureza del péndulo.
- b) **Flexibilidad:** Es necesario un nivel de grado en el cual el revestimiento tenga la cualidad de resistir vibraciones, variaciones de temperatura y diversas deformaciones de estructuras, es de vital importancia que tenga una óptima resistencia al impacto.

- c) **Abrasión:** Normalmente cuando la pintura es aplicada en un área que permite soportar objetos pesados o áreas en las cuales son exhibidas a líquidos compuestos por sólidos en suspensión. (Anaya y Chaoca, 2009)

222 Reología

Es una ciencia en la cual se basa o estudia la descripción de la deformación de los cuerpos sólidos, cuando son sometidos a diversas fuerzas externas. Se tiene conocimiento que todo sólido es ideal siempre y cuando se ha sometido a una deformación, en pocas palabras al aplicarse alguna fuerza externa, este vuelve a la forma anterior luego de desaparecer dicho esfuerzo. A diferencia de un fluido ideal cuya deformación es no reversible, circula, siempre cuando se somete a diferentes fuerzas externas, siendo más específico, la reología se encarga de estudiar las deformaciones y corrientes de la materia, este concepto fue aceptado el mismo instante que se fundó la American Society of Rheology en 1929. (Ortega, 2009, p.57)

Definiendo fluido a aquel compuesto que no es capaz de tolerar un esfuerzo sin la necesidad de estar en movimiento, en conclusión, podemos definir reología como “la ciencia del flujo y deformación”, en pocas palabras, es una rama de la física, encargada al análisis de la conducta del fluido que se encuentran sujetos a diversos niveles de esfuerzos. De acuerdo con la reología esto abarca desde la mecánica de fluidos hasta la elasticidad de Hooke. (Flores, 2005)

De acuerdo con (Maestro, 2002, p. 9) indica que la caracterización reológica de cualquier compuesto nos brinda la opción de saber de qué manera fluirá en diversas condiciones, en el tiempo de fabricación, traslado, depósito o uso. Las técnicas o mecanismos más usados son las viscosimetrías. Por otra parte, la relación del comportamiento de cualquier compuesto se puede relacionar con su microestructura,

indicando que este proceso es de vital importancia, debido a que se le aplican mecanismos viscoelásticos. (Maestro, 2002, p. 9)

Las herramientas más usadas durante el estudio se denomina reómetro, este aparato nos permitirá medir o calcular los diversos parámetros importantes durante el proceso, esto más que todo para la obtención de la relación que existe entre el esfuerzo y el cizallamiento a través de diferentes ilustraciones.

Los puntos principales característicos en función a la reología de una pintura son la viscosidad y velocidad de cizallamiento. La reología nos permite hallar de manera óptima y precisa la relación existente funcional que hay entre la fuerza aplicada, la deformación y el tiempo, no obstante, estas propiedades no son las que se quiere hallar en este proyecto de investigación, sino más que todo como varia las características de la pintura en función a la adición de diversas concentraciones de aditivos reológicos. (Rojas G. Orlando, 1999).

De acuerdo con (Flores, 2005) indica que el fenómeno estudiado, es considerado como un mecanismo en donde diversos planos paralelos delgados son deslizados uno encima del otro, teniendo la apariencia de un paquete de cargas. En la figura 1 se puede observar detalladamente las deformaciones ocasionadas por los esfuerzos de cizalladura.

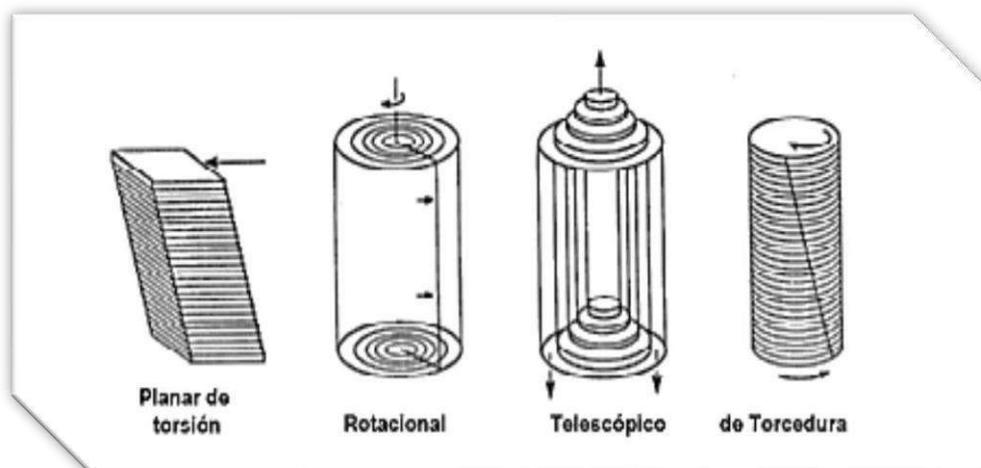


Figura 1. visualización del corrimiento entre planos.

Fuente: (Rojas G. Orlando, 1999)

La deformación plana brinda hallar de manera óptima las unidades de esfuerzo cortante, τ , deformación, γ , y gradiente de velocidad dv/dy así como lo demuestra la figura 2:

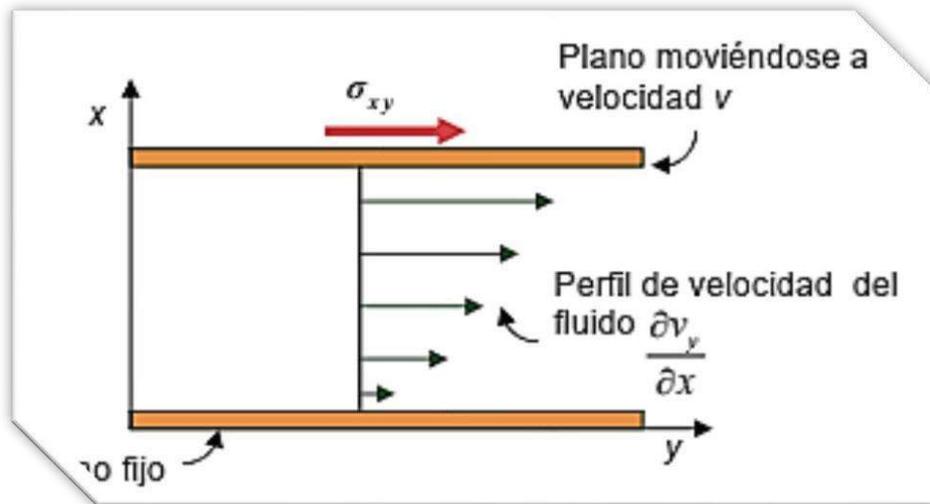


Figura 2. Flujo entre dos placas paralelas moviéndose una en función a la otra.

El esfuerzo cortante es definido como el cociente dividido sobre la fuerza que se aplica en la placa que se mueve y en el área de contacto con el líquido. A diferencia de la rapidez de los componentes del fluido siguiendo una dirección perpendicular en función a las placas se denomina gradiente de velocidad. (Flores, 2005)

De acuerdo con (Flores, 2005, p. 4) En breve se muestra las diversas ecuaciones de manera detallada:

- Esfuerzo de corte o tensión de cizallamiento (τ):

$$\tau = \frac{F(\text{Fuerza})}{A(\text{Área})}$$

- Velocidad de corte o cizalla (γ):

$$\gamma = \frac{dv}{dh} = S^{-1}$$

Teniendo en cuenta que:

 v: velocidad

 h: espesor.

- viscosidad:

$$n = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} = \text{Poise ó Pa.S}$$

223. Viscosidad

Según (Flores, 2005) el termino viscosidad es definido como un fluido respecto ala variación de posición obligado de sus elementos de volumen.

Normalmente para tener constante la corriente del fluido es de vital importancia brinda energía constantemente. Las categorías existentes en los fluidos son líquidos y gases, las propiedades e características más relevantes e interesantes las tienen los líquidos. La única diferencia que poseen los gases frente a los líquidos es que poseen viscosidades mucho menores y del mismo modo también el aumento de viscosidad al añadir temperatura. (Flores, 2005)

Las ecuaciones más sencillas en base de tres variables son de los cuerpos netamente elásticos o viscosos, las cuales son esfuerzo, deformación y tiempo. La presentación mecánica en base al tipo de cuerpo es un amortiguador, en pocas palabras un tanque cilíndrico lleno con un líquido viscoso y un embolo, el cual nos permite mover libremente por el tanque cilíndrico, debido a que posee un pequeño orificio en donde circula el líquido libremente. (Flores Salas, 2005)

La combinación que posee un cuerpo viscoelástico tiene un compartimiento en donde se puede describir como una unión de diversos elementos netamente viscosos y elásticos. (Flores, 2005, p. 5)

El comportamiento que presenta diversos materiales viscoelásticos tes dual:

- Componente elástica (G'): Puede ser modelado a través de un resorte, más que todo es conocido como un módulo de almacenamiento. Se define elasticidad de un material a la habilidad que posee al guardar energía de

deformación y volver a su estado inicial, después que la fuerza sea removida.

Componente viscoso (G''): Normalmente es un módulo de pérdida, puede ser modelado a través de un amortiguador que tiene un pistón

La dimensión de la dureza respecto al material lo posee el módulo de almacenamiento o elástico.

$$\tan \delta = \frac{G''}{G'}$$

En conclusión, mientras el valor de G' sea más grande, el material analizado será más duro por lo que se necesitara una energía mayor para su deformación, dando un valor de $\tan \delta$ pequeño. Si este valor es mayor, indica que el material ha perdido una gran cantidad de energía frenando la geometría del estado deformado.

Normalmente las características viscoelásticas son conceptualizadas como una función de temperatura enfocada a una solo frecuencia. Módulo de equilibrio es el nombre que se le suele da a la variable G' siempre cuando posea temperaturas elevadas, así mismo también es un reflejo del nivel de enlace del polímero. Mientras más bajo sea el módulo de elasticidad con una deformación del 25 por ciento, más bajo será la tendencia del salpicado de la pintura. (Flores, 2005, p. 6)

A diferencia de la conducta de la viscosidad en un flujo, existen dos posibles maneras por las cuales pueden darse y son:

- Flujo elongaciones: la velocidad del material aumenta en dirección al flujo.
- Flujo de corte: La variación de velocidad del fluido se originan en dirección al flujo siendo este perpendicular.

Existen diversos experimentos para la recolección de datos sobre diversos caracteres viscosos y/o elásticos de un fluido. Las pruebas realizadas o ensayada a un gradiente de velocidad tenaz brinda la información necesaria respecto al aspecto viscoso del mismo fluido.

224. Fluidos newtonianos

De acuerdo con (Flores, 2005, p. 33) indica de manera detallada que los líquidos formados por moléculas “simples” así como por ejemplo, el agua, aceite o alcohol, presentan una conducta viscosas y del mismo modo el diferencial de velocidad logrado o conseguido es rectamente relacionado al esfuerzo cortante empleado (modelo de Newton). Normalmente la conducta reología de un fluido es representada a través de un gráfico que también se le conoce como reograma, cuya función es relacionar, los datos de η con dv/dy . En casi todos los fluidos newtonianos el reograma es una sencilla recta que atraviesa el origen y así mismo la pendiente tiene el valor de μ . Este postulado indica que la viscosidad de un líquido newtoniano permanece firme en frente de los diversos cambios de velocidad de corte que presente. (Flores, 2005, p. 33)

El postulado presenta la conducta lineal de un fluido newtoniano es la de Hagen-Poiseuille. En el postulado indica que el fluido corre laminarmente por un transporte cilíndrico, este postulado fue puesto en marcha por Hagen y Poiseuille. A través de diversos campos e intereses alejados, se determinó una ley física que obviamente debería ser aplicado a una ley general. (Flores, 2005, p. 33)

225. Fluidos no newtonianos

Existen una gran cantidad de diversos fluidos que poseen una conducta reológica que no se ajusta al de un líquido newtoniano. Normalmente se les conocen como mecanismos dispersos o disoluciones de macromoléculas, así como por ejemplo plásticos

o líquidos biológicos. Los mecanismos con tensoactivos en su mayor parte siempre suelen relacionarse con fluidos no-newtonianos. (Flores, 2005, p. 33)

La relación existente entre η y dv/dy respecto a los fluidos no-newtonianos, depende de la variación debido a que es muy alta, tanto que a veces es necesario saber la historia reciente del líquido. Cuando la relación entre η y dv/dy deja de ser lineal, la característica intrínseca del líquido pierde absolutamente su carácter. No obstante, en este caso, es posible dialogar sobre la viscosidad aparente η' , cuyo valor dependerá más que todo de dv/dy , así como se aprecia en la figura 3 (Flores, 2005, p. 33).

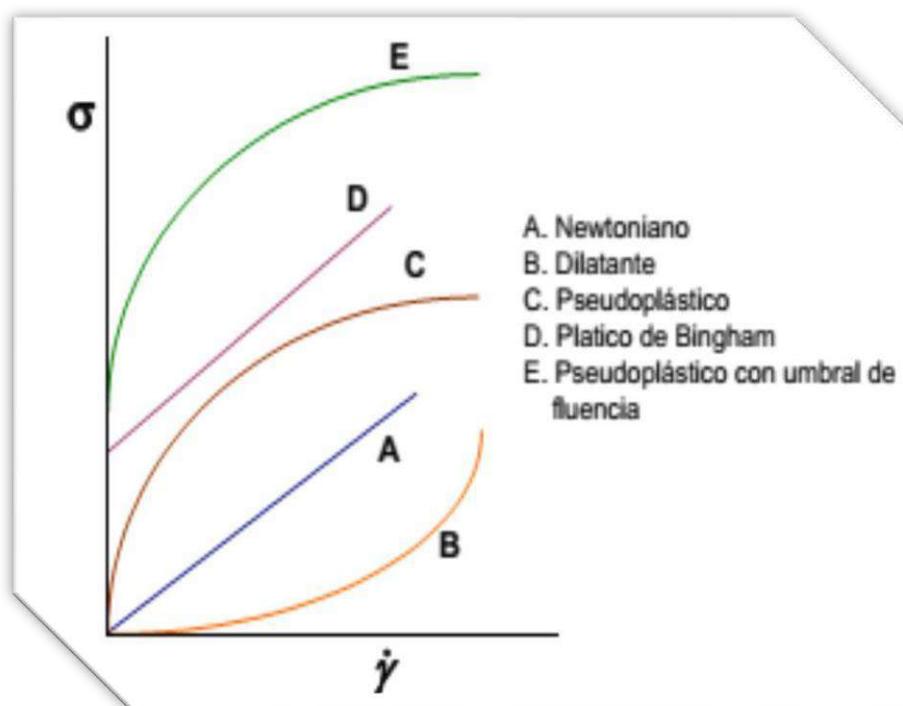


Figura 3. Reogramas para distintos f

luidos Fuente: (Castillo, 2014)

Se pueden observar dos tipos de fluidos no-newtonianos, los cuales son independientes y dependientes del tiempo.

a. Conducta independiente respecto al tiempo

Según (Flores, 2005, p. 34) indica que las diversas relaciones $\eta = f[(dv/dy)]$, para brindar una mayor facilidad al estudio sistemático de los diversos fluidos no-newtonianos

las ecuaciones se han asociado representativamente. lo cual concluimos que un líquido es pseudoplástico o dilatante siempre cuando siga la ley de potencia.

La definición de esfuerzo de corte límite que es más conocido como τ_0 , siempre aparece a la hora que un gradiente de velocidad demasiado menor persiste un esfuerzo de corte no despreciable. Normalmente se suele decir que el esfuerzo cortante límite, es el esfuerzo menor que es necesario para realizar o producir fluencia.

No obstante, esta definición sea inexacta, lo que en realidad sucede se debe a que la escala de tiempo no nos brinda la posibilidad de analizar en los laboratorios experimentos que normalmente se necesitan años para medir con exactitud las gradientes de velocidades demasiadas bajas. Al añadir un esfuerzo de corte menor que el esfuerzo cortante límite, este es considerado que el gradiente de velocidad es nulo, debido a que no se detecta, pero lo más posible es que el dato o dígito sea un valor distinto a cero. Dando como conclusión que el esfuerzo cortante límite solo es un dígito extrapolado que una realidad física. Normalmente cuando se presenta u obtiene un esfuerzo cortante límite, indica de manera real que la velocidad es demasiado grande para valores demasiados pequeños del gradiente de velocidad. (Flores, 2005, p. 33)

Los datos recolectados respecto a las ecuaciones reológicas se encuentran relacionados con:

1. Composición molecular del líquido
2. Características hidrodinámicas del líquido

Normalmente esto ocasiona que la reología sea una óptima técnica con el fin de caracterizar materiales y del mismo modo indispensable para para embarcar todo problema de flujo de fluidos.

- b. Conducta dependiente al tiempo. tixotropía

De acuerdo con las consideraciones de los datos obtenidos por n , indicando que eran solamente dependientes del gradiente de velocidad, así mismo también que cada gradiente de velocidad había un nivel estructura de acuerdo con el material.

No obstante, cuando ocurre algún tipo de variante reciente dentro del gradiente de velocidad, es muy común ver que el dato η va cambiando respecto al tiempo sin importar de que en ese mismo instante no esté variando el gradiente de velocidad. Con esa conclusión podemos deducir a simple vista que dicho material posee tixotropía que significa que la viscosidad va haciéndose menor inicialmente y luego crece poco a poco tan deprisa como se disminuye la velocidad de cizallamiento. El fenómeno es debido al cambio en el gradiente de velocidad, ya que también cambia la composición del material y esta alineación no suele ser instantánea, así como se observa en la figura 4.

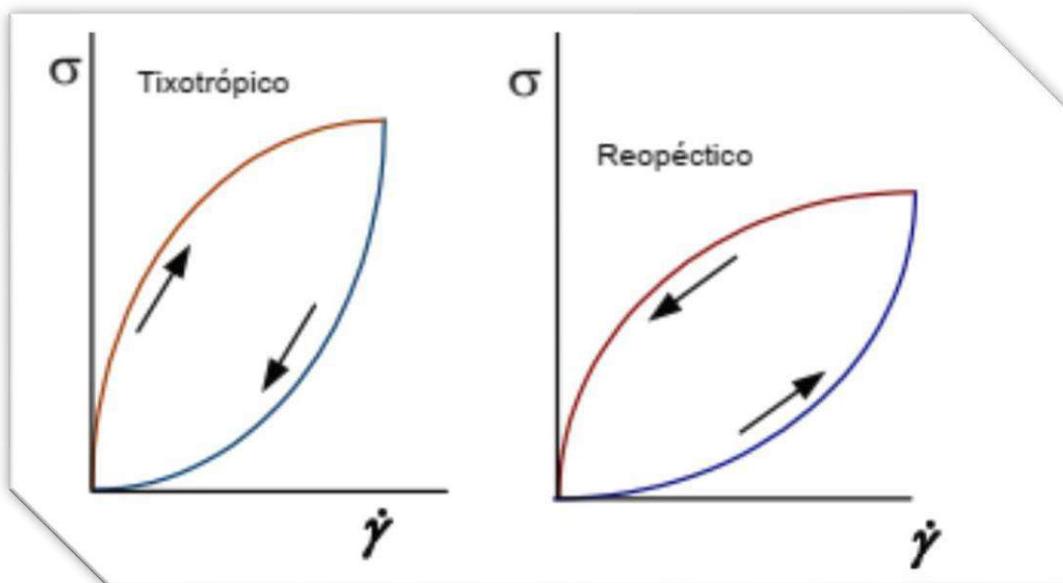


Figura 4. Reogramas de líquidos no-newtonianos que dependen del tiempo

Fuente: (Castillo, 2014)

Existe un caso en el cual se permite que el material logre valores de τ de equilibrio, τ_{eq} , en cada único valor de dv/dt en donde se podrá hablar de reogramas unívocos y hallar los diversos datos reológicos mencionados con anterioridad. Por lo que tixotropía de materia es conocido como una medida cinética en la cual el material es ordenado en un

nuevo gradiente de velocidad. Es muy común hallar conducta tixotrópica en emulsiones, suspensiones o disoluciones macromoleculares. (Flores, 2005, p. 37)

De acuerdo con. (Flores, 2005, p. 37) indica que los fluidos tixotrópicos presentan viscosidad estructural o una menor viscosidad aparente siempre cuando aumenta el gradiente de velocidad. La única explicación lógica de cuyo fenómeno se encuentra en la dirección de partículas tanto solidadas como líquidas compuestas en el líquido.

Cuando el fluido se encuentra en reposo la dirección al azar de las macromoléculas permite que la viscosidad sea elevada. Al elevar el diferencial de velocidad las moléculas se direccionan o deforman directamente hacia el flujo, logrando deslizar de manera óptima los diversos aspectos respecto a otros y logrando que la viscosidad baje. (Flores, 2005, p. 37)

De este modo se explica de manera directa y fácil que, si la diferencia de velocidad es adecuadamente algo, lograra llegar a un punto en donde se podrá lograr la orientación completa y la viscosidad llegara a un punto en donde no podrá disminuir respecto al gradiente. En el fluido tixotrópico, la curva del reograma compuesta al ir subiendo los datos de dv/dy ocasiona un aumento en los datos de η , respecto a un mismo valor de dv/dy , que los hallados al reducir los valores de dv/dy , así como se presenta en la figura 4.

Normalmente si se deja en estado de reposo algún líquido que presenta una viscosidad con estructura gelificante ha sido expuesto a una diferencial de velocidad, las macromoléculas se orientan al azar. El proceso explicado con anterioridad es instantáneo, por ende, no muestra tixotropía, o del mismo modo puede tardar un cierto tiempo, para presentar tixotropía. Por lo que un fluido tixotrópico con esfuerzo cortante límite presentaría diferentes valores de η_0 respecto a si ha estado en reposo o si ha tenido alguna agitación. (Flores, 2005, p. 37)

La forma más común de caracterizar la tixotropía es analizar el valor variante de η_0 respecto al tiempo en el cual el fluido ha estado en reposo. Los datos para η_0 irán en aumento respecto al tiempo de reposo hasta lograr su óptimo valor adecuándose a la estructura del gel con una rigidez adecuada máxima. Normalmente el tiempo de reposo es de vital importancia para el alcance del valor máximo, esto más que todo es conocido como una medida de tixotropía. (Flores, 2005, p. 38)

226. Viscosidad

Se le conoce o denomina viscosidad a la resistencia de un fluido a seguir su corriente. Para el desarrollo de un ejemplo de viscosidad en términos de unidades que se puedan medir o hallar, se indica de manera precisa una situación en donde el líquido se encuentra en planos paralelos, para ser exactos en dos planos. Un plano es capaz de moverse, mientras el segundo permanece en estado de reposo, ambos distanciados a una distancia X. La diferencia de velocidad dv/dx “D” es citado como el flujo cortante y normalmente es constante desde el tope hasta el fondo. La ecuación con la que se expresa es la siguiente: (Rico, 2010, p.21)

$$D = \frac{dv}{dx} = \frac{V}{X}$$

Teniendo en cuenta que

V: velocidad (cm/s)

X: espesor (cm)

D: s⁻¹

227. Viscosímetros

a. Viscosímetro de Brookfield

El viscosímetro de Brookfield es usado mayormente para mediciones de viscosidad para pinturas. Normalmente las unidades en las cuales se obtienen los datos con estos viscosímetros son en Krebs, otras variables que también dependen es la del peso

y rpm ya que con esas se obtienen los datos de velocidad. El viscosímetro de Brookfield nos brinda una rápida determinación medición respecto a la consistencia de la pintura, el rango de medición del viscosímetro varia de 27 a 5274 cp., su uso es fácil, posee un error del ± 1 . (Cruz Fierro, C.F., 2016). En breve se muestra una imagen parecida al viscosímetro empleado. (Flores, 2005, p. 41)



Figura 5. Viscosímetro de Brookfield

b. Viscosímetro Stormer

El viscosímetro Stormer es empleado más que todo en las diversas industrias encargadas en la medición de pinturas y líquidos viscosos. Las unidades que presenta este aparato son mayores a 100 cp., del mismo modo el error que presenta es de ± 1 . Del mismo modo que el viscosímetro anterior, los datos obtenidos son los mismos. (Machuca y Yepez, 2009).

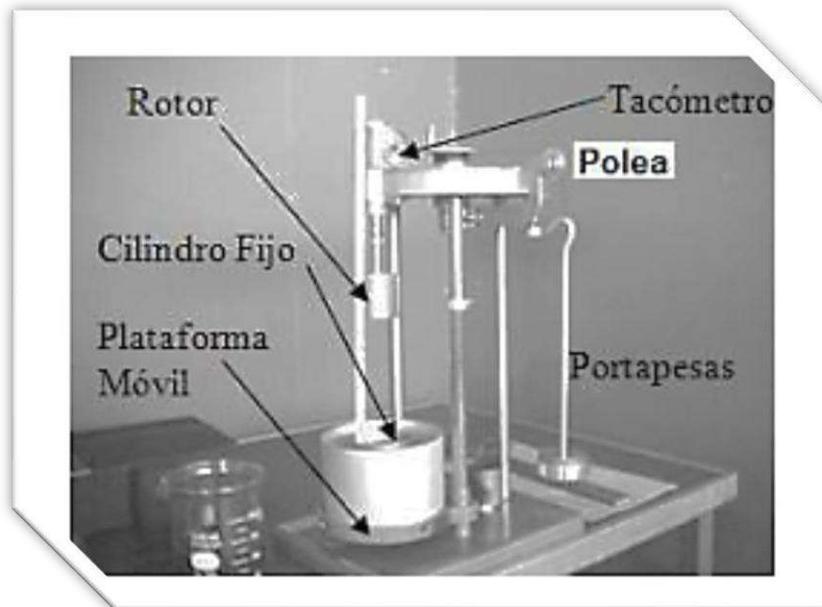


Figura 6.: Viscosímetro de Stormer.

c. Viscosímetro RHEOTEST Messgeräte Medigen Series RHEOTEST RN

Formado por un mecanismo de cálculo de cilindros (N, S1, S2, S3, H) y un lector de datos; en donde el compuesto a analizar se localiza durante la medición en la hendidura anual, entre un cilindro interior rotatorio (rotor) y el cilindro exterior que forma el recipiente de medición. El cual se llena del compuesto a analizar, la misma que se encuentra en un recipiente que funciona para el ajuste de temperatura a través de un termostato. Lo que permite hallar el viscosímetro RHEOTEST Messgeräte Medigen Series RHEOTEST RN, es el esfuerzo de Corte producido por el rotor, y del mismo modo la viscosidad del compuesto a analizar.

El ajuste que presenta los cilindros de medición posee 24 niveles las cuales nos permitirá ajustar de manera óptima la velocidad angular. A cada nivel le corresponde un dato específico de velocidad cortante, ya determinado y representado en el manual que se encuentra en el ANEXO 1 de la tesis.

La curva de fluencia se puede analizar a través de una amplia gama de tensión tangencial y diferencial de cizallamiento, sin la necesidad de cambiar los diversos dispositivos respecto a la medición.

En breve se observará de manera detallada las especificaciones exactas con las que cuenta Rheotest.

CARACTERÍSTICAS	DIMENSIONES
Alcance de viscosidad	1 a $4 \cdot 10^6$ mPa.s (cP)
Tolerancia del instrumento	± 3 a ± 4 %, según el dispositivo de medición (líquidos newtonianos)
Tolerancia de medición	Máximo ± 1 % del valor final de la escala.
Alcance de tensión tangencial	1.6 a $2 \cdot 10^5$ Pa (16 a $2 \cdot 10^6$ dyn/cm ²)
Alcance del gradiente de acizallamiento	0.2 a 4860 s ⁻¹
Gama de régimen	5/18 a 243 r.p.m. en 24 escalonamientos
Momento de torsión máximo	Alcance I: 100 p.cm Alcance II: 1000 p.cm
Alcance de temperatura	-60 a + 300 °C (+ 150 a + 300 °C con cámara de protección)
Cantidad necesaria de sustancia	0.1 a 50 ml, según el dispositivo de medición.

Figura 7. Especificaciones del viscosímetro RHEOTEST



Figura 8. Viscosímetro RHEOTEST Messgeräte Medingen Series RHEOTEST RN

2.2.7. Reología

Se define como reología a la ciencia que se encarga de estudiar las deformaciones y el flujo de los compuestos que son aplicados a fuerzas externas, es decir, se encarga de examinar la relación que existe entre las variables de esfuerzo (σ), deformación producida (γ), diferencial de velocidad ($d\gamma/dt = \dot{\gamma}$) y tiempo (t). Teniendo en cuenta de cómo se presente esta relación, los compuestos pueden presentar las diversas conductas reológicas distintas. (Maestro, 2002, p. 2)

La fluidez de los materiales en diversas condiciones será hallada a través de las caracterizaciones reológicas, en el tiempo de fabricación, traslado, deposito o uso. En los cuales se utilizan diversos mecanismos viscosímetros, no obstante, la conducta reológica de un compuesto es capaz de unirse con su microescultura, lo cual se requieren diversas utilidades respecto a los mecanismos viscoelásticos. (Maestro, 2002, p. 2)

2.2.8. Reología de pinturas

Últimamente se ha ido desarrollando un aumento constante en la demanda de diversos adictivos para la regulación de las características de aplicación técnica en los

recientes mecanismos de recubrimiento esto se debe a la evolución que ha tenido el contenido de disolventes a las pinturas débiles exenta de ellos. (Flores, 2005, p.42)

La reología de una pintura es de suma importancia, desde la etapa en la que se encuentra almacenada hasta cuando se realiza su aplicación, lo que diferencia una situación de otra es el grado de agitación o movimiento en el que se encuentra el producto. De manera práctica, es posible caracterizar cada etapa en la vida de una pintura mediante, el valor del gradiente de velocidad de cizalla al que está sometido en ese momento. (Maestro, 2002)

2.2.9. Aditivos reológicos

Estos aditivos se utilizan en la corrección de la conducta del flujo de mecanismos de pintura. Normalmente los aditivos son capaces de dividirse en un tipo inorgánico y dos orgánicos, así como se presenta en la breve tabla: (Mueller, 1997), (Perry, 1963)

Tabla 1. *Tipos de aditivos reológicos*

Productos inorgánicos	Productos orgánicos	
	No asociativos	Asociativos
Bentonita	Metilcelulosa	Poliuretanos (PUR)
Hectorita	(MC, MHEC, MHPC)	Copolímeros acrílicos
Montmorillonita	Hidroxietilcelulosa (HEC)	(HASE)
Smectita	Carboximetilcelulosa	e Hidroxietilcelulosas
Ácidos silíceos de Pirogenación	(CMC)	modificados
	Poliacrilatos	hidrofóbica mente
	Poli óxido de etileno	
	Poliéster	
	Polisacáridos especiales	

Fuente: (Flores, 2005,p.42).

Los espesantes inorgánicos son utilizados para ajustar la conducta del flujo directamente en el campo de acuerdo con el efecto de cizalla y, por conocimiento básico y general, en uniones con otros agentes espesantes. Entre todos los espesantes inorgánicos, el grupo de vital importancia lo conforman minerales que poseen una composición laminar, así como por ejemplo la bentonita, que es resultante de la unión de una ordenación de castillo de naipes, sostiene a través de grupos iónicos.

Otros espesantes asociativos pertenecientes a espesantes orgánicos son los polímeros solubles en agua, en donde los polímeros de vital importancia son los subproductos de la celulosa, como por ejemplo la metilhidroxietilcelulosa modificada, del mismo modo también una basta rama de copolímeros ácidos como los metacrílicos o esteres de esteres de ácido metacrílicos, los cuales tienen como referencia que su efecto espesante es producto del espesamiento en fase acuosa. Este efecto normalmente resulta principalmente de las extensas cadenas de un polímero.

Cuando se usan los polímeros de elevado peso molecular no es extraño que aparezca una variante de estabilidad del mecanismo de pintura llamada floculación por límite de volumen, en donde se puede observar una floculación producida por un espesante, la causa es sencilla, esto radica en la exclusión de la fase acuosa por el polímero de las diversas partículas dispersas. Lo que hace el polímero es fijar el agua, que en ese entonces es insuficiente para el medio de las partículas dispersas. Aparte de empeorar el brillo, la floculación brinda una resistencia óptima a la corrosión en los recubrimientos.

Los más recientes en la mayoría que abarca los campos de los adictivos reológicos son los espesantes asociativos, en donde las moléculas con grupos hidrófilos y grupos hidrófobos (incluidos de manera deliberada). Las industrias brindan poliuretanos (PUR), copolímeros (metacrílicos) y diversas celulosas cambiadas en forma hidrofóbicas, en donde los poliuretanos indican que es el grupo más importante.

2.3. Definiciones conceptuales

Pintura

Es una disociación de pigmento delgadamente separado en un fluido formado por una resina y solvente volátil. El nombre que se le conoce o denomina a la fracción líquida es vehículo.

Pinturas acro-vinílicas

Conocidas también como pinturas en emulsión, esto se debe más que todo a que su ligante es fabricado a través de una polimerización que principalmente se inicia de acuerdo con la reacción ocasionada en el estado de emulsión, aunque en realidad es un compuesto encontrado en disociación.

Reología

Derivado de la rama de la física que se encarga al estudio de las diversas deformaciones de la materia.

Viscosímetro

Es un aparato que se emplea más que todo para la medición de viscosidades dentro de un flujo o líquido.

pH -metro

Es un instrumento empleado para el análisis físico del pH a partir del método electroquímico dentro de una solución.

Fluido newtoniano

Se denomina fluido newtoniano a aquel líquido que suele ser constante. Estos fluidos son los más fáciles de describir. La curva con la que normalmente se representa siempre es lineal.

Fluido no newtoniano

Es aquel fluido en donde la viscosidad cambia en función a la temperatura, el resultado de este cambio es un fluido no-newtoniano, el valor de viscosidad que presente no es constante al contrario de un fluido newtoniano.

2.4. Hipótesis de investigación**241. Hipótesis General**

Es posible determinar el comportamiento reológico de las pinturas industriales

242. Hipótesis Especifica

- Es factible determinar de qué manera influye la formulación respecto al proceso de obtención de pinturas industriales
- ¿Es viable analizar las propiedades fisicoquímicas y reológicas respecto a las pinturas W, X, ¿Y y Z?
- Es posible determinar las formulaciones de espesantes celulósicos o acrílicos que permitan la reducción de los problemas de sinéresis y tixotropía de estos recubrimientos

CAPITULO III: METODOLOGÍA

3.1. Diseño Metodológico

Geográficamente el campo de estudio se abarca o establece en el Distrito de Huacho, Departamento de Lima. Dicha parte empírica será llevada en la UNJFSC, para ser más precisos y exactos, en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Química de dicha universidad.

3.1.1. Tipo de Investigación

La investigación para analizar y desarrollar presenta el tipo cuantitativa, esto más que todo se debe porque se enfocara en hallar la relación causa-efecto que presenta dichas incógnitas o variables, intentado establecer el “comportamiento reológico” de una “pintura industrial”.

3.1.2. Nivel

De acuerdo con todo lo mencionado, inducimos que el nivel de investigación es descriptivo – explicativa.

3.1.3. Diseño

De acuerdo con lo mencionado, la tesis presenta un diseño experimental.

3.1.4. Enfoque

De acuerdo con la naturaleza de la investigación el enfoque es de tipo cuantitativo, deductivo y aplicado.

3.2. Población y Muestra

3.2.1. Población

Se utilizará como población las pinturas que venden en un determinado centro ferretero proveniente de nuestra localidad.

3.2.2 Muestra

El modelo de muestreo a utilizar es el azar, teniendo en cuenta la misma proporción de la muestra en cada ensayo.

3.3. Operacionalización de variables e indicadores

V. Independiente: comportamiento reológico

V. Dependiente: pintura industrial

Tabla 2. *Cuadro Operacional*

Variables	Definición Conceptual
Comportamiento reológico	<p>Definimos reología a la ciencia que se encarga de analizar y describir las características y propiedades de los diversos líquidos no newtonianos.</p> <p>En pocas palabras podemos decir que la conducta reológica de los líquidos depende de la viscosidad presente en esto, normalmente se divide en dos tipos, los cuales son: fluidos newtoniano y fluido no newtoniano.</p>
Pintura Industrial	<p>El objetivo principal de una pintura industrial es brindar una protección de manera óptima los diversos soportes de las diferentes agresiones a las cuales suelen someterse, estas pueden ser físicas o químicas, del mismo modo también darle un adecuado aspecto para que presente un mejor acabado.</p>

Fuente: Elaboración propia

3.4. Técnicas e instrumentos para la obtención de datos

Normalmente se empleará diversas técnicas para obtener los datos de manera precisa, una de ellas será de manera directa como la observación y del mismo modo toda la información obtenida a través de fuentes terciarias.

Materia Prima

Botes de pintura q se expenden en el mercado.

Lugar de Ejecución

En la ciudad de Huacho.

Materiales y Equipos:

- Balanza de precisión
- Papel
- Pipeta de plástico
- Espátula
- Agitador de laboratorio
- Vasos de acero inoxidable 1lt
- Campana de extracción de aire

3.5. Descripción del proceso

Se realizará un óptimo análisis respecto a las características fisicoquímicas de las muestras de w, x, y y z.

Los parámetros de vital importancia a medir son:

- pH
- Viscosidad
- % de sólidos
- Densidad (masa/volumen)

- Conducta reológica

35.1. Determinación del pH

La prueba para la determinación del pH se basa más que todo en la recolección de la muestra de pintura, en donde es posible someterlo a la mitad del electrodo. Para realizar este análisis se sacó una muestra de los diversos tipos W, X, Y y Z.

Seguidamente se modificó la temperatura a 25°C, y se sumergió el electrodo, después de que la lectura se mantuviera estable se pudo determinar el dato del pH.



Figura 9. Medición de pH.

35.2. Determinación de la viscosidad mediante viscosímetro RHEOTEST

Messgeräte Mendigan Series RHEOTESTE RN

Este ensayo se basa en hallar la viscosidad de las diversas muestras empleando el viscosímetro mencionado con anterioridad.

1. La calibración del viscosímetro se aplicará en base al punto cero tanto mecánico como electrónico del mismo dispositivo.
2. Se rellena el envase que se va a medir con la correspondiente muestra a analizar, dicho volumen estará de acuerdo con el tipo de cilindro seleccionado en función al grado viscoso que ha de analizar.

3. Se configura la temperatura necesaria en el termostato de tránsito de líquidos, después de haber logrado la temperatura deseada puede empezar las mediciones.
4. Las lecturas se realizan en valores menores respecto a la velocidad cortante.
5. Seguidamente se incrementa de manera progresiva la rapidez de corte, llevándose del engranaje variando de manera adecuada el régimen del motor, desde A que tiene un rpm hasta la posición de B con 12 rpm, anotando de manera puntual todas las lecturas dadas.
6. La viscosidad obtenida se presenta en valores de C_p .
7. Seguidamente con los valores hallados se prosigue a determinar las incógnitas de esfuerzo cortante y velocidad de corte (D_r).
8. Así mismo se repite el mismo mecanismo con las muestras diferentes de cada pintura, los resultados fueron plasmados en la tabla 4.



Figura 10. Viscosímetro RHEOTEST Messgeräte Medingen Series RHEOTESTE R

353. Determinación del % de sólidos

El mecanismo empleado para la determinación del % de sólidos fue el siguiente:

1. Se pesó de manera precisa la capsula vacía.
2. Seguidamente se puso 10 g de pintura
3. Se sometió a una estufa por 60 minutos, a una temperatura de 90°C, se enfrió y se volvió a pesar.
4. Por último, se midió el valor obtenido en todas las muestras, las cuales son presentadas en la siguiente tabla.

Tabla 3. *Parámetros para el cálculo de porcentaje de sólidos*

Pintura	Contenedor vacío (g)	Contenedor lleno húmedo (g)	Contenedor lleno seco (g)
W	69.30	79.30	73.80
X	71.80	81.30	75.70
Y	62.89	73.39	67.89
Z	73.18	84.18	77.74

Fuente: Elaboración propia

354. Forma de hallar la densidad de las pinturas tipo W, X, Y y Z

1. En primera instancia se calculó el peso del picnómetro vacío.
2. Luego se aplicó la pintura llenándolo hasta su límite, siempre teniendo en cuenta que no se formara algún tipo de grumo de aire.
3. Se tapó y saco algún exceso de la pintura.
4. Por último, se pesó el picnómetro y los datos se plasmaron a continuación en la siguiente tabla.

Tabla 4. *Parámetros para la determinación de Densidad*

Pintura	Picnómetro vacío (g)	Picnómetro lleno (g)
W	100	220.62
X	100	218.14
Y	100	215.62
Z	100	216.75

Fuente: Elaboración propia

355. Forma de hallar el comportamiento reológico de las pinturas tipo W, X, Y y Z.

Para llevar a cabo la examinación del análisis, fue necesario realizar diversos tipos de pruebas con el fin de hallar la viscosidad óptima por medio del viscosímetro, se emplearon o utilizaron diversas velocidades, variando entre un rango de 1 hasta 12 rpm, en cada muestra.

El mecanismo utilizado se detalla en breve y del mismo modo los datos obtenidos se detallan en la tabla 5.

Los resultados en función a las viscosidades tuvieron un toque mayor al 10%.

Los ensayos muestreados se mezclaron hasta su homogenización y seguidamente se pasaron a un vaso precipitado.

Se anotaron todos los valores de viscosidad y porcentaje de torque hallados por el viscosímetro, esto fue de vital importancia para el cálculo de velocidad y esfuerzo cortantes.

Tabla 5. *Valores de viscosidad y torque*

Pintura	Velocidad (rpm)	Torque (%)	Viscosidad (cp.)	
W	1	8.5	26540	
	2	24.7	22430	
	3	38.6	17890	
	4	49.1	15780	
	6	57.7	14890	
	8	69.6	12890	
	10	79.2	10450	
	12	81.5	9140	
	X	1	28.5	36000
		2	33.6	23200
		3	45.3	17590
		4	52.4	14930
6		62.5	12490	
8		73.6	10900	
10		81.5	9780	
12		93.4	9230	
Y		1	19.2	27500
		2	29.5	22500
		3	38.5	17500
		4	45.2	16800
	6	57.9	14790	
	8	69.4	12400	
	10	79.8	10500	

	12	83.6	9300
	1	28.9	22300
	2	36.9	17200
	3	44.2	15400
Z	4	56.4	13690
	6	68.1	11800
	8	78.6	10500
	10	86.4	9450
	12	28.9	8590

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8. *Causa del tiempo en función al almacenamiento de las viscosidades*

Tiempo (días)	Viscosidad (cp.)			
	TIPO W	TIPO X	TIPO Y	TIPO Z
0	1020	873	952	985
10	1122	963	932	973
20	1040	921	903	879
30	1090	943	854	983
40	1083	921	872	962
50	1093	952	812	975
60	1082	901	799	982
70	1032	849	745	785

Fuente: Elaboración propia

Con la finalidad de disminuir los diversos contratiempos de tixotropía que muestran los diversos tipos de pinturas se emplearon los siguientes ensayos:

Composición de una pintura con un menor porcentaje de espesante (hidroxietilcelulosa) sin la necesidad de cambiar los demás componentes como (cargas, pigmentos, ligante, etc.)

Formulación de una muestra con un elevado nivel de espesante acrílico.

Para cada muestra, se halló la viscosidad y determino el torque, los valores encontrados fueron plasmados en la tabla 6 hasta la tabla 8 y aplicando igual mecanismo y los cálculos para la conducta reológica de las diversas pinturas con la formula actual, se halló de manera óptima la velocidad cortante y esfuerzo de corte, seguidamente se aplicaron las correspondientes curvas para examinarlas comparativamente con las fórmulas actuales.

Tabla 6. *Efecto reológico reduciendo Hidroxietilcelulosa*

Velocidad (rpm)	Torque (%)	Viscosidad (cp.)
1	7.67	9800
2	8.94	8700
3	10.64	7600
4	11.22	4140
6	15.83	2890
8	18.54	2762
10	21.74	2475
12	25.12	2100

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7. *Efecto reológico, aumentando la Hidroxietilcelulosa*

Velocidad (rpm)	Torque (%)	Viscosidad (cp.)
1	19.4	18900
2	25.3	17890
3	29.5	15900
4	32.5	14560
6	38.6	11980
8	39.8	10980
10	41.7	9870
12	42.5	9350

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8. *Efecto reológico aplicando espesante acrílico*

Velocidad (rpm)	Torque (%)	Viscosidad (cp.)
1	8.70	9500
2	10.70	8700
3	12.98	5400
4	15.93	3890
6	18.03	3490
8	20.80	3120
10	23.54	2870
12	23.62	1890

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO IV: RESULTADOS

4.1. Análisis fisicoquímico y reológico de las muestras

4.1.1. Determinación del pH

Tabla 9. Valores de pH de las muestras examinadas

	N	pH promedio	Min	Max
W	3	7.16 ± 0.09	7.07	7.25
X	3	7.70 ± 0.21	7.49	7.91
Y	3	7.96 ± 0.29	7.67	8.25
Z	3	7.73 ± 0.17	7.56	7.90

Fuente: Elaboración propia

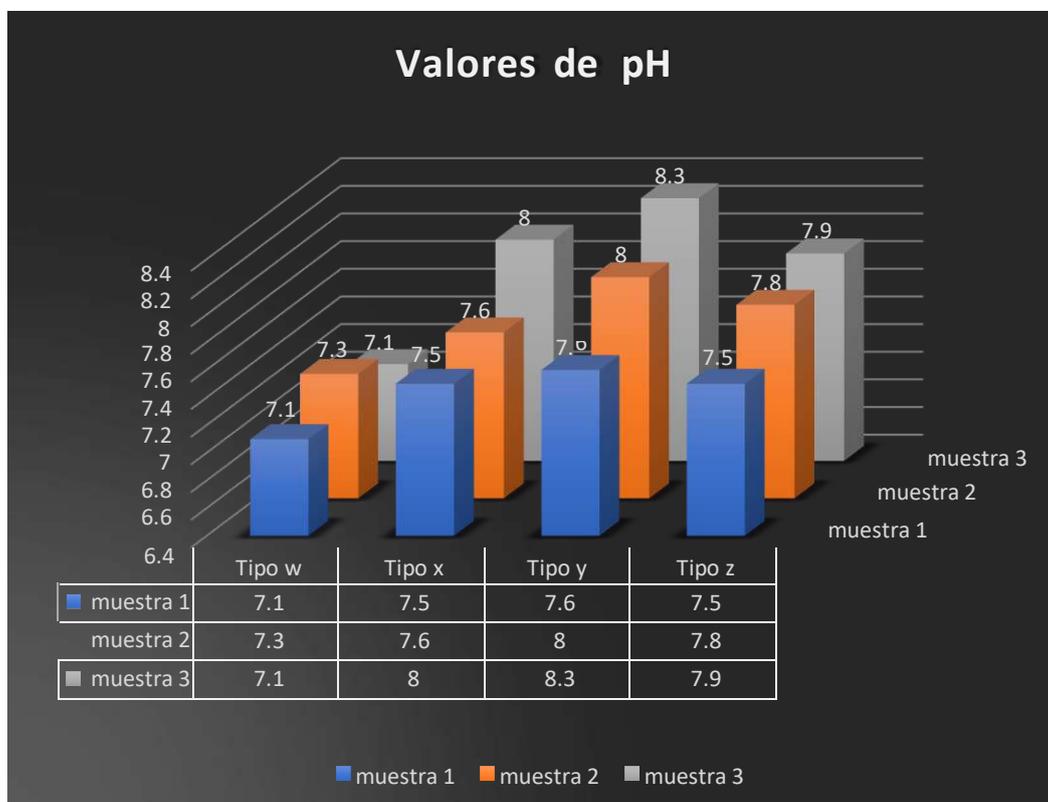


Figura 11. Valores de pH

4.1.2. Determinación de la viscosidad

Tabla 10. Valores de viscosidades examinadas

	n	Viscosidad (cp.) promedio	Min	Max
W	3	2300 ± 8.16	2291.84	2308.16
X	3	1710 ± 8.16	1701.84	1718.16
Y	3	1313 ± 4.71	1308.29	1317.71
Z	3	1280 ± 8.16	1271.84	1271.84

Fuente: Elaboración propia

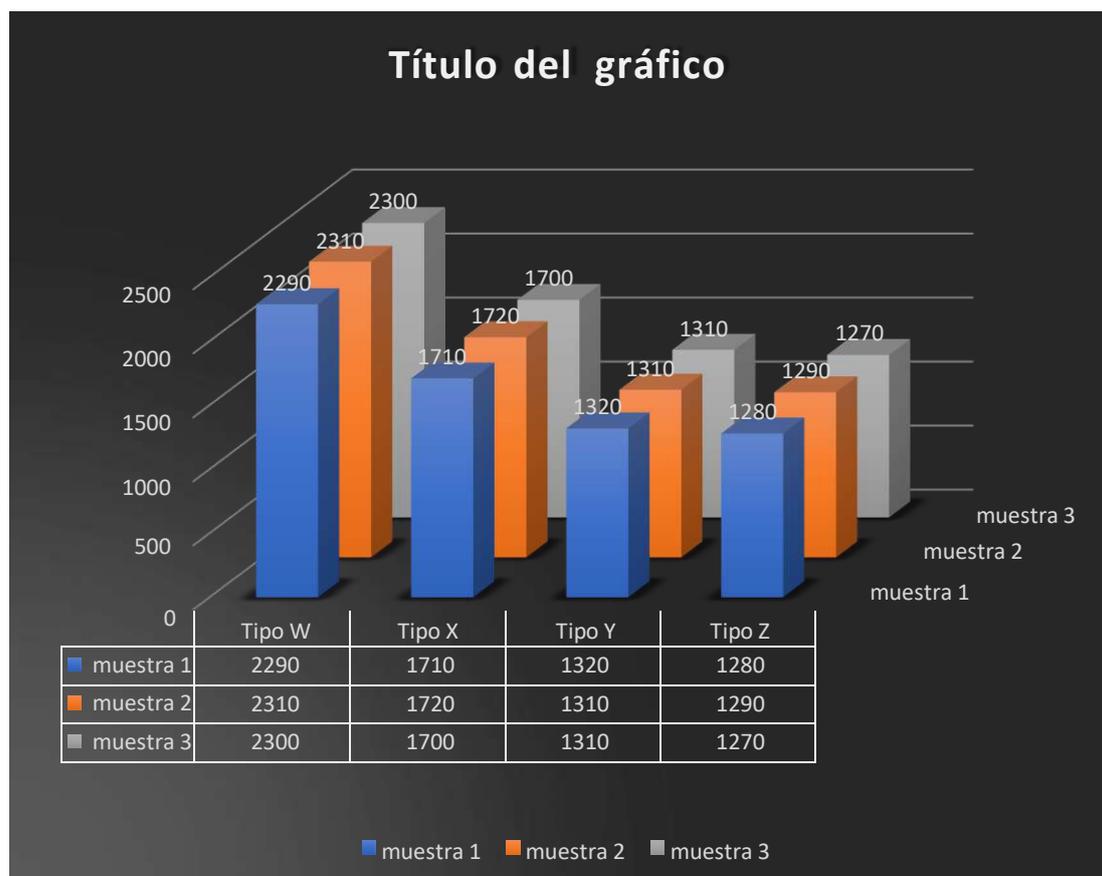


Figura 12. Valores de viscosidad

4.1.3. Determinación de la densidad

Tabla 11. *Determinación de la densidad*

Pintura	n	Densidad promedio (g/ml)	Min	Max
W	3	1.46 ± 0.008	1.452	1.468
X	3	1.43 ± 0.004	1.426	1.434
Y	3	1.38 ± 0.005	1.375	1.385
Z	3	1.40 ± 0.009	1.391	1.409

Fuente: Elaboración propia

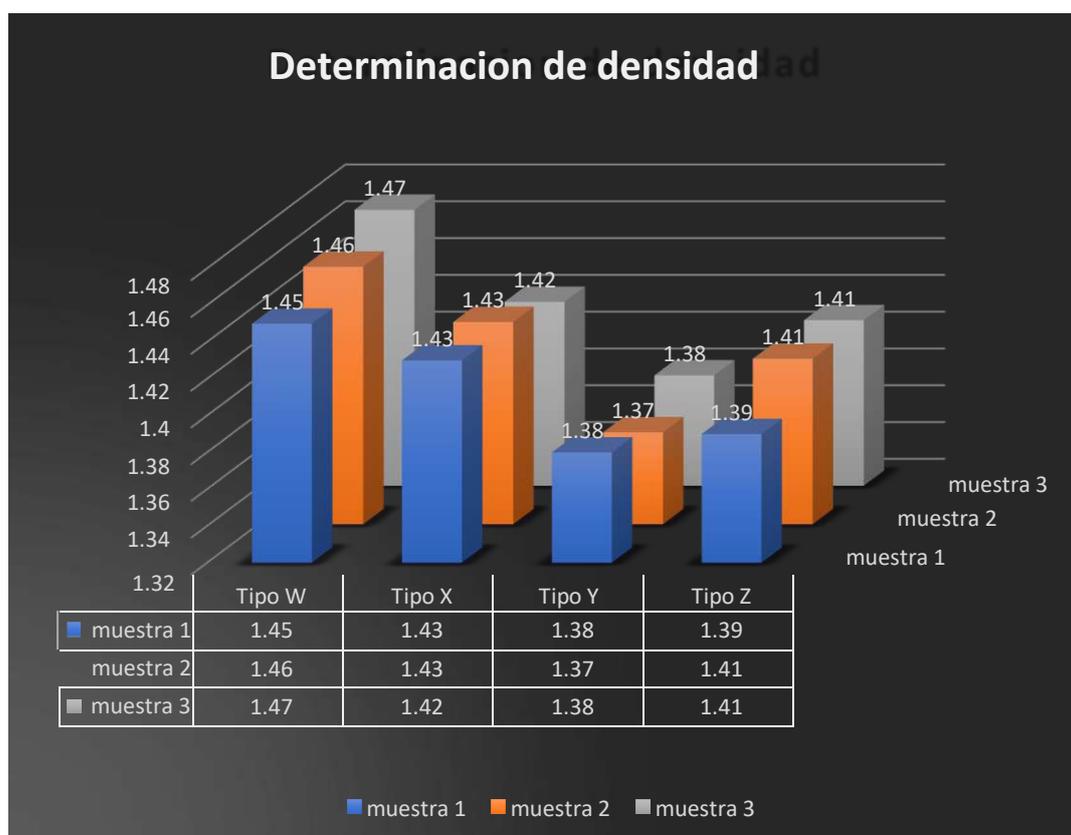


Figura 13. Determinación de la densidad

4.1.4. Determinación del porcentaje de solidos

Tabla 12. *Determinación del porcentaje de solidos*

Pintura	n	Solidos (%)	Min	Max
W	3	55.00 ± 0.47	54.53	55.47
X	3	41.00 ± 0.78	40.22	41.78
Y	3	47.59 ± 0.04	47.55	47.63
Z	3	41.45 ± 0.03	41.42	41.48

Fuente: Elaboración propia

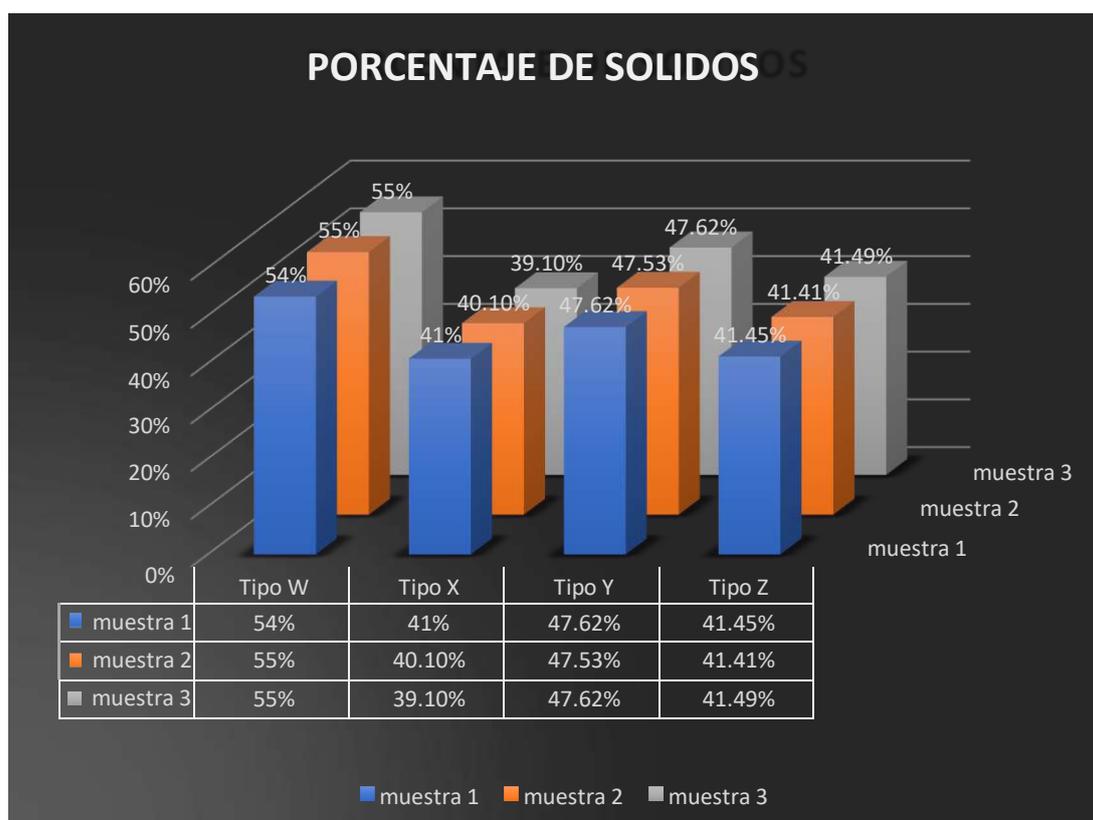


Figura 14. Porcentaje de solidos

4.2. Resumen del Análisis Físicoquímico

Tabla 13. *Análisis Físicoquímico detallado*

	W	X	Y	Z
Viscosidad (Cp.)	2300	1710	1313	1280
Sólidos (%)	55.00	41.00	47.59	41.45
pH a 25°C	7.16	7.70	7.96	7.73
Densidad (g/ml)	1.46	1.43	1.38	1.40
CVP (%)	70.58	71.24	67.24	74.98

Fuente: Elaboración propia

4.3. Determinación de la velocidad de corte y el esfuerzo de corte

Tabla 14. *Esfuerzo cortante de cada muestra*

RPM	Velocidad de corte (Seg ⁻¹)	Tipo W	Tipo X	Tipo Y	Tipo Z
1	0.217	57.5918	78.12	59.675	48.391
2	0.434	97.3462	100.688	97.65	74.648
3	0.651	116.4639	114.5109	113.925	100.254
4	0.868	136.9704	129.5924	145.824	118.8292
6	1.302	193.8678	162.6198	192.5658	153.636
8	1.736	223.7704	189.224	215.264	182.28
10	2.17	226.765	212.226	227.85	205.065
12	2.604	238.0056	240.3492	242.172	223.6836

Fuente: Elaboración propia



Figura 15. Esfuerzo de corte respecto a la velocidad de corte

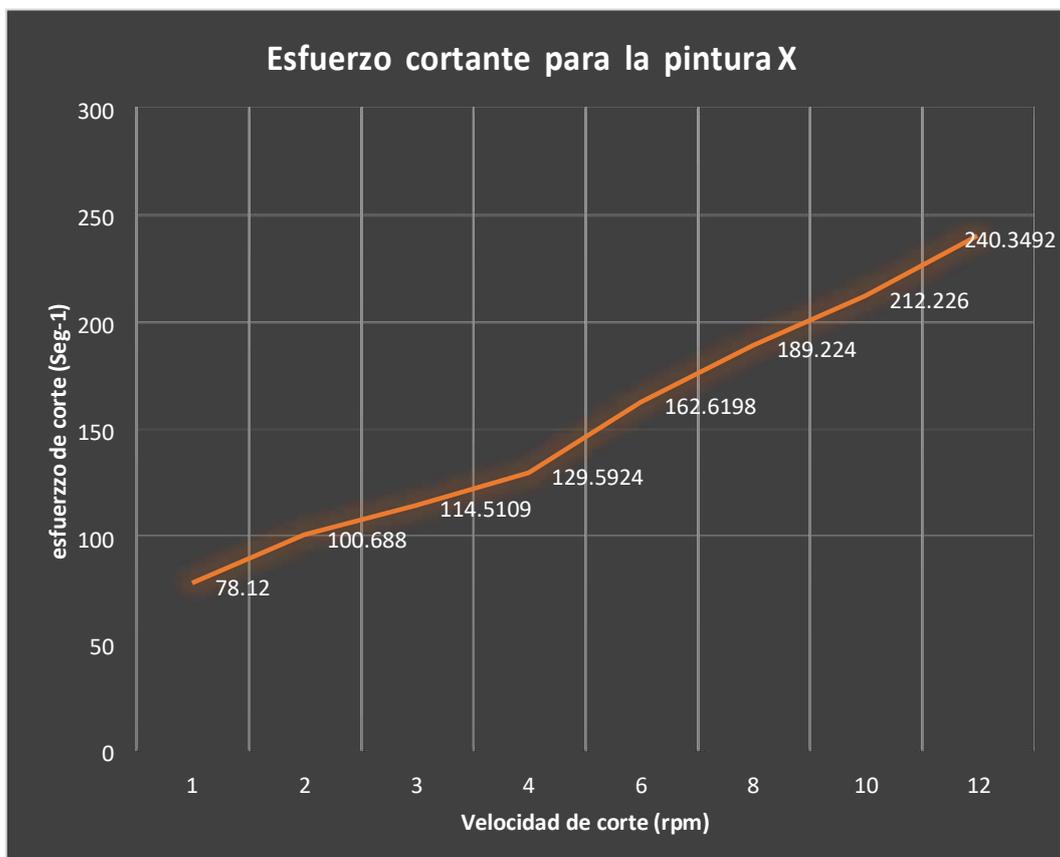


Figura 16. Esfuerzo de corte respecto a la velocidad de corte para X

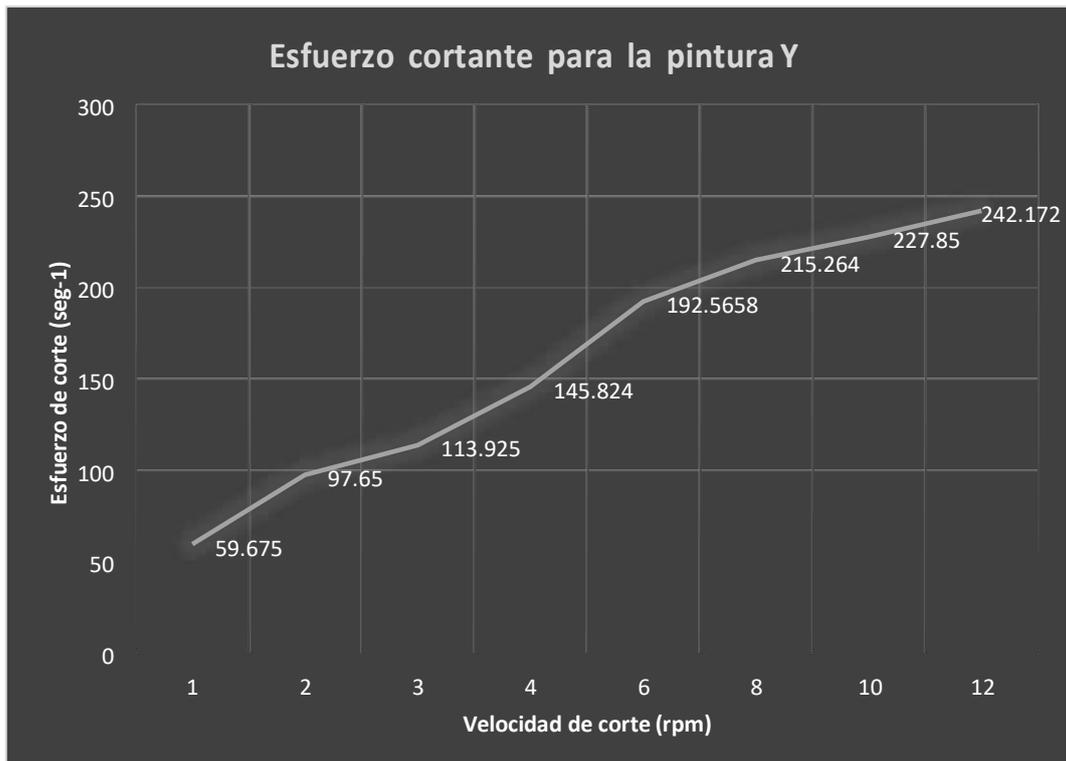


Figura 17. Esfuerzo de corte respecto a la velocidad de corte para Y

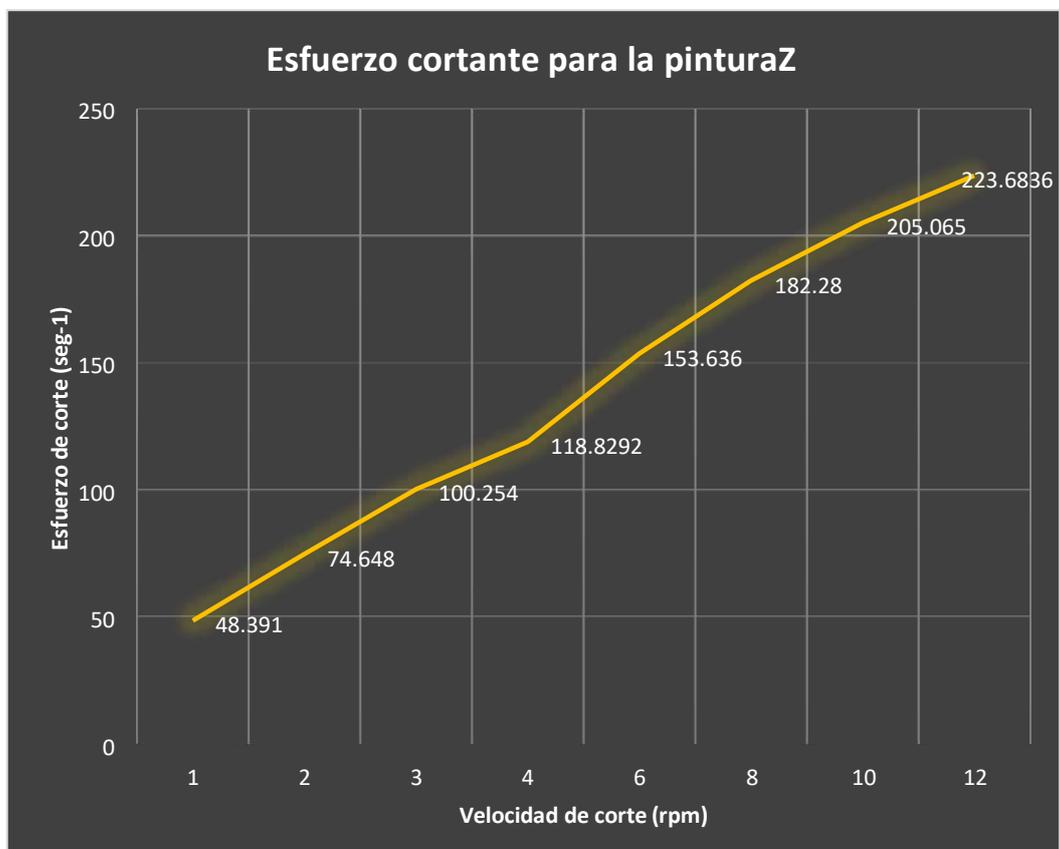


Figura 18. Esfuerzo de corte respecto a la velocidad de corte para Z

4.4. Determinación de la Influencia respecto al esfuerzo y velocidad de corte

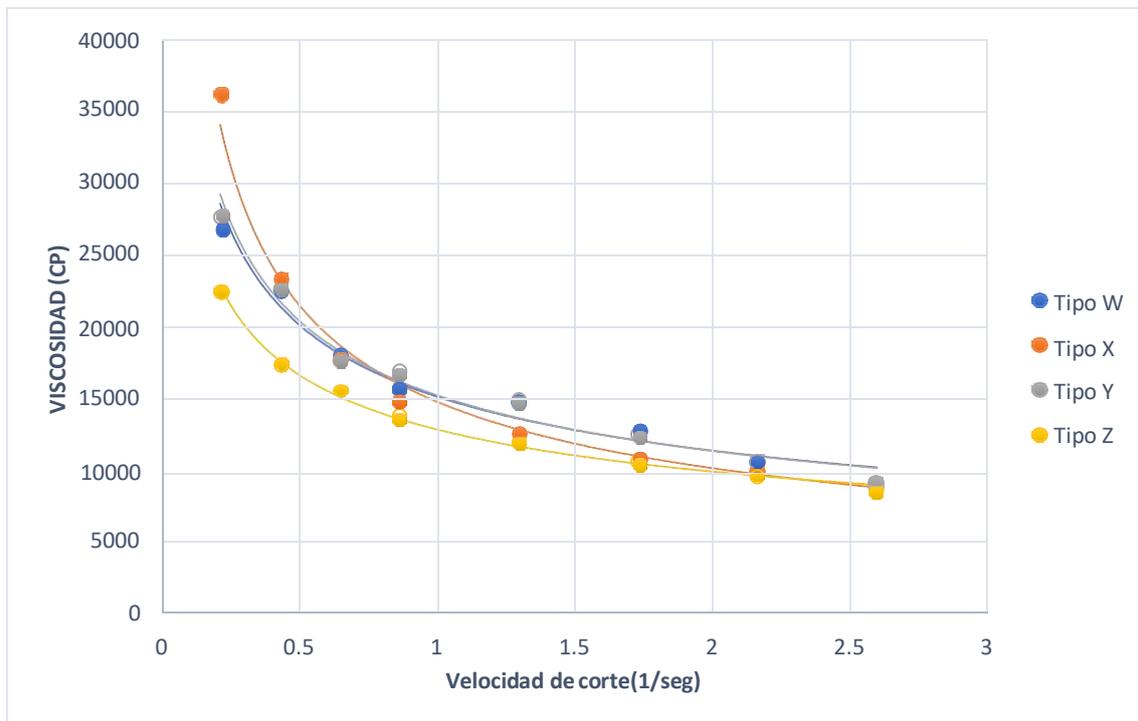


Figura 19. Variación de la viscosidad en respecto a la velocidad de corte

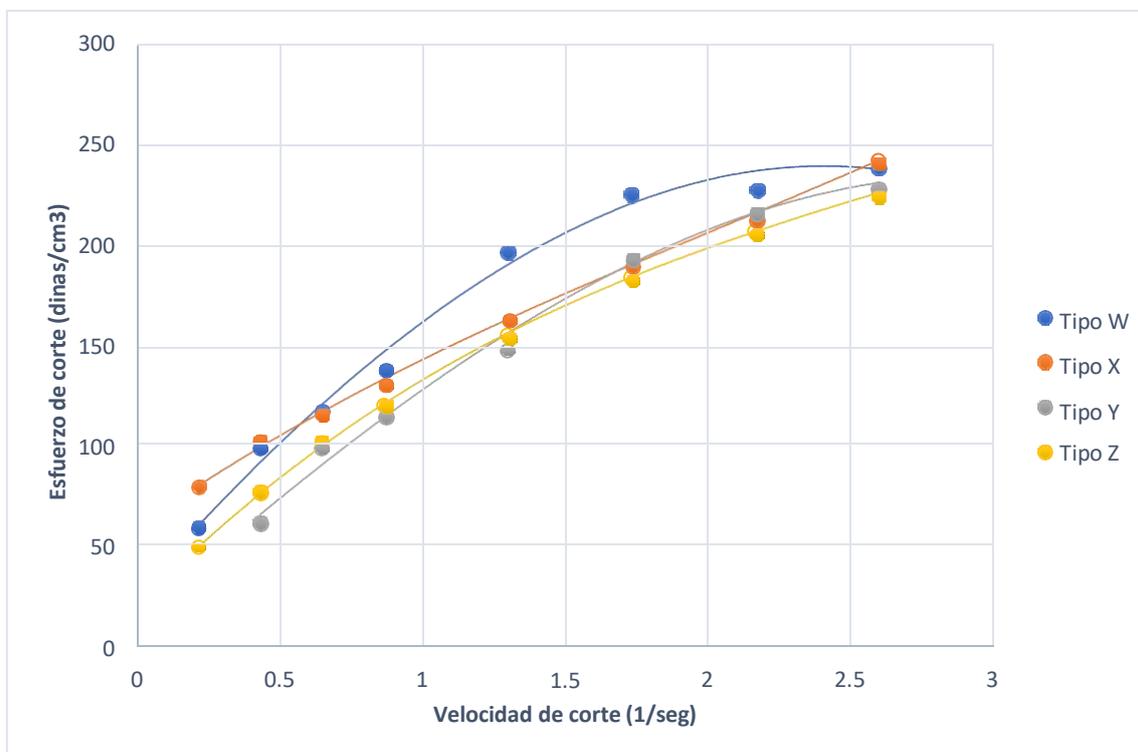


Figura 20. Variación del esfuerzo de corte respecto a la velocidad de corte

4.5. Determinación respecto a la composición de espesantes celulósicos o acrílicos para la disminución de tixotropía.

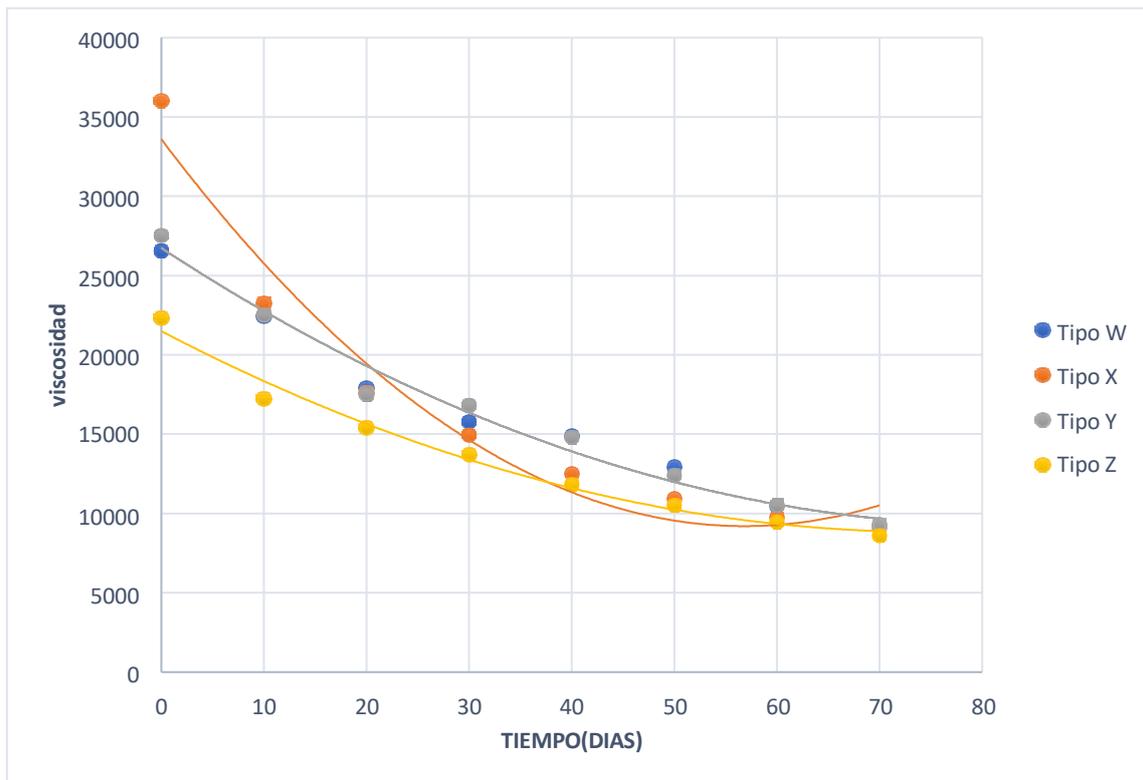


Figura 21. Variación de la viscosidad y el tiempo. (curva tixotrópica)

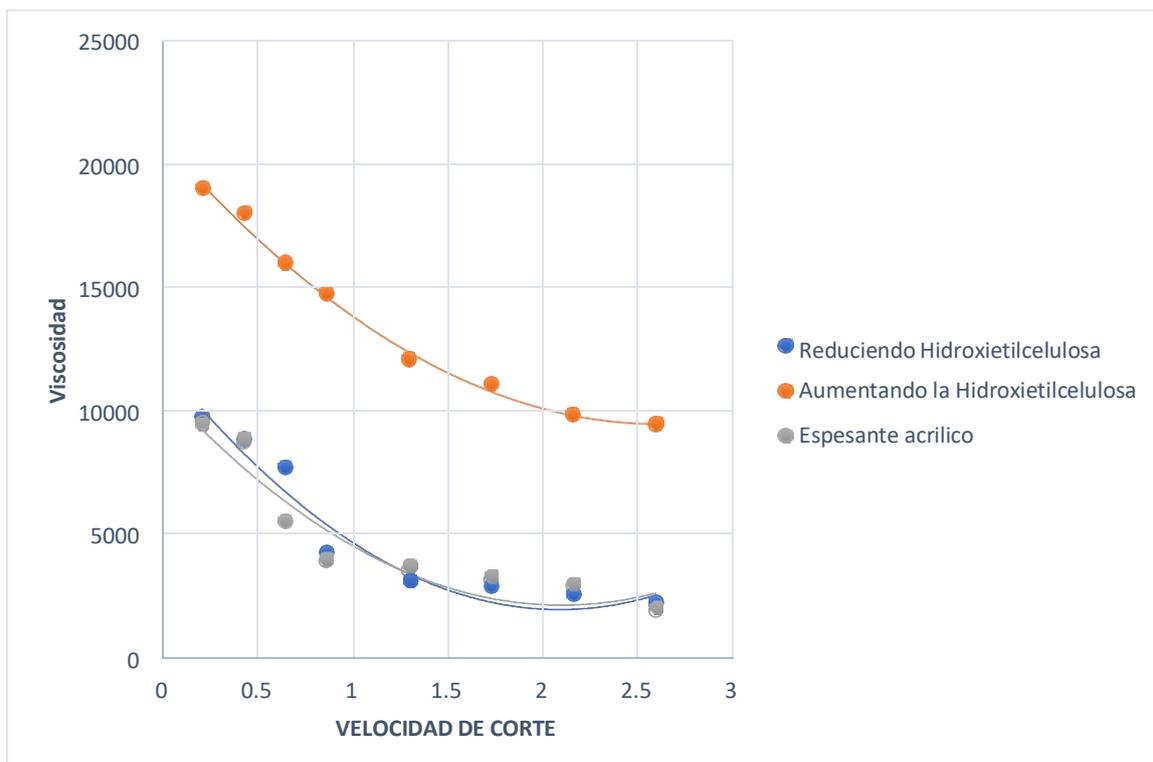


Figura 22.. Viscosidad y velocidad de corte respecto a la modificación del espesante de la pintura

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Discusiones

De acuerdo con Jaramillo (2010) cuyos datos obtenidos respecto a la comparación fisicoquímica guardan cierta relación respecto a la caracterización fisicoquímica de las pinturas teniendo como datos de viscosidad 108 ku, Porcentaje de solidos 56.80 %, densidad 1.45 g/ml y un CVP de 69.90 respecto a las muestras, mientras en el comportamiento de la muestra se está en desacuerdo.

En la imagen 19 se puede apreciar como la viscosidad disminuye respecto a que aumenta la velocidad de corte, esto más que todo es la descripción adecuada del comportamiento pseudoplástico de las pinturas, en donde se indica que la menor velocidad de corte es donde se tiene una elevada viscosidad y mientras más aumenta esta velocidad la viscosidad disminuye.

El comportamiento apreciado indica que el sistema posee una reorganización continua molecular, ofreciendo como respuestas valores menores en función a la resistencia de flujo.

Así mismo también se observa que la pintura con una alta viscosidad respecto al poco esfuerzo de corte es la de tipo X; por lo que se puede concluir que las pinturas que presentan en su composición poca cantidad espesante celulósico es de tipo Z, así mismo también el tipo W y Y, dado que ambos están similares.

Respecto a la figura 20, nos indica que mientras más aumenta la velocidad de corte aumenta de manera descontrolada los diversos revestimientos del tipo W, X, Y y Z; dando como resultado un comportamiento no newtoniano; así mismo también se puede observar que la pintura tipo Z y X son más uniformes, debido a que el gradiente de esfuerzo es menor y así mientras más aumenta ambas pinturas se diferencian de manera óptima y esto es visualizado en la imagen.

Después de la observación de pinturas como se presenta la gráfica 21 , esta indica que mientras mayor pasa el tiempo , la viscosidad presente dentro de la pintura disminuye de forma considerable , posiblemente esto depende de la inestabilidad de dispersión lograda o la degradación natural , entre diversas causas más, entro todas las observadas la que presenta una mayor disminución es la de tipo Z , así mismo también posee un valor bajo respecto al tiempo cero, dando como conceto al tiempo cero indicando al día siguiente de la pintura fabricada.

No obstante, la pintura Z posee mayor espesante respecto a las otras 3 pinturas, así mismo también es poseedora de una concentración de solido mayores, otro dato interesante es que cuando la CVP se acerca al 100% este tipo de pintura tiene un bajo contenido de resina, lo que se estima una pintura económica, pero a su vez de muy bajo desempeño, así mismo mientras más se aproxima al 0% sucede lo contrario de lo especificado con anterioridad.

Se aplicaron y ejecutaron diversos ensayos combinando las proporciones de espesantes para una misma pintura , esto más que todo para conocer de manera óptima y precisa la influencia del mismo , en la gráfica 21 se nota a simple vista que la espesada de una es mayor que otra ,no obstante se obtuvo que el comportamiento reológico que poseen es igual debido a que presentan la casi la misma velocidad de corte respecto a 1.76 seg^{-1} , el comportamiento se aprecia en la figura 20 , mientras se aumentó el espesante se notaron la alta viscosidad , no obstante , mientras que en los que se les aumento la hidroxietilcelulosa (espesante celuloso) por espesante acrílico ,posee un comportamiento relacionado constante , lo que se traduce como poca tixotropía.

5.2. Conclusiones

- Las propiedades fisicoquímicas respecto al tipo de pintura W obtenida fue la viscosidad de 2300 cp., mientras el porcentaje de solidos fue del 55 %, el pH a una T° ambiente fue de 7.16, la densidad de la muestra es de 1.46 g/ml y el CVP calculado fue del 70.58 %.
- Así mismo también las propiedades del tipo X obtuvo una viscosidad de 1710 cp., porcentaje de solidos de 41 %, pH de 7.16, una densidad de 1.43 g/ml y un CVP de 71.24 %.
- Los datos obtenidos respecto al tipo Y fue de: viscosidad de 1313 cp., porcentaje de solidos de 47.59, PH de 7.96, con una densidad de 1.38 g/ml y un CVP de 67.24%.
- En función al tipo Z cuyos datos obtenidos fueron: viscosidad 1280 cp., porcentaje de solidos 41.45 %, pH de 7.73, densidad 1.40 g/ml, CVP de 74.98 %.
- Estas propiedades obtenidas están dentro del régimen establecido respecto a la norma COVENIN 1302:1996.
- El comportamiento reológico presente en las pinturas de tipo W, X, Y y Z son no newtonianas, en pocas palabras el esfuerzo de corte no está en función a la velocidad de corte.
- Las pinturas W, X, Y y Z se ven afectadas respecto al tiempo, lo cual esto considera que posee efecto tixotrópico.
- La pintura Z presente una alta tixotropía respecto a las pinturas tipo W, X y Y.
- La viscosidad encontrada en las pinturas es relativamente proporcional respecto al solido contenido en ella.

- Mientras mayor sea el volumen de pigmento (CVP) mayor será la viscosidad que presentara la muestra.

5.2. Recomendaciones

- Debido a la amplia complejidad respecto a la reología de las muestras, es de vital importancia analizar estas en procesos más sencillos, así como el aumento de soluciones a más agua y poco a poco ir añadiéndole, esto con el propósito de examinar la influencia en cada uno y la relación que posee el producto final, esto más que todo para una calidad óptima y excelente.
- Realizar pruebas aumentando los rpm a un mayor valor, debido al no poder realizarse por falta de equipo, pero con valores superiores a 12 rpm, para así evaluar de manera óptima el comportamiento reológico de la muestra.

CAPITULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Castillo, W. (2014). *Operaciones Agroindustriales I*. Chimbote . Peru: UNS.

Cruz Fierro, C.F. (2016). *Fenómenos de transporte*. Durango. Mexico: Instituto Tecnológico Durango.

Flores Salas, A. L. (2005). *Ejemplo de un procedimiento del análisis reológico de una pintura con solvente mineral y resina alquídica*. San Carlos- Guatemala: UNSCG.

Fluido no newtoniano. (19 de 03 de 2015). Recuperado el 10 de 01 de 2019, de <https://www.ucm.es/data/cont/docs/76-2015-03-19-Fluido%20no%20newtoniano.pdf>

Machuca Chiguano, A., & Yopez Fajardo, J. (2009). *DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EXPERIMENTACIÓN DE UN VISCOSÍMETRO SAYBOLT*. Riobamba- Ecuador: ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA. CCHIMBORAZO.

Mueller Joerg, U. T. (1997). *Mejora de propiedades de aplicación técnica de pinturas*.

Perry, J. H. (1963). *Chemical Engineers Handbook*,. N. Y. USA: 4th Ed., McGraw Hill.

Rojas G. Orlando. (1999). *Introducción a la Reología*. Merdida. Venezuela: UCV.

De Nota H., “Introducción a la Reología” 20 de noviembre de 2008 (2000). Disponible en http://www.ffyb.uba.ar/farmacotecnia%20I/Reologia/Introduccion_a_la_Reologia .htm

Garay R. y de Notta H., “Proceso de producción de pinturas”, Andina Paint, Venezuela (2006).

Perry R., “Manual del Ingeniero Químico”, Sexta Edición. Tomo I, McGraw Hill, México (1992).

Temple P., "Paint Flow and Pigment Dispersión", Segunda Edición, Wiley & Sons, USA (1979).

Schweigger E., "Manual de pinturas y recubrimientos plásticos". Primera Edición, Díaz de Santos, Madrid (2005).

McCabe W.; Smith J. y Harriot P., "Operaciones Unitarias en Ingeniería Química". Cuarta edición, McGraw Hill, España (1998).

Bird, R.; Stewart, W. y Lightfoot, E., "Fenómenos del Transporte". Reverté, Barcelona, España (1980).

ANEXOS

Anexo 01: Tabla de escalonamientos de velocidades de corte (dr), en función de los cilindros rotatorios del Rheotest y de frecuencia eléctrica.

VELOCIDADES DE CORTE (Dr ó dv/dr), EN FUNCIÓN DE 24 ESCALONAMIENTOS DE ENGRANAJES DE CAMBIO DE POSICIÓN (a) Y (b)						
SISTEMAS		S1	N	S2	S3	H
POSICIONES		Dr (1/s)				
1b		1,800	55,6	0,600	0,200	0,200
2b		3,240	30,86	1,080	0,360	0,360
	1a	3,600	27,78	1,200	0,400	0,400
3b		5,400	18,52	1,800	0,600	0,600
	2a	6,480	15,43	2,160	0,720	0,720
4b		9,720	10,29	3,240	1,080	1,080
	3a	10,80	9,26	3,600	1,200	1,200
5b		16,20	6,17	5,400	1,800	1,800
	4a	19,44	5,14	6,480	2,160	2,160
6b		29,16	3,43	9,720	3,240	3,240
	5a	32,40	3,086	10,80	3,600	3,600
7b		48,60	2,058	16,200	5,400	5,400
	6a	58,30	1,715	19,44	6,480	6,480
8b		87,5	1,143	29,16	9,72	9,72
	7a	97,20	1,029	32,40	10,80	10,80
9b		145,8	0,686	48,60	16,20	16,20
	8a	175,0	0,572	58,30	19,44	19,44
10b		262,4	0,3810	87,50	29,16	29,16
	9a	291,6	0,343	97,20	32,40	32,40
11b		437,4	0,2286	145,8	48,60	48,60
	10a	524,9	0,1905	175	58,30	58,30
12b		787	0,1270	262,4	87,50	87,50
	11a	875	0,1143	291,5	97,20	97,20
	12a	952,4	0,0535	525,0	175,0	175,0

Fuente: Manual del Viscosímetro Rheotest, VEB MLW, Prüfgerate-Werk Medingen, Sitz Freital (10)

Anexo 02: Manual del viscosímetro

RHEOTEST Messgeräte Medingen

Series RHEOTEST® RN



Traditions

Rheometers with the mark name RHEOTEST® are in use in many countries for more than 40 years and represent constancy of Medingen's traditions in development, manufacture and sale of rotational rheometers.



Novelties

- 1: There are 2 basic versions of the Rheometer RHEOTEST® RN 4.1 on offer:
 - **PC-controlled** rheometer series RHEOTEST® RN 4.1 with complete software for realization and evaluation of rheological tests in CR-, CS- and Oscillation mode. First time a rheometer system with ball bearings carries out also oscillation tests in a very well price-performance-relation.
 - **Viscometer with separate operating unit.** It enables to carry out tests with controlled shear rate and with controlled shear stress as well as in extreme temperature conditions. At the same time we fulfil first of all requirements of laboratories of oil-producing branch in former CIS countries where it is necessary easy-to-maintain, very reliable and with reasonable price the subsequent model RHEOTEST® RV2.1 for measurement of dynamic viscosity of petroleum products in temperature range of -60 to $+200^{\circ}\text{C}$.
2. There are news also in the field of measurement systems. Measurement systems and methods of measurement have been developed as a result of oriented to practical needs cooperation with research institutions. They are very much right for reproducible assessment of rheological properties of substances' systems that contains solid particles, such, e.g., as plasters, adhesive mixtures for ceramic tile, cement binding materials and liquid concrete and are repaid when using in laboratories of building materials.

Features

Rheometer is a highly sophisticated item of instrument engineering both in development, manufacturing and marketing and also for the consumers and users.

At present *development of rheometers* is justified only in individual cases by needs of existing oriented to the practical purposes branch rheological sciences.

It is required *for the quality production*:

- mature technology of manufacture
- well-trained and experienced production personnel
- high-performance equipment for mounting, adjustment, calibration and final check-up
- good and trustworthy cooperation with the corresponding partners.

Serious marketing activities should be oriented in a proper way and require exclusively close cooperation between the marketing service of the manufacturer, possible go-between and future consumer.

It is necessary purpose-oriented training of the service personnel concerning operational regulations of the instrument for its *efficient operation*, as well as corresponding to the requirements After Sales Service that is carried out by the manufacturer or seller.

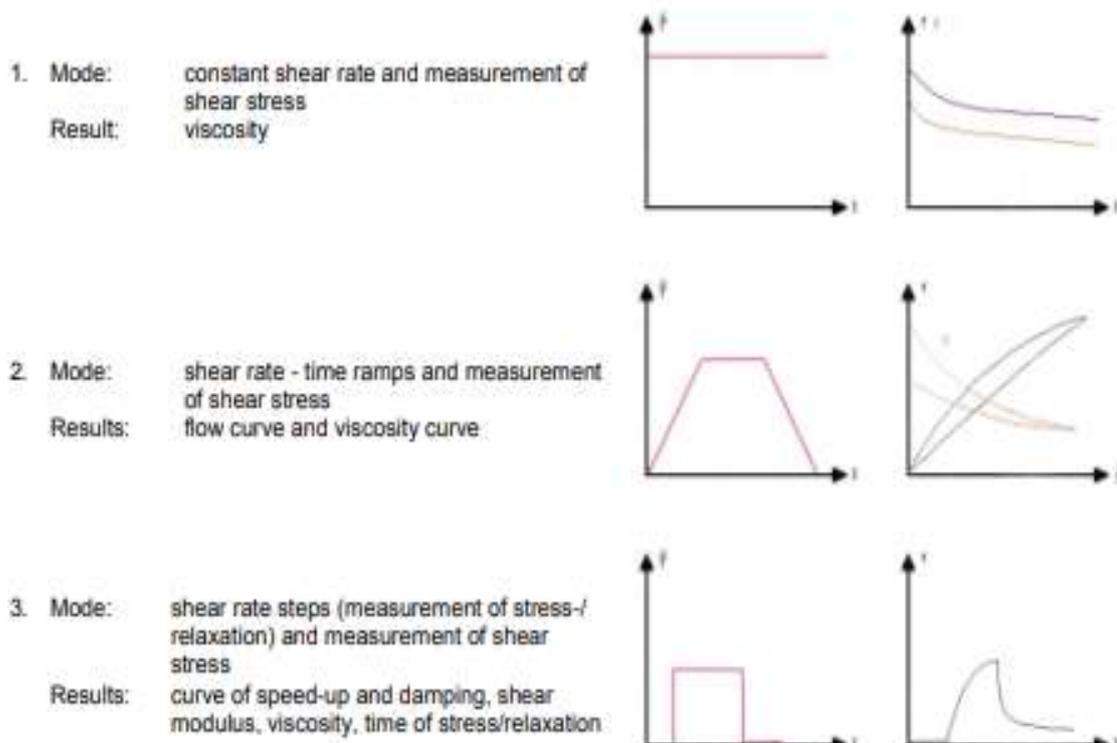
Only some manufacturers and suppliers meet these specific requirements.

Price-Performance Ratio

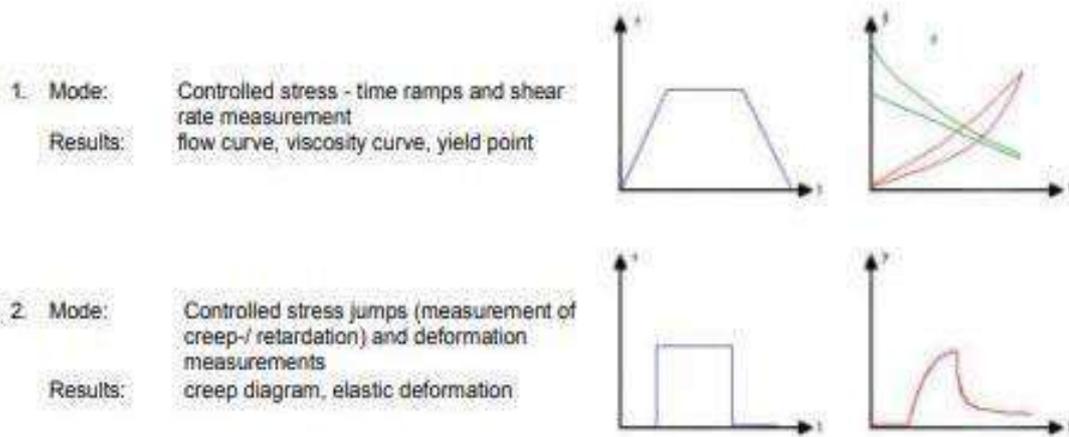
Modular design allows also realization of a long-term investment strategy and successful adaptation in the future to the changing task settings in the field of measurement technique.

Possible Types of Measurements (Tests) (depending on selected main version of the instrument)

Measurements with Controlled Rate (CR-Tests):

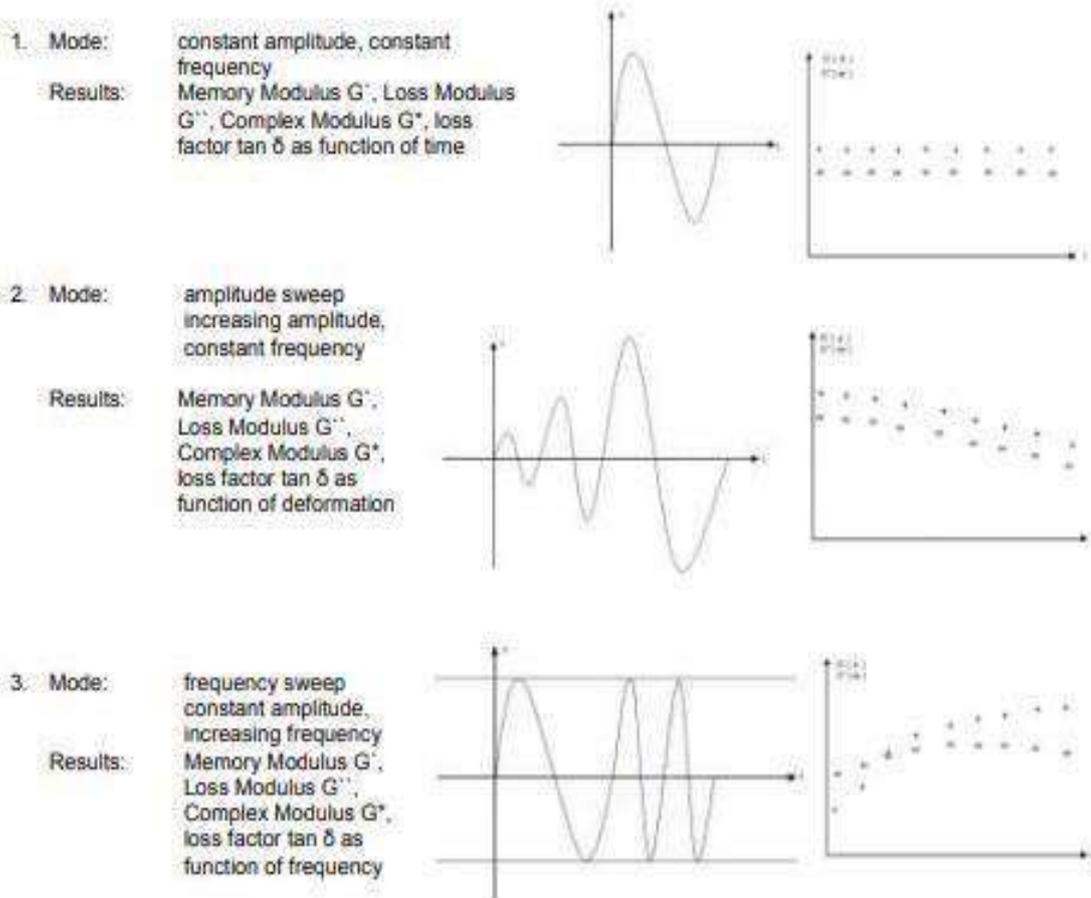


Measurements with Controlled Stress (CS-Tests):



Measurements with Oscillation Tests

Settings of harmonic stress oscillations and deformation measurement:



Measuring Systems

- Cylinder measuring system and cone-and-plate measuring system according to DIN
- Special measuring system (castle sensor and measuring cell for liquid concrete) for construction materials as well as for similar materials as for structure of product and flow properties
- Different blade measuring systems, first of all for yoghurt, dressings and dross



Several Examples of Application (see our Homepage for more detailed information)

- Development and production of paints, varnishes and other coating materials as well as control of coating process
- Development and production of pharmaceuticals and cosmetics
- Development and production of food products particularly of chocolate and chocolate icing as well as dressings and dairy produce
- Development and production of lubricants
- Development and production of ceramic materials and coating process control of these materials
- Development and production of plastics, initial and intermediate products inclusive

Main Technical Data

- | | |
|----------------------|--------------------------------------|
| • Viscosity Range: | appr. 1 ... 3 * 10 ⁵ mPas |
| • Speed Range: | appr. 0 ... 1000 rpm |
| • Speed Accuracy: | appr. 0,015 rpm |
| • Torque Range: | appr. 0,1 ... 150 mNm |
| • Torque Resolution: | appr. 0,002 mNm |
| • Angle Range: | appr. -50 ... 300° |
| • Angle Resolution: | appr. 0,001° |
| • Frequency Range: | appr. 0,001 ... 10 Hz |
| • Temperature Range: | appr. -30 ... 200°C |

Remarks to Viscosity Measuring Ranges

Viscosity measuring ranges for rotational measuring systems published through viscometer and rheometer producer are mostly theoretical measuring ranges. The measuring ranges are calculated with minimum torque, maximum speed of rotation and the geometrical data of the measuring system. That means, most published low viscosity values can be reached only at maximum speed of rotation and samples with Newtonian flow properties.

Upper viscosity values can be reached only with the necessary accuracy if the whole sample was filled into the measuring system in homogeneous condition without cavities, caused e.g. through air bubbles. Also the complete sample material must be thermostated to the measuring temperature very well. In case of high viscous pastes we suggest to use cylinder measuring systems only up to viscosities of appr. 10⁵ mPas, because filling the measuring cup without air bubbles is complicated very often. Therefore we suggest to use cone and plate measuring systems for high viscous samples.

Within our "Suggested Measuring Range" it is possible to get accurate viscosity values in a larger range of speed of rotation. Additional rheological determinations are possible also in the necessary accuracy.

Temperature Control Solutions

- Temperature control by liquid for cylinder measuring system
- Temperature control by liquid for cone-and-plate measuring system
- Temperature control by Peltier system for cone and plate measuring system

Order Overview

Order No.	Description	
<u>Main instrument, PC-controlled</u>		
3022.1.00001	Main instrument RHEOTEST RN 4.1 with stand and software for CR-Tests	
3022.1.00003	Main instrument RHEOTEST RN 4.1 with stand and software for CR- and CS-Tests	
3022.1.00005	Main instrument RHEOTEST RN 4.1 with stand and software for CR-, CS- and Oscillation tests	
<u>Main instrument with separate operation unit</u>		
3022.1.00006	RHEOTEST® RN 4.1-SE for CR- and CS-tests with stand, electronic unit and operation unit	
<u>Package version for petroleum products according to GOST 1929:</u>		
3022.0.00001	RHEOTEST® RN 4.1-SE with selected cylinder measuring systems (rotors H1+H2, measuring cup G1, temperature control vessel G with Pt 100)	
3022.0.00002	RHEOTEST® RN 4.1-SE with selected cylinder and cone-plate measuring systems (rotor H1, measuring cup G1, temperature control vessel G with Pt 100, cone and plate measuring system with cone K3)	
<u>Package version for greasing substances and fats:</u>		
3022.0.00003	RHEOTEST® RN 4.1-SE with cone-and plate measuring system and cone K3	
<u>Package version for chocolate and chocolate glazes according to OICCC-Standard:</u>		
3022.0.00004	RHEOTEST® RN 4.1-SE with DIN-cylinder measuring system (rotor S1, measuring cup G1, temperature control vessel G with Pt 100)	
<u>Cylinder measuring system (viscosity ranges are recommended values)</u>		
	viscosity	shear rate
3021.2.33100	Rotor S 1 20 ... 10 ⁵ mPas	0,13 ... 1300 s ⁻¹
3021.2.31100	Rotor H 1 10 ... 10 ⁵ mPas	0,20 ... 2000 s ⁻¹
3021.2.31200	Rotor H 2 100 ... 10 ⁵ mPas	0,04 ... 400 s ⁻¹
3021.2.31300	Rotor HS 3 ... 10 ⁴ mPas	0,67 ... 6700 s ⁻¹
3021.2.35100	Rotor S 2 100 ... 10 ⁵ mPas	0,13 ... 1300 s ⁻¹
3021.2.31400	Rotor H 3 100 ... 10 ⁵ mPas	0,10 ... 1000 s ⁻¹
3021.2.31500	Rotor H 4 200 ... 10 ⁵ mPas	0,04 ... 400 s ⁻¹
3021.2.36600	Blade rotor F1 20 ... 10 ⁵ mPas for sedimentary and shear sensitive substances (blade diameter 34 mm)	
3021.2.36700	Blade rotor F2 100 ... 10 ⁵ mPas for sedimentary and shear sensitive substances (blade diameter 14 mm)	

Order No.	Description
3021.2.33300	Measuring cup G1 (for rotors S 1, H 1, H 2, HS, F1 and F2)
3021.2.33600	Special plug HS for measuring cup G 1 (for rotor HS) (More rapid temperature control is achieved due to reduced quantity of material under study)
3021.2.33400	Measuring cup M1 (for rotors S 2, H 3, H 4 and F2)
3021.2.03000	Temperature-controlled cup G with Pt 100 (for measuring cup G1)
3021.2.05000	Temperature-controlled cup M with Pt 100 (for measuring cup M1)
<u>Cone and plate measuring system (viscosity ranges are recommended values)</u>	
3021.2.50000	Measuring plate complete (with Pt 100, mounting and adapter)
3022.2.51000	Measuring plate system with Peltier measuring plate and Pt 100, cooling unit, temperature control unit and power supply, measuring plate support and adapter
	viscosity
	shear rate
3021.2.53200	Plate P1 Ø 36 100 ... 10 ⁵ mPas —
3021.2.53300	Cone K 1 Ø 36/0,3° 10 ... 10 ⁵ mPas 2 ... 20000 s ⁻¹
3021.2.53400	Cone K 3 Ø 36/1° 50 ... 10 ⁷ mPas 0,6 ... 6000 s ⁻¹
3021.2.53500	Cone K 5 Ø 36/5° 100 ... 10 ⁵ mPas 0,12 ... 1200 s ⁻¹
3021.2.55200	Plate P2 Ø 12 1000 ... 10 ³ mPas —
3021.2.55300	Cone K 2 Ø 12/0,3° 500 ... 10 ⁵ mPas 2 ... 20000 s ⁻¹
3021.2.55400	Cone K 4 Ø 12/ 1° 1000 ... 10 ⁵ mPas 0,6 ... 6000 s ⁻¹
3021.2.55500	Cone K 6 Ø 12/ 5° 1000 ... 10 ³ mPas 0,12 ... 1200 s ⁻¹
3022.2.51100	Cone KP Ø 70/ 1°
3022.2.54000	Cone K8-P 1 ... 2*10 ⁵ mPas 0,6 ... 6000 s ⁻¹
<u>Measuring system for building materials</u>	
3022.2.60000	Measuring cell for fresh concrete, cement binding material and other strong sedimentary products, that consists of: cyclic measuring chamber with claw type rotor (stainless steel)
3022.2.70000	Crown sensor for plaster, adhesive mixture and other inhomogeneous products (with high content of solid, gas and liquid inclusions)
<u>Special accessories</u>	
3022.2.22000	Software for PC-controlled CR- and CS-tests valid only for version RHEOTEST® RN –SE
3022.2.24000	Software to control specific thermostats / cryostats, valid only for RHEOTEST® RN, PC-controlled
without no.	Different liquid thermostats
without no.	PC
without no.	Printer

Anexo 03: cálculos realizados en el transcurso del proyecto de investigación

Determinación de viscosidad

Aplicando la siguiente formula:

$$v = \frac{u_1 + u_2 + u_3 Cp}{3}$$

Determinación de densidad

Para el cálculo de densidad se aplicó la siguiente relación:

Masa de pintura = picnómetro lleno – picnómetro vacío

Volumen del picnómetro lleno = 82.60 gramos

$$\text{Masa de pinturas} = (220.62 - 100) = 120.62 \text{ g}$$

Por lo que:

$$v = \frac{120.62}{82.60} = 1.46 \frac{g}{ml}$$

Determinación de solidos

Para el cálculo del porcentaje de solidos se emplea la siguiente ecuación:

Para pintura tipo A

Pintura Húmeda = (79.30-69.30) = 10 gramos

Pintura Seca = (73.80 – 69.30) = 4.50 gramos

$$\% \text{ Sólidos} = 100 - \frac{10-4.5}{10} \times 100 = 55\%$$

Determinación del volumen de pigmento (CVP)

La ecuación empleada para este cálculo fue la siguiente:

$$CVP = \frac{\text{Volumen P} + \text{Volumen C}}{\text{Volumen P} + \text{Volumen C} + \text{Volumen L}} \times 100$$

Por lo que de acuerdo con las especificaciones indican que el % solidos es igual a

54 % y la densidad de 1.06 Kg/l:

$$\rho_{\text{resina seca}} = \frac{54}{\left(\frac{100}{1.06}\right) - (100 - 54)} \times 100$$

$$\rho_{\text{resina seca}} = 1.12 \frac{\text{Kg de resina seca}}{\text{Kg de resina humeda}}$$

Por lo que:

$$\rho_{\text{resina seca}} = 3.80 \text{ Kg de masa de resina húmeda} \times 0.54 \frac{\text{Kg de resina seca}}{\text{Kg de resina humeda}}$$

Masa de resina seca = 2.052 Kg

Entonces el volumen se calcula respecto a:

$$\rho_{\text{resina seca}} = \frac{2.052 \text{ Kg de resina seca}}{1.12 \frac{\text{Kg de resina seca}}{\text{L de resina seca}}}$$

Volumen de resina seca = 1.832 kg

Para el cálculo de pintura tipo W.

$$CVP = \frac{(0.31 - 4.08) \text{ litros}}{(0.31 - 4.08 - 1.832) \text{ litros}} \times 100$$

$$CVP = 70.58\%$$

Determinación del esfuerzo de corte

Velocidad de corte = 0.217 N

Por lo que N=RPM en donde la Velocidad de corte sería = 0.217*1 = 0.217 Seg⁻¹

Seguidamente el esfuerzo de corte $r = D * \mu$ en donde la D sería la velocidad de corte y el μ la viscosidad de la muestra quedando como se muestra en la siguiente tabla: