



UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



## EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DE DISPERSIÓN DE COLOFONIA MODIFICADA EN SOLVENTE DE BAJO PUNTO DE FUSIÓN

Tutor académico:

**Prof. Carlos Romero.**

Autor:

**Torres S., Mariangel B.**

C.I.: 18.850.160.

Valencia, Febrero de 2015.



UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



## EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DE DISPERSIÓN DE COLOFONIA MODIFICADA EN SOLVENTE DE BAJO PUNTO DE FUSIÓN

*Trabajo Especial de Grado presentado ante la ilustre Universidad de Carabobo para  
optar al título de **Ingeniero Químico***

Autor:

**Torres S., Mariangel B.** C.I.: 18.850.160.

Valencia, Febrero de 2015.



UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



### CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Los abajo firmantes, miembros del jurado designado para evaluar el trabajo especial de grado Titulado: **“EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DE DISPERSIÓN DE COLOFONIA MODIFICADA EN SOLVENTE DE BAJO PUNTO DE FUSIÓN”** realizado por la Bachiller: Torres S. Mariangel B., C.I.: V.-18.850.160, hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo, y que no nos hacemos responsables de su contenido, pero lo encontramos correcto en su forma y presentación.

---

Prof. Carlos Romero.

Tutor-Presidente

---

Prof.: Auxilia Mallia.  
Jurado

---

Prof.: Irina León.  
Jurado

Valencia, Febrero de 2015.



---

## DEDICATORIA

*A mis amados padres, por el apoyo brindado, por las correcciones constantes, por ser mi sustento y creer en mí, confiando en que puedo lograr todo lo que me proponga, he aquí el resultado de tantos años de trabajo y dedicación al convertirme finalmente en Ingeniero Químico.*

*A mis hermanos Gustavo y Guillermo que siempre me acompañan y me brindan su apoyo y espíritu emprendedor, demostrándome que con trabajo y dedicación se logran las metas. Los amo hermanos.*

*A mi querida abuela Ernestina, quien cada fin de semana de partida a Valencia, con mucho cariño me encomendaba en sus oraciones para que todo me saliera bien.*

*A toda mi familia: tíos, tías, primos, especialmente a mi Tío Miguel y Tía Neida quienes me acompañaron y apoyaron incontables veces a lo largo de mi carrera. Somos una familia maravillosa, gracias por estar siempre presentes y ser tan especiales conmigo, por hacerme sentir tan inteligente en todo momento y nunca dudar de mí.*

*A ti Joel, por ser mi compañero de lucha, mi amigo y apoyo incondicional, llenando de amor y calma los momentos difíciles.*

*A la Profesora Olga Martínez, quien es para mí un ejemplo de conocimiento, gracias por brindarme su apoyo y sabios consejos que siempre tuve presente y los cuales fueron bases que forjaron mi crecimiento profesional.*



---

## AGRADECIMIENTOS

*A Dios y a la virgen por bendecirme cada día de mi vida, por guiarme a lo largo de la carrera y permitirme alcanzar esta meta.*

*A la Universidad de Carabobo, especialmente a la Facultad de Ingeniería por formarme como Ingeniero Químico, quien a su vez me brindó la oportunidad de desarrollar mi trabajo especial de grado en el Laboratorio de investigación y extensión de la escuela de Ingeniería Química.*

*A mi tutor, Prof. Carlos Romero, quien ha sido incondicional en la guía de este proyecto, que con su paciencia, comprensión, dedicación y buenas sugerencias fue pieza fundamental en el desarrollo de mi trabajo especial de grado.*

*A todos los profesores de la Escuela de Ingeniería Química, por ser fuente de conocimiento en todo momento.*

*A la Ing. Elisa Torres, por sus consejos, recomendaciones y valiosos aportes.*



---

## RESUMEN

La presente investigación comprende una evaluación de las propiedades reológicas de dispersión de colofonia modificada en solvente de bajo punto de fusión. Para ello, se plantearon objetivos específicos, que permitieron caracterizar la colofonia modificada, preparar y caracterizar una serie de dispersiones de la colofonia modificada, con solvente de bajo punto de fusión, determinar propiedades reológicas y estimar los costos de las formulaciones. Inicialmente se caracteriza la colofonia modificada por espectroscopía FTIR y temperatura de reblandecimiento; luego se prepararan seis muestras de dispersiones de colofonia modificada en parafina a diferentes concentraciones, las cuales también se caracterizan por espectroscopía FTIR y temperatura de reblandecimiento. Posteriormente, se determinan las propiedades reológicas tales como: determinación de extensión y punto de reblandecimiento siguiendo la metodología descrita por la Norma Covenin 419:1997. Materiales Bituminosos. Punto de Reblandecimiento. Método de anillo y bola. A fin de establecer la dispersión más económica se realizó la determinación de los costos de formulación de las dispersiones. Al analizar el comportamiento de las dispersiones, se encontró que la dispersión 6 (80% de colofonia, 20% de parafina) presentó mayor extensión y mayor grado de fluidez en cuanto al punto de reblandecimiento, siendo además, la más económica en su formulación si se realiza una importación de la materia prima en Dólares americanos.

**Palabras claves:** propiedades reológicas, dispersiones, colofonia modificada, parafina, punto de reblandecimiento.



## ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA. ....	4
1.2.1. Situación actual. ....	5
1.2.2. Situación deseada.....	5
1.3. OBJETIVOS. ....	5
1.3.1. Objetivo general. ....	5
1.3.2. Objetivos específicos.....	6
1.4. JUSTIFICACIÓN. ....	6
1.5. LIMITACIONES. ....	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	8
2.1. ANTECEDENTES. ....	8
2.2. BASES TEÓRICAS. ....	12
2.2.1. Colofonia. ....	12
2.2.2. Descripción química de la colofonia. ....	12
2.2.3. Tipos de colofonia y su obtención. ....	14
2.2.4. Aplicaciones de la colofonia. ....	15
2.2.5. Parafina. ....	17
2.2.6. Tipos de parafina.....	18
2.2.7. Dispersiones.....	20
2.2.8. Reología. ....	20
2.2.9. Propiedades Reológicas.....	20
2.2.10. Clasificación de los fluidos según su comportamiento reológico. ....	25
2.2.11. Técnicas de caracterización físico-químicas. ....	27
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO .....	28
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN. ....	28
3.2. DESARROLLO SISTEMÁTICO DE LA INVESTIGACIÓN. ....	29



3.2.1. Caracterización de la colofonia modificada y el solvente de bajo punto de fusión puros.....	29
3.2.2. Obtención de una serie de dispersiones de colofonia modificada en el solvente de bajo punto de fusión a diferentes proporciones. ....	30
3.2.3. Caracterización de las diferentes dispersiones de colofonia modificada. ....	32
3.2.4. Determinación de las propiedades reológicas de las dispersiones de colofonia modificada.....	32
3.2.5. Estimación de los costos de formulación de las dispersiones.....	38
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	40
4.1. Caracterización de la colofonia modificada y el solvente de bajo punto de fusión puros. ....	40
4.2. Obtención de una serie de dispersiones de colofonia modificada en el solvente de bajo punto de fusión a diferentes proporciones. ....	45
4.3. Caracterización de las diferentes dispersiones de colofonia modificada. ....	46
4.4. Determinación de las propiedades reológicas de las dispersiones de colofonia modificada. ....	49
4.5. Estimación de los costos de formulación de las dispersiones.....	54
CONCLUSIONES.....	57
RECOMENDACIONES .....	58
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	59
APÉNDICE A: DATOS BIBLIOGRÁFICOS .....	64
APÉNDICE B: TABLAS DE DATOS EXPERIMENTALES .....	65
APÉNDICE C: CÁLCULOS TÍPICOS.....	68
1.- Cálculo del promedio de temperatura de reblandecimiento inicial y final. ....	68
2.- Determinación de porcentaje de variación.....	69
3.- Determinación de costos de formulación de dispersiones.....	70
APÉNDICE D: TABLAS DE RESULTADOS.....	72
ANEXOS .....	75



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1</b> Aspecto de la Colofonia. ....	12
<b>Figura 2.2</b> Estructura química del ácido abiético y del ácido pimárico. ....	13
<b>Figura 2.3</b> Estructura molecular de parafinas de cadena lineal. ....	17
<b>Figura 2.4</b> Estructura química de una parafina. ....	18
<b>Figura 2.5</b> Esquema del perfil de velocidad en un líquido utilizado para definir la viscosidad. ....	22
<b>Figura 2.6</b> Distribución de velocidad. ....	25
<b>Figura 2.7</b> Comportamiento reológico de los fluidos. ....	26
<b>Figura 3.1</b> Espectrofotómetro Infrarrojo marca Shimadzu. ....	29
<b>Figura 3.2</b> Fusiómetro marca Electrothermal, modelo MEL-TEMP 1102D. ....	30
<b>Figura 3.3</b> Montaje experimental para la preparación de las dispersiones. ....	31
<b>Figura 3.4</b> Molde de goma para hacer pastillas de dispersiones. ....	33
<b>Figura 3.5</b> Pastillas de dispersiones sometidas a ensayo. ....	33
<b>Figura 3.6</b> Estufa Gravity Convection Oven, modelo 16, marca Precision. ....	34
<b>Figura 3.7</b> Anillos con borde. ....	35
<b>Figura 3.8</b> Bolas de acero. ....	35
<b>Figura 3.9</b> Centrador de bola. ....	36
<b>Figura 3.10</b> Porta anillos. ....	36
<b>Figura 3.11</b> Modelo de ensamblaje. ....	37
<b>Figura 4.1</b> Espectros FTIR patrones de resinas de colofonia, colofonia parcialmente hidrogenada y colofonia altamente hidrogenada. ....	40
<b>Figura 4.2</b> Espectro FTIR de colofonia modificada utilizada. ....	41
<b>Figura 4.3</b> Espectro FTIR patrón de parafina de cadena ramificada. ....	43
<b>Figura 4.4</b> Espectro FTIR de parafina. ....	43
<b>Figura 4.5</b> Dispersiones de colofonia modificada en parafina. ....	46
<b>Figura 4.6</b> Comparación de los espectros FTIR de las dispersiones de colofonia modificada en parafina sólida. ....	48
<b>Figura 4.7</b> Porcentaje de variación de diámetro de las dispersiones. ....	50
<b>Figura 4.8</b> Porcentaje de variación de espesor de las dispersiones. ....	50



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 3.1.</b> Dispersiones preparadas. ....	31
<b>Tabla 3.2.</b> Condiciones de operación del ensayo de punto de reblandecimiento. Norma Covenin 419:1997. ....	38
<b>Tabla 4.1.</b> Temperatura de reblandecimiento de la materia prima. ....	44
<b>Tabla 4.2.</b> Fluidéz y consistencia de las dispersiones de colofonia modificada en parafina a temperatura ambiente y presión atmosférica. ....	45
<b>Tabla 4.3</b> Temperatura de reblandecimiento de las dispersiones de colofonia modificada en parafina. ....	47
<b>Tabla 4.4</b> Análisis del espectro FTIR de las dispersiones de colofonia modificada en parafina. ....	49
<b>Tabla 4.5</b> Análisis de varianza (ANOVA Simple) para porcentaje de variación de diámetro por dispersión ....	51
<b>Tabla 4.6</b> Análisis de varianza (ANOVA Simple) para porcentaje de variación de espesor por dispersión ....	52
<b>Tabla 4.7</b> Tiempo de descenso en muestras de dispersión a 40 °C. ....	52
<b>Tabla 4.8</b> Tiempo de descenso en muestras de dispersión a 50 °C. ....	53
<b>Tabla 4.9</b> Tiempo de descenso en muestras de dispersión a 60 °C. ....	53
<b>Tabla 4.10</b> Costos comparativos de la colofonia modificada y la parafina comercial. ....	54
<b>Tabla 4.11</b> Costos por gramos comparativos de las dispersiones de colofonia modificada en el solvente de bajo punto de fusión (parafina). ....	55
<b>Tabla A.1</b> Propiedades fisicoquímicas de la parafina. ....	64
<b>Tabla A.2</b> Propiedades fisicoquímicas de la colofonia. ....	64
<b>Tabla B.1</b> Temperaturas de fusión de las muestras en el ensayo con el fusiómetro. ....	65
<b>Tabla B.2</b> Masas de las pastillas de dispersiones para ambos ensayos. ....	65
<b>Tabla B.3</b> Diámetro inicial de las pastillas de dispersiones de colofonia (Ensayo 1). ....	66
<b>Tabla B.4</b> Diámetro inicial de las pastillas de dispersiones de colofonia (Ensayo 2). ....	66
<b>Tabla B.5</b> Espesor inicial de las pastillas de dispersiones de colofonia (Ensayo 1). ....	67
<b>Tabla B.6</b> Espesor inicial de las pastillas de dispersiones de colofonia (Ensayo 2). ....	67
<b>Tabla D.1</b> Diámetro final de las pastillas de dispersiones de colofonia (Ensayo 1). ....	72



---

<b>Tabla D.2</b>	Diámetro final de las pastillas de dispersiones de colofonia (Ensayo 2). .....	72
<b>Tabla D.3</b>	Espesor final de las pastillas de dispersiones de colofonia (Ensayo 1). .....	73
<b>Tabla D.4</b>	Espesor final de las pastillas de dispersiones de colofonia (Ensayo 2). .....	73
<b>Tabla D.5</b>	Variación de diámetro de las diferentes pastillas de dispersiones. ....	74
<b>Tabla D.6</b>	Variación de espesor de las diferentes pastillas de dispersiones. ....	74





---

## INTRODUCCIÓN

La utilización de recursos forestales no madereros con percepción ecológica sustentable, permite la generación de substratos y materiales con interesantes propiedades. La resina de pináceas, incluyendo la colofonia, es un producto natural de extraordinaria importancia por su versatilidad y variación composicional, que permite obtener derivados con elevado valor agregado (tecnológico e intelectual) y extensa aplicabilidad.

Esta resina, compuesta aproximadamente por un 90 % de ácidos resínicos (series abietano-pimarano) y un 10 % de sustancias no resinosa, es un material de partida ecológicamente sustentable que puede utilizarse en la generación de intermediarios avanzados para procesos de química fina y farmacéutica. La resina y sus derivados se utilizan ampliamente en pinturas, barnices, mezclas impermeabilizantes, tintas para impresión, y para la generación de materiales poliméricos y películas con propiedades reológicas y químicas específica (Arteaga *et al*, 2009).

En vista de ello, se buscó mediante la formulación de dispersiones de colofonia modificada en parafina, evaluar las propiedades reológicas a fin de generar un aporte a futuras investigaciones que permitan el desarrollo de una economía verde con la utilización de nuevas tecnologías.

Esta investigación se encuentra estructurada en cuatro capítulos: el Capítulo I se refiere al planteamiento del problema, el objetivo general, los objetivos específicos y los argumentos que permitieron ratificar la importancia del tema tratado. En el Capítulo II, se expone el marco referencial que sustentó el estudio. El Capítulo III muestra la metodología detallada que permitió el logro de los objetivos propuestos y el Capítulo IV contiene el análisis y discusión de los resultados obtenidos. Por último, las conclusiones y las recomendaciones para este Trabajo Especial de Grado.



---

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Esta sección describe el problema en estudio, especificándose el propósito, la situación actual y deseada, además del objetivo general y los específicos de la investigación. Asimismo, se presentan las razones que justifican la investigación, las limitaciones y el alcance.

#### 1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

En la actualidad, el mundo se enfrenta ante una serie de cambios considerables que a falta de vocablos más precisos, han sido reunidos en el término de globalización, hay quienes para remarcar el carácter dinámico, corriente o actual de este proceso le mencionan como proceso de globalización. El tópico central de este concepto, es el aspecto que el desarrollo de nuevas tecnologías ejerce sobre este fenómeno, debido a que tal proceso se encuentra acompañado de la innovación continua a ritmo acelerado en múltiples ámbitos de la actividad humana, especialmente a nivel industrial, (Magallanes, R., 2012).

Por tal motivo, las empresas modernas con interés de ser competitivas, deben desarrollar la innovación, anticipándose a los posibles cambios del mercado e intereses y reacciones del cliente, tomando en cuenta, las consecuencias de sus innovaciones y principales competidores. Es por ello, que en la actualidad la empresa moderna basa sus estrategias de innovación en la investigación, buscando así una mejora continua, logrando procesos, productos y nuevos servicios que puedan competir en el mercado nacional e internacional, resolviendo las diferentes eventualidades que se presentan a diario, (Torres, M., 2010).

Las investigaciones en el sector forestal, se suele hablar del aprovechamiento de las masas boscosas, con claro énfasis en la madera, sin prestar atención a los



subproductos, (Encinas, O. *et al.*, 2007). Esto se debe a la importancia del estado venezolano de contar con recursos forestales que representan un inestimable potencial natural de gran calidad, donde alrededor de unas dieciséis millones de hectáreas (16.000.000 Ha) del territorio venezolano representan las áreas forestales, (Ministerio del Poder Popular para el Ambiente, 2008).

Una de las especies aprovechadas es el pino resinero, dichos árboles son una importante fuente de materia prima para la industria química, el cual mediante extracciones periódicas, puede suministrar productos que se encuentran ocultos en su estructura fundamental o que circulan por su interior en la savia, de la cual se obtiene la miera, importante fuente de obtención de la colofonia, (Mena, M., 2009).

La colofonia, es una resina que se obtiene de la trementina o de la madera de tocones de los pinos y contiene principalmente ácidos resínicos con pequeñas cantidades de compuestos no ácidos. Su color varía de amarillo pálido a rojo más o menos oscuro; según la fuente, método de recolección y tratamiento, es translúcida, frágil a temperatura ambiente y tiene ligero olor y sabor, parecidos a los de la trementina. Es insoluble en agua, pero se disuelve bien en la mayoría de las grasas y disolventes orgánicos, entre ellos los alcoholes, los éteres, el benceno y el disulfuro de carbono. Se utiliza a veces tal como se extrae y entonces se denomina colofonia sin modificar. Generalmente, recibe tratamiento químico, como hidrogenación, polimerización, esterificación, descarboxilación, entre otros, para aumentar la estabilidad y mejorar sus propiedades físicas. Estos tratamientos modifican la configuración de la colofonia y los productos se llaman colofonias modificadas. Las colofonias sin modificar y modificadas se pueden considerar como derivados de ácidos carboxílicos, (Arán, F., 2000).

Desde tiempos muy remotos, la colofonia ha servido para diferentes fines en la vida diaria, desde la producción de velas hasta la impermeabilización, es por ello que en la Edad Media se ha usado en recubrimientos, como última capa de muchos oleos sobre tela para su protección y, aun hoy, la mayoría de sus aplicaciones y las de sus derivados tienen que ver con su capacidad de formar una capa o barrera que ralentiza o



detiene la difusión de compuestos dañinos o de otros que se pretenden dosificar. En nuestros días, los derivados de la colofonia y las colofonias modificadas siguen manteniendo una gran importancia industrial.

Por lo antes expuesto, en cuanto a las características físicas y químicas de la colofonia, aunamos sobre las propiedades reológicas, ya que son de suma importancia para la formulación en el desarrollo, control de calidad, evaluación de la textura, caracterización de elastómeros, estabilización de emulsiones y suspensiones, para dar origen a nuevos productos, (Ramírez, J., 2006). Estas propiedades no solamente determinan el uso y el rendimiento en la industria, sino que inciden directamente sobre el precio en el mercado nacional e internacional.

En tal sentido, la presente investigación busca evaluar el comportamiento reológico de dispersiones de colofonia modificada, en solvente de bajo punto de fusión, a fin de solventar la falta de información acerca de este tipo de mezclas, ya que actualmente en el país no se cuenta con investigaciones acerca de ellas, para así, ser aprovechada para un posterior uso en la industria venezolana.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.**

Debido a la búsqueda de innovación de la industria venezolana en los productos que ofrece a la población, surge la necesidad de nuevas investigaciones que proporcionen alternativas de uso de dispersiones de colofonia modificada, por lo que se busca evaluar sus propiedades reológicas con solventes de bajo punto de fusión a fin de expandir la línea de investigación existente.



### **1.2.1. Situación actual.**

Durante las últimas décadas, la falta de información acerca de las propiedades reológicas de las dispersiones de colofonia modificada, ha originado a que se encuentren limitadas las investigaciones en la formulación, creación y distribución de productos y en el diseño de nuevos procesos.

Debido a lo antes planteado, se está desaprovechando un recurso potencial, esto conlleva al desconocimiento de nuevas aplicaciones de las dispersiones de colofonia modificada con solventes de bajo punto de fusión en diversos campos como: farmacéutico, cosméticos, petrolero, fertilizantes, entre otros; lo que promueve a que los investigadores se enfoquen en el presente estudio.

### **1.2.2. Situación deseada.**

Disponer de propiedades reológicas de las dispersiones de colofonia modificada en solventes de bajo punto de fusión, que proporcionarán un conocimiento adicional en procesos de obtención de productos de interés comercial y amigables con el medio ambiente, lo que representa un importante avance en el proceso de innovación incentivando el desarrollo de futuros trabajos de investigación que persigan el mismo fin.

## **1.3. OBJETIVOS.**

### **1.3.1. Objetivo general.**

Evaluar las propiedades reológicas de las dispersiones de colofonia modificada en solvente de bajo punto de fusión, con la finalidad de una futura aplicación industrial.



### 1.3.2. Objetivos específicos.

1. Caracterizar la colofonia modificada y el solvente de bajo punto de fusión puros, a fin de determinar los grupos funcionales presentes.
2. Obtener una serie de dispersiones de colofonia modificada en el solvente de bajo punto de fusión a diferentes proporciones, con el fin de disponer los productos a evaluar.
3. Caracterizar las diferentes dispersiones de colofonia modificada, con el fin de comparar los grupos funcionales.
4. Determinar propiedades reológicas de las dispersiones de colofonia modificada, a fin de establecer la capacidad de deformación y fluir.
5. Estimar los costos de formulación de las dispersiones, con el fin de establecer la dispersión más económica.

### 1.4. JUSTIFICACIÓN.

La investigación tiene gran relevancia a nivel social y ambiental, porque representa el aprovechamiento de la materia orgánica disponible. En cuanto a la conveniencia, este proyecto beneficia a las empresas de cosméticos, farmacéutica, de fertilizantes, entre otras, porque se aprovecharía la información de las propiedades reológicas, posibilitando la formulación de productos más rentables.

Asimismo, tiene implicación práctica debido a que aporta una alternativa factible a los procesos de obtención de dispersiones de colofonia modificada, proporcionando un sustento a investigaciones futuras proyectando la imagen de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de Carabobo.

Finalmente, desde el punto de vista teórico, la investigación permite ampliar conocimientos referentes a la determinación y evaluación de propiedades reológicas



---

reforzando y complementando las nociones adquiridas durante la carrera en el área de investigación.

### **1.5. LIMITACIONES.**

Las limitaciones que se encontraron en el desarrollo de la investigación fueron la disponibilidad de la colofonia, debido a que determinó la cantidad de muestras para el estudio, a su vez, la disponibilidad de equipos de laboratorio necesarios para la ejecución de otras pruebas, limitó que la investigación se enfocara sólo en la determinación de dos propiedades reológicas; así como también, la falta de documentación bibliográfica sobre el rango de concentración en la formulación de las dispersiones, por ser un producto innovador.



---

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presentan las bases teóricas y trabajos e investigaciones realizadas, que fundamentan la investigación con el propósito de aportar elementos de gran utilidad para el logro y alcance de los objetivos del presente trabajo.

#### 2.1. ANTECEDENTES.

Arán, F. (2000). ***Síntesis y caracterización de poliuretanos termoplásticos que contienen resinas de colofonia y su aplicación como adhesivos.*** (Tesis doctoral). Universidad de Alicante. España. El objetivo de la investigación fue estudiar las propiedades de adhesión de los poliuretanos termoplásticos en solventes que contienen resinas de colofonia. Las propiedades adhesivas de los poliuretanos en general, no solamente están influenciadas por la naturaleza de los componentes utilizados durante su síntesis (macroglicol, isocianato y extendedor de cadenas), sino también por la incorporación de aditivos (cargas, isocianato reactivo, entre otros). Una de las carencias de estos adhesivos la constituye la ausencia adecuada de adhesión inicial. El estudio puso de manifiesto la mejora de las propiedades en general al incorporar la resina de colofonia en su estructura como parte del extendedor de cadena, la cual queda marcada en cuanto menor sea el grado de hidrogenación de la resina de colofonia utilizada. Dicha incorporación produce una mayor separación de fases entre los segmentos blandos y duros del poliuretano, provocando un aumento en su peso molecular que a su vez, incrementa la viscosidad de las disoluciones adhesivas lo que da lugar a mejores propiedades reológicas y mecánicas debido a que se obtiene mayor resistencia inicial en las uniones adhesivas. Este trabajo orienta en la metodología a utilizar en la presente investigación. La diferencia radica en que el actual trabajo está destinado únicamente a la evaluación de las propiedades reológicas de las dispersiones de colofonia y no hacia su interacción con polímeros.



Núñez, S., González, C. y C., Quintero. (2011). **Análisis del comportamiento reológico de una masilla asfáltica obtenida a partir de la resina de pino. (Publicación).** *Quebracho*. Vol. 19(1,2): 14-23. La investigación se basó en el análisis químico de los componentes fundamentales de las masillas utilizadas en la impermeabilización de edificaciones, donde a partir de las Normas Cubanas aprobadas por la Oficina de Normalización en Cuba, se evaluaron las propiedades reológicas de una masilla asfáltica obtenida a partir de la combinación de resina de pino, asfalto industrial 50/70 y material de relleno. Se tomaron tres muestras con diferentes porcentajes de cada uno de los componentes seleccionados para su obtención. Los resultados de las caracterizaciones arrojan que la muestra que cumple con los requisitos fue la combinación de 48-50% de resina de *Pinus caribaea var caribaea*, 32-34% de asfalto industrial de penetración 50/70, 8-10% de talco industrial y 4-6% de fibra de asbesto, debido a que los parámetros de calidad de la masilla asfáltica y las propiedades reológicas obtenidas son comparables con los parámetros de las masillas fabricadas en el país, teniendo valores de penetración de 107 dmm, una densidad de  $1,10 \text{ g/cm}^3$ , una ductilidad de 13 cm, un punto de reblandecimiento de  $48 \text{ }^\circ\text{C}$ , un punto de inflamación de  $79,4 \text{ }^\circ\text{C}$  y una permeabilidad de 0,0001 milidarcys. Dentro de las principales ventajas que tiene este producto respecto a los demás está la de ser obtenida a partir de la resina de pino, un producto forestal renovable y de producción nacional al igual que los demás componentes. Este antecedente contiene similitudes con la presente investigación, debido a que plantea el estudio de las propiedades reológicas de la resina del pino (colofonia). La metodología utilizada puede ser reproducida en la presente investigación. La diferencia radica en que el actual trabajo no se limita a la obtención de impermeabilizantes.

Hernández, C. y C., Vanegas. (2001). **Estudio de la cinética de la reacción de esterificación de colofonia, determinación de las condiciones de operación requeridas para la obtención de una resina con características comerciales y dimensionamiento de planta piloto. (Trabajo especial).** Facultad de Ingeniería. Universidad de la Sabana. Colombia. El objetivo de la investigación fue determinar experimentalmente la cinética de la reacción de esterificación de colofonia con glicerol,



para así establecer las condiciones óptimas de operación y etapas necesarias que permitieran obtener un éster comercial que cumpliera con los requisitos (número ácido, punto de ablandamiento y color) del mercado nacional de las gomas de mascar. La reacción de esterificación arrojó como resultado una mezcla de ésteres en los cuales el ácido abiético y sus isómeros sustituyeron los tres grupos hidroxilos del glicerol, unos parcialmente y otros completamente. De esta manera el estudio experimental de la cinética proporcionó ordenes de 0,45 respecto a la colofonia y 2,03 respecto al glicerol, indicando que la velocidad de reacción varió poco con la concentración del ácido y que depende mucho más de la concentración de glicerol. Así el orden total fue de 2,48. Se observó alto rendimiento en la reacción bajo las condiciones de operación siguiente: temperatura de operación:  $(260 - 270) ^\circ\text{C}$ , exceso en la cantidad de glicerol: 50%, catalizador: Zn metálico, concentración de catalizador: 0,01%, velocidad de agitación: 200 rpm y atmósfera Inerte  $\text{N}_2$  con  $P = 560 \text{ mm Hg}$ . El costo de producir 1 kg de éster de glicerol fue de USD 2,60, siendo USD 0,15 más económico que 1 kg de éster importado, por lo cual se puede considerar atractivo económicamente. Dicho trabajo de investigación aporta información acerca de los usos de la colofonia, lo cual sirve de apoyo para la presente investigación. La diferencia está en que no se desea dimensionar una planta piloto.

Tovar, E. (2010). ***Evaluación de las propiedades reológicas de la pulpa de frutas y productos derivados en una planta procesadora de jugos. (Trabajo especial).*** Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Universidad de Oriente. Venezuela. El objetivo de esta investigación se basó en la obtención de las propiedades reológicas de la pulpa de frutas y productos derivados en una planta procesadora de jugos, a los fines de mejorar el control de calidad de dichos productos, durante las operaciones de elaboración. Los datos para el análisis de viscosidad se obtuvieron mediante viscosimetrías de Copa Ford y Brookfield, y se caracterizaron y evaluaron los efectos de la temperatura sobre los parámetros reológicos de las diferentes pulpas de frutas. Los resultados obtenidos revelaron que la viscosimetría de Brookfield se aplica a fluidos tanto Newtonianos como no-Newtoniano, entre 0 y 25  $^\circ\text{C}$  las pulpas estudiadas exhibieron comportamiento reológico no-Newtoniano, tipo plástico de Bingham. En el



rango de temperatura estudiado, el índice de comportamiento de flujo de la pulpa A, fue máximo y el de la pulpa C, fue ligeramente superior a los de las pulpas B, D y E. Las dependencias del índice de consistencia y del esfuerzo cedente en función de la temperatura revelaron que al cambiar la temperatura, estos parámetros reológicos se pueden modificar más fácilmente en la pulpa C y D y más difícilmente en la pulpa A. La metodología para la evaluación y determinación de los parámetros reológicos realizados a las pulpas en este trabajo, sirve como modelo para la presente investigación. La diferencia está, en que su estudio se encuentra orientado a la comparación de pulpas de frutas y sus productos derivados.

Mechetti, M., Gómez, A., Balella, A. (2011). ***Propiedades reológicas de melados de caña de azúcar. (Publicación).*** *Investigación y Desarrollo*. Vol. 33: (2011), cet ISSN 1668-9178. Con el objeto de estudiar las características reológicas de muestras de melados de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) a las temperaturas de 20, 30, 40 y 50 °C, se tomaron muestras en donde se observó un comportamiento con una leve tixotropía que corresponde en todos los casos a un fluido pseudoplástico descrito adecuadamente por el modelo de Ostwald de Waele, a partir del cual se obtuvieron valores de índice de flujo  $n$ , menores que la unidad ( $0,88 \leq n \leq 0,97$ ), confirmando así la pseudoplasticidad y su disminución con el aumento de la temperatura. El índice de consistencia estudiado, aumentó con el contenido de sólidos y disminuyó con la temperatura. La viscosidad aparente, disminuye con el aumento de la temperatura y con la velocidad de deformación. Mediante la ecuación de Arrhenius se determinó la energía de activación con valores entre 32,6 y 49,1 kJ/mol. Se investigaron las propiedades viscoelásticas de estos melados para lo cual se realizaron estudios dinámicos oscilatorios en barrido de esfuerzo de corte y en barrido de frecuencia. También se realizaron estudios del comportamiento de los parámetros viscoelásticos  $G'$ ,  $G''$  y  $\text{tg}(\delta)$ , para así determinar la zona de viscoelástica lineal y se concluyó que las muestras presentan características viscoelásticas. La metodología para la evaluación y determinación de los parámetros reológicos realizados a los melados, sirve de apoyo para la presente investigación. La diferencia está, en que el actual trabajo se encuentra enfocado en las dispersiones de colofonia en solvente de bajo punto de fusión.

## 2.2. BASES TEÓRICAS.

### 2.2.1. Colofonia.

La colofonia es una resina natural. Desde el punto de vista químico, es una disolución de ácidos resínicos en terpeno. Se presenta como un sólido frágil, quebradizo y con tonalidades amarillentas, como se muestra en la Figura 2.1. Es soluble en ésteres, éteres e hidrocarburos aromáticos, alifáticos y clorados. Tiene un peso molecular promedio de 300 g/mol y una temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) de 30 °C, valor superior al que cabría esperar para su peso molecular, lo que puede ser debido a la rigidez de su estructura. Su punto de reblandecimiento (SP) está entre 70 y 80 °C y su punto de fusión (MP) entre 71 y 95 °C, (Mena, 2009).

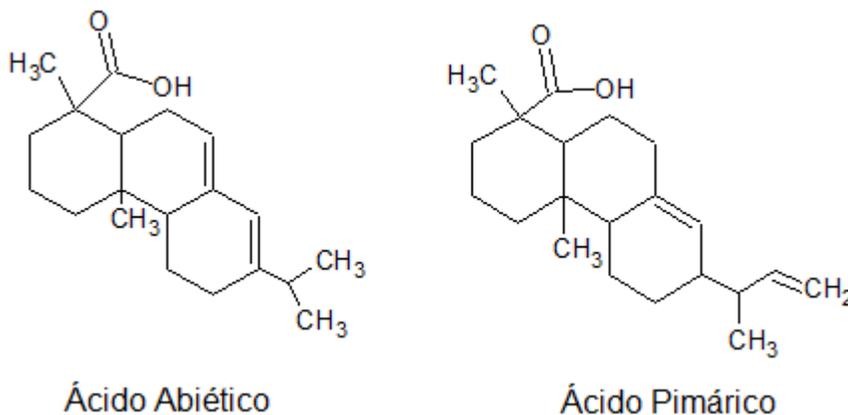


**Figura 2.1** Aspecto de la Colofonia.  
(Fuente: Mena, 2009).

### 2.2.2. Descripción química de la colofonia.

Los diferentes tipos de colofonia varían algo en su composición según la especie de pino de la cual provengan, pero todos son una mezcla compleja de ácidos orgánicos y materiales neutros. Los ácidos resínicos son ácidos monocarboxílicos hidrofenantrénicos alcoholados. La mayor parte de los ácidos resínicos presentan una doble insaturación y tienen como fórmulas empíricas  $C_{19}H_{29}COOH$ . Hay dos tipos de

ácidos resínicos: el tipo constituido por el ácido abiético y el correspondiente al pimárico. El ácido abiético se caracteriza por la presencia de un grupo isopropílico en la posición 7, mientras que el tipo pimárico tiene grupos vinilo y metilo en la posición 7. El ácido abiético tiene dobles enlaces conjugados en las posiciones 7-8 y 8<sup>a</sup> -9, (Hernández *et al.*, 2001).



**Figura 2.2** Estructura química del ácido abiético y del ácido pimárico.  
(Fuente: Hernández *et al.*, 2001).

Las reacciones de la colofonia forman dos grupos o tipos principales: las reacciones de los dobles enlaces y las que se realizan con intervención del grupo carboxílico. Las reacciones sobre el doble enlace incluyen la adición del anhídrido maléico del tipo de Diels-Alder, hidrogenación, desproporción y polimerización. Las reacciones en el grupo carboxílico dan origen a productos de importancia comercial, entre los que podemos mencionar la formación de sales, la reacción con las aminas para formar amidas, la esterificación, la reducción a alcoholes y la descarboxilación para dar origen a la formación de aceites de resina.

La colofonia es susceptible de oxidación por el aire, principal problema que se presenta durante la reacción de esterificación, y que se constituye como una propiedad desfavorable para muchas de sus aplicaciones.



### **2.2.3. Tipos de colofonia y su obtención.**

Dependiendo de la fuente de obtención, se denomina “colofonia de miera o trementina” (Gum Rosin) a la proporcionada por el árbol vivo, “colofonia de madera” (Wood Rosin) a la obtenida a partir de los tocones viejos de los pinos y “colofonia de Tall Oil” (Tall Oil Rosin) a la recuperada del líquido residual (“black liquor”) obtenido en el proceso Kraft de la industria papelera, (Mena, 2009).

#### **2.2.3.1 Colofonia de miera o trementina (Gum Rosin, GR).**

La miera o trementina se obtiene del árbol vivo practicándole incisiones. La miera se funde y se separa el agua, quedando un bálsamo que se filtra para eliminar los sólidos en suspensión. Está constituida por hidrocarburos terpénicos (30 %) y ácidos resínicos (70 %). Dentro de los hidrocarburos terpénicos, los más importantes son el  $\alpha$  y  $\beta$ -pineno, el silvestreno y el dipenteno. El  $\alpha$ -pineno se emplea en la obtención de ácido pinánico, para ésteres y plastificantes, y de alcanfor, también empleado como plastificante, (Mena, 2009).

Esta fracción formada por los hidrocarburos terpénicos constituye la esencia de trementina o aguarrás que se separa de la fracción ácida mediante destilación fraccionada, por arrastre con vapor de agua, aprovechando su mayor volatilidad. La fracción resultante, compuesta mayoritariamente por ácidos, constituye la colofonia, (Mena, 2009).

#### **2.2.3.2 Colofonia de madera (Wood Rosin, WR).**

Este tipo de colofonia se obtiene a partir de los tocones viejos de los pinos. Se cortan en piezas del tamaño de palillos y se someten a una extracción con un disolvente



apropiado (cetonas o hidrocarburos aromáticos o alifáticos); el extracto obtenido se fracciona y se obtiene:

- Colofonia cruda no volátil: tiene un color muy oscuro por lo que es necesario refinarla.
- Volátiles.
- Disolvente recuperado.

Su composición es muy similar a la de la colofonia de trementina, aunque existen ciertas diferencias, sobre todo en la fracción neutra; además, debido al proceso de refinado, este tipo de colofonia está exenta de ácido levopimárico, que isomeriza hacia la forma más estable, el ácido abiético, (Mena, 2009).

### **2.2.3.3 Colofonia de “Tall Oil” (Tall Oil Rosin, TOR).**

Es un subproducto de la industria papelera. Se recupera a partir del “black liquor”, un líquido residual obtenido a partir de la digestión de la madera mediante el proceso Kraft, que consiste en el tratamiento con NaOH y Na<sub>2</sub>S. Las sales sódicas solubles de lignina, colofonia y ácidos grasos se eliminan de la pulpa como una solución oscura. Los jabones de los ácidos grasos y resínicos flotan en la superficie de la mezcla, se retiran y se tratan con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> para liberar los ácidos. La mezcla, conocida como “crude tall oil”, se refina para eliminar olores y colores. Después se realiza un fraccionamiento para separar los ácidos resínicos de los ácidos grasos, (Mena, 2009).

### **2.2.4. Aplicaciones de la colofonia.**

Entre sus aplicaciones clásicas, en el empleo de colofonia como “sizer” de papel, se tiende a nuevas mezclas que mejoran las propiedades de impermeabilización. El “sizing” (proceso de relleno y ligera impermeabilización) del papel es otra aplicación



tradicional de la colofonia. En la búsqueda realizada de nuevas aplicaciones se han encontrado numerosos estudios sobre este campo. Se ha podido comprobar que la tendencia general es la búsqueda de nuevos aditivos o cambios en las condiciones de operación que permitan mejorar el proceso de “sizing”, para obtener un papel con buenas propiedades sin perjuicio económico, de ahí que se persiga mantener la utilización de esta familia de productos como tales agentes de “sizing”. Uno de estos casos corresponde al estudio de una etapa de malaxado del papel o “pulp beating” previo al tratamiento con una mezcla o “size” de alúmina y colofonia. Se comprueba que el malaxado produce un efecto negativo debido a la generación de fibras finas, ya que se favorece la formación de agregados y una distribución poco uniforme del “size”, (Mena, 2009).

Asimismo, la aplicación de la colofonia en adhesivos se mantiene estable, mejorándose últimamente su aplicación en adhesivos termoplásticos de poliuretano y EVA (etilen-vinil-acetato), donde es mejor utilizarla como reactivo que como mero aditivo.

Entre los trabajos disponibles en la bibliografía, destacan en número, con diferencia, los estudios para la aplicación de la colofonia como aglutinante o “tackifier” en adhesivos termoplásticos basados en poliuretano; mientras que entre los estudios más novedosos destacan su aplicación como agente formador de películas en ópticas, como biocida en la industria azucarera y como aditivo en las formulaciones de asfalto u hormigón.

Es necesario destacar que los adhesivos son una aplicación tradicional de la colofonia, donde se aprovecha sus características como “tackifier”, sobre todo en adhesivos en solución y en caliente (“hot-melt”), (Mena, 2009).

En los últimos años, se ha observado una evolución en las aplicaciones de la colofonia hacia campos de mayor complejidad tecnológica, relacionados con la preparación de polímeros, las aplicaciones en óptica y en la dispersión controlada de fármacos y fertilizantes. Así, por ejemplo, en óptica, la colofonia se utiliza como base orgánica para la formación de la película en la que se encuentra disperso el agente foto-sensible.



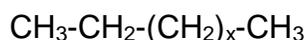
En general, los usos que consumen mayor volumen de colofonia comprenden la fabricación de jabones, pinturas y barnices, adhesivos y plásticos, papel y productos para su acabado, caucho y productos químicos. La colofonia experimenta transformaciones diversas durante estos procesos en que se realizan consumos extraordinarios. La colofonia se usa en la industria y los mayores consumidores son la fabricación de papel (38%), caucho sintético (13%), adhesivos (12%), y recubrimientos protectores (10%). El resto está repartido entre tintas (8%), breas de madera (7%) y sus misceláneos (12%, incluyendo goma de mascar y aceite de colofonia), (Hernández *et. al*, 2001).

### 2.2.5. Parafina.

Las parafinas son hidrocarburos saturados procedentes de la destilación a vacío del petróleo y de las posteriores etapas de refinación a que son sometidas las fracciones o cortes para obtener los aceites lubricantes.

Desde el punto de vista químico, las parafinas provenientes del petróleo son hidrocarburos saturados, alcanos, en los que predominan principalmente las cadenas de carbono lineales con longitudes entre los C<sub>20</sub> y los C<sub>60</sub>, acompañadas de cadenas que presentan ramificaciones de C<sub>1</sub>-C<sub>6</sub> y ciclos saturados con 5 ó 6 átomos de carbono. Según la forma estructural de la cadena existen dos tipos de parafinas:

- Normal parafinas o de cadena lineal (n-parafinas): Son alcanos saturados cuya estructura molecular es prácticamente lineal. Su fórmula química es C<sub>n</sub>H<sub>2n+2</sub>, donde n>20.

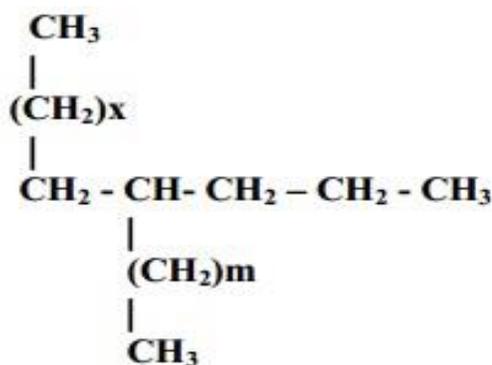


**Figura 2.3** Estructura molecular de parafinas de cadena lineal.  
(Fuente: Sánchez, 2003).

Siendo “x” la longitud de la cadena, que varía aproximadamente de 17 a 57. Sus pesos moleculares están comprendidos entre los 280 y 840.

- Isoparafinas o de cadena ramificada: Son hidrocarburos saturados (alcanos) en cuya estructura molecular predominan las cadenas ramificadas. Estas ramificaciones están principalmente constituidas por radicales lineales, C1- C6, o bien ciclos de 5 ó 6 carbonos.

El esquema que se presenta a continuación es una simplificación de la estructura química de estas moléculas, referido a radicales de tipo lineal, (Sánchez, 2003):



**Figura 2.4** Estructura química de una parafina.  
(Fuente: Sánchez, 2003).

## 2.2.6. Tipos de parafina.

### 2.2.6.1 Parafinas macrocristalinas.

Son las parafinas de menor peso molecular. Sus puntos de fusión varían entre 40 y 70 °C, y en su estructura predominan las cadenas lineales (60-90%), por lo que forman cristales de gran tamaño en forma de aguja o planos.



### **2.2.6.2 Parafinas semimicrocristalinas.**

Son parafinas que proceden de cortes de destilación más pesados que las macrocristalinas, por lo que su contenido en cadenas lineales es inferior (40-60%), formando cristales de menor tamaño. Su punto de fusión varía entre 60 y 80 °C, siendo su viscosidad menor de 10 cSt a 100 °C.

### **2.2.6.3 Parafinas microcristalinas.**

Estas parafinas proceden del aceite obtenido al desasfaltar el residuo de vacío, siendo las de mayor peso molecular y menor contenido en cadenas lineales (menos del 30 %). Su menor linealidad conduce a que sus cristales sean de pequeño tamaño. Sus puntos de fusión son elevados, 70-90 °C, y su viscosidad a 100 °C es superior a 10 cSt.

### **2.2.6.4 Parafina blanda.**

Parafina que tiene una elevada penetración en el ensayo con aguja. Tienen esta característica las parafinas ricas en aceite y/o en isoparafinas, bien sea porque han sido insuficientemente desaceitadas, o porque proceden de un aceite que ha experimentado un proceso de craqueo o de hidrogenación severa, en el que las parafinas originalmente lineales fueron ramificadas.

### **2.2.6.5 Parafina refinada.**

Parafina bruta que ha sido sometida a algún proceso de acabado para mejorar el color: tratamiento con tierras decolorantes, percolación, entre otros. Son de color blanco-amarillento, (Sánchez, 2003).



## **2.2.7. Dispersiones.**

Las dispersiones son sistemas multifásicos, el cual contiene diversas fases, una considerada continua (el medio dispersante) y al menos una segunda fase finamente repartida, llamada fase dispersa. (Pérez, 2004).

### **2.2.7.1 Dispersiones sólidas.**

Una dispersión sólida se define como la dispersión de uno o más principios activos en un vehículo inerte al estado sólido, (Torrado, 1994).

## **2.2.8. Reología.**

La reología es una rama de la física que puede definirse como la ciencia de la deformación y el flujo de la materia, se ocupa preferentemente de la deformación de los cuerpos aparentemente continuos y coherentes, pero con frecuencia trata también de la fricción entre sólidos del flujo de polvos, e incluso de la reducción a partículas, o molienda.

El término deformación va asociado fundamentalmente a los sólidos, en cuanto a la estimación de textura, mientras que el término flujo obviamente va asociado a los fluidos, donde las variables reológicas viscosidad y consistencia, deben medirse frecuentemente en un laboratorio y deben ser controladas en los diferentes procesos a nivel industrial, (Chourio, 2003).

## **2.2.9. Propiedades Reológicas.**

Las propiedades reológicas de un fluido forman parte de los criterios esenciales en el desarrollo de productos en el ámbito industrial. Frecuentemente, ellas determinan las



propiedades funcionales de algunas sustancias e intervienen durante el control de calidad, los tratamientos (comportamiento mecánico), el diseño de operaciones básicas como bombeo, mezclado y envasado, almacenamiento y estabilidad física, e incluso en el momento del consumo (textura).

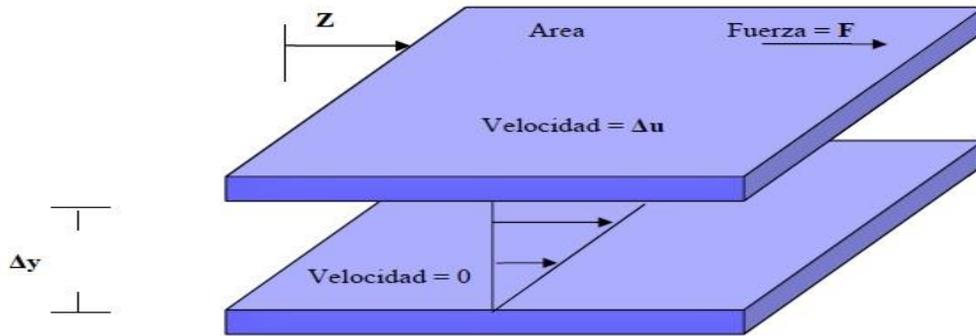
Las propiedades reológicas se definen a partir de la relación existente entre fuerza o sistema de fuerzas externas y su respuesta, ya sea como deformación o flujo. Todo fluido se va a deformar en mayor o menor medida al someterse a un sistema de fuerzas externas, (Tovar, 2010).

### **2.2.9.1 Viscosidad.**

La viscosidad es la propiedad del líquido que define la magnitud de su resistencia debido a las fuerzas de cizalla en su interior, siendo la propiedad del líquido que más influye en las características de flujo. Un fluido no resiste la distorsión permanente sino que cambia su forma. Cuando se le somete a una tensión, el fluido tenderá a deformarse, es decir, fluirá, aumentando la velocidad del flujo al aumentar la tensión ejercida. Los diferentes fluidos presentan diferentes grados de resistencia al movimiento existente entre las capas internas del fluido.

#### **2.2.9.1.1 Análisis de las fuerzas viscosas.**

Como lo planteamos en el inciso anterior la viscosidad es la resistencia que una sustancia presenta para fluir libremente, y el resultado de la fricción interna que se genera entre las capas internas del líquido. (Figura 2.5):



**Figura 2.5** Esquema del perfil de velocidad en un líquido utilizado para definir la viscosidad. (Fuente: Chourio, 2003).

Considérese un fluido contenido entre dos láminas infinitas y paralelas, separadas por una pequeña distancia  $\Delta y$ , como se muestra en la Figura 2.5. Al aplicar una fuerza ( $F$ ) sobre la lámina superior; ésta se mueve en la dirección de la fuerza aplicada, paralelamente a la lámina inferior. La velocidad de la lámina superior es constante  $\Delta u$ , mientras que la lámina inferior se mantiene estacionaria. Entre las dos láminas, el fluido está constituido por varias capas, cada una moviéndose en la dirección  $Z$ . La capa superior del fluido en contacto con la lámina se mueve a una velocidad  $\Delta u$ ; mientras que la siguiente capa de debajo se mueve a una velocidad ligeramente inferior debido a la viscosidad (o fricción) entre capas; el movimiento se sigue transmitiendo, pero cada vez más lentamente; hasta la capa de líquido que se encuentra en contacto con la lámina del fondo (la cual se encuentra parada), (Chourio, 2003).

### 2.2.9.1.2 Influencia de la temperatura en la viscosidad.

En la mayoría de los líquidos y suspensiones se ha observado una disminución de la viscosidad con el incremento de la temperatura. Se ha comprobado que la disminución de la viscosidad puede deberse a dos efectos: a) Disminución de la viscosidad del medio dispersante. B) Debilitamiento de las estructuras formadas por las partículas al aumentar la temperatura, (Alfonso *et. al.*, 2008).



Ahora bien, existen varios modelos que permiten evaluar la variación de la viscosidad de un líquido al cambiar la temperatura. Sin embargo la ecuación de Arrhenius (ecuación 2.1) es la más usada para determinar el efecto que tiene la temperatura sobre la viscosidad.

Ecuación de Arrhenius:

$$k = A \cdot e^{\left(\frac{E_a}{R \cdot T}\right)} \quad (2.1)$$

(Fuente: Tovar, 2010).

Dónde:

k: entidad cinética equivalente a viscosidad dependiente de la temperatura ( $\mu$ ).

A: factor o constante preexponencial.

Ea: energía de activación (J/mol).

R: constante universal de los gases (8,314 J/mol $^{\circ}$ K).

T: temperatura absoluta (K).

Como se ve en la ecuación, la viscosidad disminuye con la temperatura. Esto es debido al hecho de que, conforme aumenta la temperatura, las fuerzas viscosas son superadas por la energía cinética, dando lugar a una disminución de la viscosidad. Por este hecho se deben extremar las precauciones a la hora de medir la viscosidad, teniendo en cuenta que la temperatura debe permanecer prácticamente constante, (Tovar, 2010).

### 2.2.9.2 Esfuerzo de corte.

Se define el esfuerzo de corte o cizalla ( $\tau$ ) como la fuerza por unidad de área necesaria para alcanzar una deformación dada (ecuación 2.2). La unidad de esta magnitud más comúnmente utilizada es el Pascal (Pa):

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (2.2)$$

(Fuente: Tovar, 2010)



Dónde:

$\tau$ : es el esfuerzo de corte (Pa).

$F$ : es la fuerza (N).

$A$ : es el área (m<sup>2</sup>).

Por otra parte típicamente hablando en flujos de fluidos, el significado de  $\tau$  equivale a la velocidad de flujo de cantidad de movimiento por unidad de área la cual tiene unidades de (N/m<sup>2</sup>), (Tovar, 2010).

### 2.2.9.3 Velocidad de deformación.

La velocidad de deformación ( $\dot{\gamma}$ ) se define como el cambio de velocidad  $v$  a través de la distancia  $h$  entre dos platos (ecuación 2.3). Tiene como unidad el inverso del tiempo, donde el más comúnmente usado es el s<sup>-1</sup>. La velocidad de corte se incrementa a medida que la velocidad de la placa superior aumenta y la distancia entre las placas se hace más pequeña (Ver Figura 2.6)

$$\gamma = \frac{\partial v}{\partial h} \quad (2.3)$$

(Fuente: Tovar, 2010)

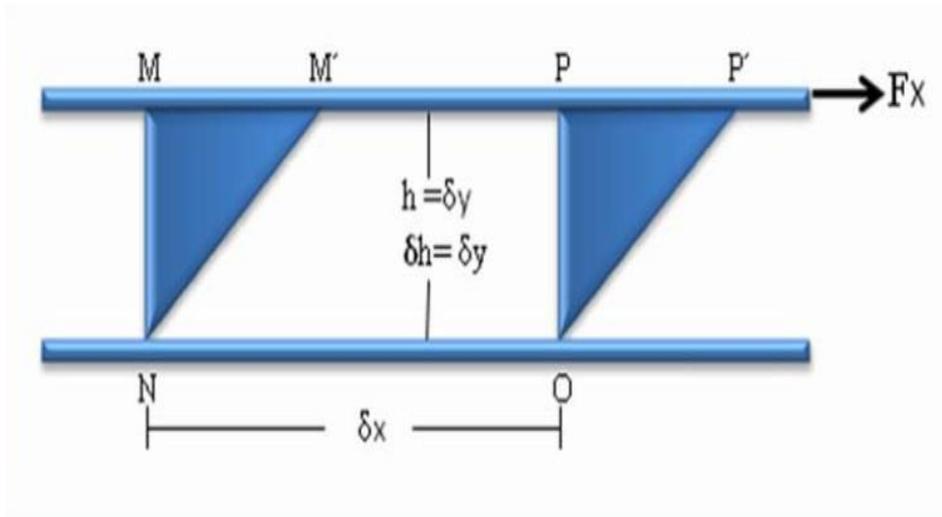
Dónde:

$\gamma$ : velocidad de corte (s<sup>-1</sup>).

$\partial v$ : diferencial de velocidad (m/s).

$h$ : distancia entre las placas (m).

Por otro lado, el fluido entre las placas resiste el movimiento de la placa superior, y esta resistencia al flujo es determinada por la viscosidad del fluido ( $\mu$ ), (Figura 2.6):



**Figura 2.6** Distribución de velocidad.  
(Fuente; Tovar, 2010).

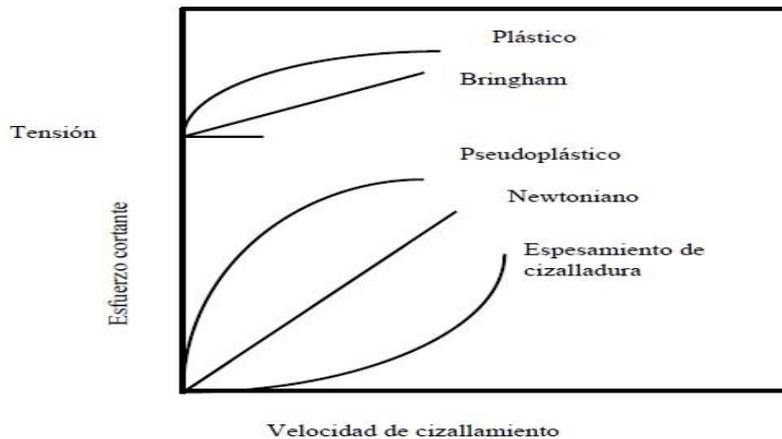
Siendo  $F_x$  la fuerza aplicada,  $\overline{MM'}$ ,  $\overline{PP'}$ ,  $\overline{NO}$  las distancias entre dos puntos respectivos;  $\delta y$  y  $\delta x$  representan los diferenciales de  $y$  y  $x$ , respectivamente, (Tovar, 2010).

### 2.2.10. Clasificación de los fluidos según su comportamiento reológico.

De acuerdo a su comportamiento reológico (que es el comportamiento o respuesta de un líquido frente a una fuerza o esfuerzo aplicado), los fluidos se han dividido en newtonianos y no newtonianos; los primeros (típicamente el agua) son los que representan una relación proporcional entre el esfuerzo de cizallamiento o esfuerzo cortante aplicado ( $\tau$ ) y la rapidez de corte o rapidez de deformación ( $\dot{\gamma}$ ), a través del coeficiente de viscosidad ( $\mu$ ) del fluido en cuestión.

En el caso de los fluidos no newtonianos no obedecen a la ley de Newton; en su lugar, la relación entre el esfuerzo cortante y el gradiente de deformación es no lineal. Para estos materiales la razón esfuerzo cortante a gradiente de deformación, no es constante sino por el contrario cambia con el gradiente de deformación y se conoce como viscosidad aparente. Estos fluidos tienen una estructura compleja, en la cual

intervienen, generalmente, dos fases (emulsiones, suspensiones) (Figura 2.7), (Chourio, 2003).



**Figura 2.7** Comportamiento reológico de los fluidos.  
(Fuente: Chourio, 2003).

### 2.2.10.1 Fluidos newtonianos.

Un fluido Newtoniano se caracteriza por cumplir la Ley de Newton de la viscosidad, es decir, que existe una relación lineal entre el esfuerzo cortante y la velocidad o tasa de deformación (ecuación 2.4):

$$\tau = \gamma \times \mu \quad (2.4)$$

(Fuente: Chourio, 2003).

Dónde:

$\mu$ : viscosidad dinámica del fluido (Pa·s).

Esto es debido a que el término  $\mu$  (viscosidad) es constante para este tipo de fluidos e independiente y del esfuerzo cortante aplicado. Hay que tener en cuenta también que la viscosidad de un fluido Newtoniano no depende del tiempo de aplicación del esfuerzo,



aunque sí puede depender tanto de la temperatura como de la presión a la que se encuentre.

### **2.2.10.2 Fluido no-newtoniano.**

Un fluido no-Newtoniano es aquel cuya viscosidad (resistencia a fluir) varía con la velocidad de deformación o cizallamiento que se le aplica; es decir, se deforma en la dirección de la fuerza aplicada. Como resultado, un fluido no-Newtoniano no tiene un valor de viscosidad definido y constante, a diferencia de un fluido Newtoniano.

## **2.2.11. Técnicas de caracterización físico-químicas.**

### **2.2.11.1 Espectroscopía de Infrarrojo (FT-IR).**

Es una de las técnicas más empleadas para la caracterización de compuestos o de especies adsorbidas sobre ellos y tiene el poder de señalar los grupos funcionales activos. Las sustancias orgánicas e inorgánicas, además de absorber luz en la región visible y ultravioleta, también absorben energía en la región infrarroja del espectro electromagnético.

Esta radiación no presenta suficiente energía para producir la excitación de los electrones, solo permite que los átomos y grupos funcionales de los compuestos vibren alrededor de los enlaces covalentes que los unen. Las vibraciones son cuantitativas y a medida que ocurren, los compuestos absorben energía infrarroja en regiones específicas del espectro (Rubinson & Rubinson, 2001).

La característica más resaltante de la espectroscopía infrarroja, es la posibilidad de identificar los grupos funcionales de un compuesto. Sin embargo, hay que señalar que es una técnica destructiva, ya que la muestra debe ser preparada mezclándola con KBr (Conley, 1980, citado por García, 2009).



---

## CAPÍTULO III

### MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se describen las actividades y metodología desarrollada para obtener, clasificar y comprender la información de interés con el objeto de dar cumplimiento a los objetivos planteados en la presente investigación.

#### 3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.

En esta sección se define el tipo de investigación y se describe la metodología empleada para alcanzar y desarrollar los objetivos planteados, detallando los distintos pasos que se llevarían a cabo, así como también las técnicas y herramientas a utilizar.

La investigación es **experimental**, que se caracteriza fundamentalmente por la manipulación y control de variables que ejerce el investigador durante el experimento. (Arias, 2006). Se prepararán muestras que serán analizadas y estudiadas con la ayuda de la bibliografía para llegar a las mejores condiciones de las dispersiones.

Considerando la afirmación, la investigación en cuanto a la metodología es experimental ya que se aplicarán conocimientos adicionales de técnicas de caracterización, para así evaluar las propiedades reológicas de las muestras.

El diseño de la investigación según el nivel de conocimiento científico abordado es **explicativo**, debido a que se encarga de buscar el por qué de los hechos, mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto (Arias, 2006), puesto que se determinarán y compararán los grupos funcionales presentes en las diferentes dispersiones de colofonia modificada.

El enfoque de la investigación es **cuantitativo**, ya que se utilizarán instrumentos de medición y comparación que proporcionarán datos, cuyo estudio requiere el uso de

modelos matemáticos y de la estadística (*Hurtado et al.*, 1998), basándose en evaluar el proceso de determinación de las propiedades reológicas.

La sistematización y expresión de los resultados responden al método analítico-sintético, donde se descomponen e identifican los elementos del problema y luego se establecen explicaciones a partir de las relaciones entre dichos elementos.

### **3.2. DESARROLLO SISTEMÁTICO DE LA INVESTIGACIÓN.**

A continuación se presentan los detalles de la metodología seguida para dar cumplimiento a cada objetivo planteado en el presente trabajo de investigación.

#### **3.2.1. Caracterización de la colofonia modificada y el solvente de bajo punto de fusión puros.**

##### **3.2.1.1 Espectroscopía de infrarrojo.**

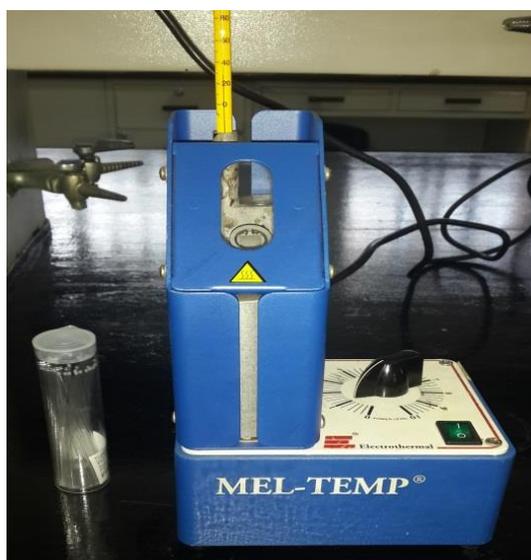
La materia prima constituida por la colofonia modificada y como solvente de bajo punto de fusión la parafina sólida comercial, se trituraron y mezclaron con bromuro de potasio (KBr), para posteriormente formar dos pastillas, las cuales se analizaron y caracterizaron por las técnicas de espectroscopía de FT-IR, en un espectrofotómetro marca SHIMADZU, modelo FT-IR – 8400S, con el fin de determinar los grupos funcionales presentes en cada uno. (Figura 3.1).



**Figura 3.1** Espectrofotómetro Infrarrojo marca Shimadzu.

### 3.2.1.2 Temperatura de reblandecimiento.

Para determinar la temperatura de reblandecimiento, se añadió pequeñas porciones de muestra en tres capilares, los cuales se introdujeron en un fusiómetro marca Electrothermal, modelo MEL-TEMP 1102D. (Figura 3.2), y se registró la temperatura inicial de reblandecimiento (cuando aparece la primera gota en el capilar) y la temperatura final (cuando se funde completamente la muestra).



**Figura 3.2** Fusiómetro marca Electrothermal, modelo MEL-TEMP 1102D.

### 3.2.2. Obtención de una serie de dispersiones de colofonia modificada en el solvente de bajo punto de fusión a diferentes proporciones.

Para preparar las dispersiones se trituraron las muestras de colofonia modificada y de parafina sólida, seguidamente se pesaron en una balanza digital marca Denver Instrument, modelo M-220, (max 220g, min 0,01g, d=0,0001g) las cantidades requeridas según la composición, luego se trasvasó la parafina a envases de vidrio de 150 mL los cuales se colocaron en una plancha de calentamiento, marca Thermolyne, modelo Cimarec 2 SP46925 ((150-538)°C - (100-1000)rpm - 120 VAC - 75 WATTS - 50/60 HZ - 7"x7") donde se esperó se fundieran para agregar la masa de colofonia

respectiva, se procedió a mezclar con la ayuda de una paleta de madera hasta obtener una mezcla homogénea. Luego se dejó enfriar y solidificar a temperatura ambiente.

En la Tabla 3.1 se muestran las proporciones de colofonia modificada y parafina sólida, utilizados respectivamente para la preparación de cada dispersión con una masa total de muestra de 100 g.

**Tabla 3.1.** Dispersiones preparadas.

Dispersión N°	Porcentaje en peso de colofonia %p/p	Porcentaje en peso de parafina %p/p	Masa de colofonia pesada ( $m_C \pm 0,0001$ ) g	Masa de parafina pesada ( $m_P \pm 0,0001$ ) g	Masa total de la dispersión ( $m_D \pm 0,0002$ ) g
1	10	90	10,1380	90,7589	100,8969
2	20	80	20,1248	80,2895	100,4143
3	40	60	40,0940	60,9037	100,9977
4	50	50	50,6547	50,3510	101,0057
5	60	40	60,1163	40,5484	100,6647
6	80	20	80,1042	20,5603	100,6645



**Figura 3.3** Montaje experimental para la preparación de las dispersiones.



### **3.2.3. Caracterización de las diferentes dispersiones de colofonia modificada.**

A fin de determinar los grupos funcionales presentes en las dispersiones, se procedió a caracterizarlas, para cada composición experimental, haciendo uso de la técnica FT-IR expuesta en la sección 3.2.1.1.

Se midió a presión atmosférica la temperatura de reblandecimiento utilizando la misma técnica de la sección 3.2.1.2, para comparar el comportamiento de la viscosidad entre las dispersiones.

### **3.2.4. Determinación de las propiedades reológicas de las dispersiones de colofonia modificada.**

La determinación de los parámetros reológicos se llevó a cabo preparando dos experimentos utilizando muestras de cada dispersión para realizar una comparación y determinar cuál de ellas arrojó los mejores resultados en las propiedades reológicas y cuya composición es la óptima.

Para determinar la influencia de la variación de la composición en las dispersiones preparadas, se llevaron a cabo diferentes pruebas en las cuales se determinaron los parámetros reológicos (determinación de extensión y punto de reblandecimiento).

#### **3.2.4.1 Determinación de extensión.**

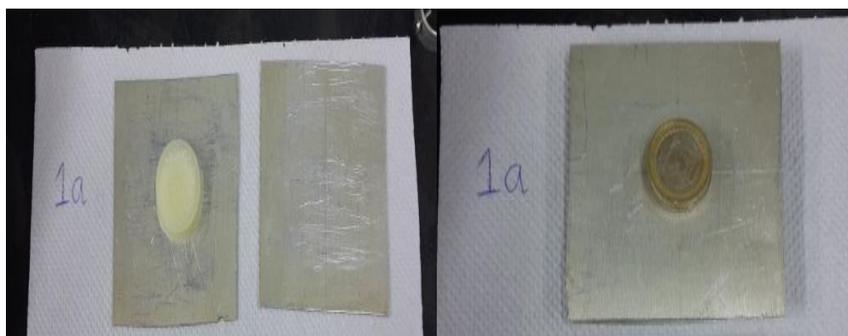
En este experimento se preparó una pastilla por cada dispersión, se añadió a un envase de vidrio de 100 mL una cantidad de muestra sólida de la dispersión y se fundió en la plancha de calentamiento mencionada en la sección 3.2.2, luego se colocó en un molde de goma (Figura 3.4) donde se dejó enfriar a temperatura ambiente. Al estar

sólida se procedió a tomar medidas físicas: masa, diámetro y espesor. El procedimiento se repitió para las demás dispersiones.



**Figura 3.4** Molde de goma para hacer pastillas de dispersiones.

Una vez formadas las pastillas, se procedió a determinar la capacidad de extensión, colocando en dos placas de aluminio (ancho: 7,960 cm, largo: 8,020 cm y espesor: 0,160 cm) una pastilla (Figura 3.5), situando en la placa superior un peso aproximado de  $P = 0,3028$  N. Luego se introdujo la muestra por un tiempo de 45 min a una estufa Gravity Convection Oven, modelo 16, marca PRECISION (Figura 3.6) ajustada a una temperatura  $T = 55$  °C.



**Figura 3.5** Pastillas de dispersiones sometidas a ensayo.

Transcurrido el tiempo, se procedió a retirarla y dejar enfriar; se tomaron nuevamente medidas físicas a fin de determinar la extensión de la muestra.



**Figura 3.6** Estufa Gravity Convection Oven, modelo 16, marca Precision.

Utilizando un diseño factorial, tipo  $6^2$ , se evaluó la influencia de la composición de las dispersiones sobre las variables de respuesta diámetro y espesor. El tratamiento de los datos se llevó a cabo mediante el Software Estadístico STATGRAPHICS Centurion XVI.II versión 16.2.04, Edición: Evaluación, año 2011.

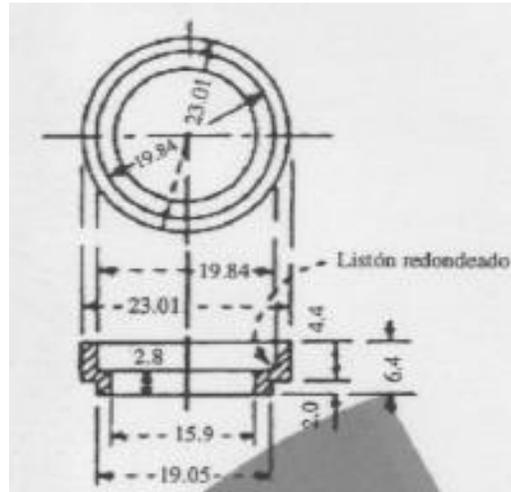
Se realizaron dos réplicas del experimento lo cual permitió corroborar la exactitud en la influencia de la composición en el comportamiento de los parámetros de respuesta.

#### **3.2.4.2 Determinación del punto de reblandecimiento.**

Se realizó una exhaustiva investigación acerca de las normas COVENIN para ejecutar la prueba específica con la finalidad de determinar el punto de reblandecimiento, según la norma Covenin 419:1997. Materiales Bituminosos. Punto de Reblandecimiento. Método de anillo y bola.

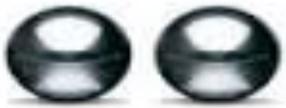
Para la ejecución de dicho ensayo, se solicitó la colaboración al Laboratorio de Procesos de Fabricación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo, para la realización de la pieza necesaria, la cual se realizó a base de aluminio, siguiendo los siguientes parámetros de diseño exigidos por la norma Covenin 419:1997:

- **Dos anillos con borde:** a base de aluminio cuyas dimensiones corresponden a las indicadas en la Figura 3.7:



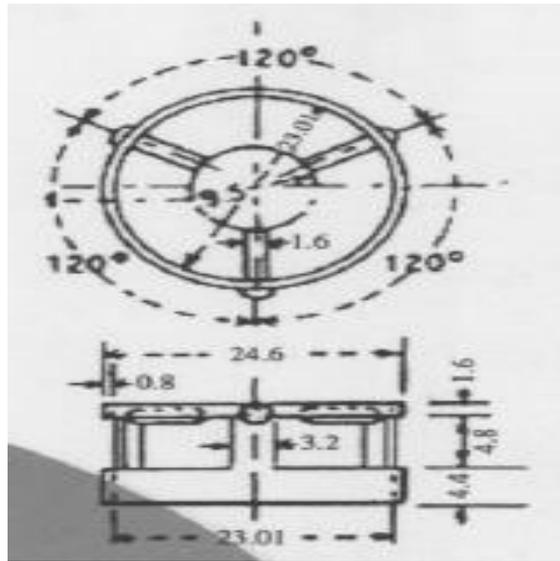
**Figura 3.7** Anillos con borde.  
(Fuente: Norma Covenin 419:1997).

- **Dos bolas de acero:** las cuales deben tener un diámetro de 9,53 mm y un peso comprendido entre 3,45 y 3,55 gramos.



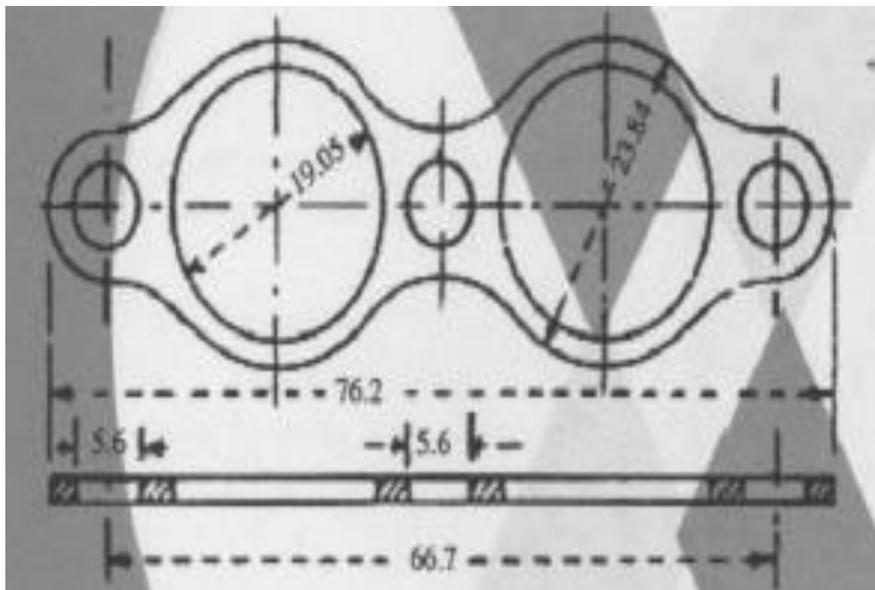
**Figura 3.8** Bolas de acero.

- **Centrador de bola:** es una guía o dispositivo que permite centrar la bola, construido de aluminio con la dimensiones indicadas en la Figura 3.9:

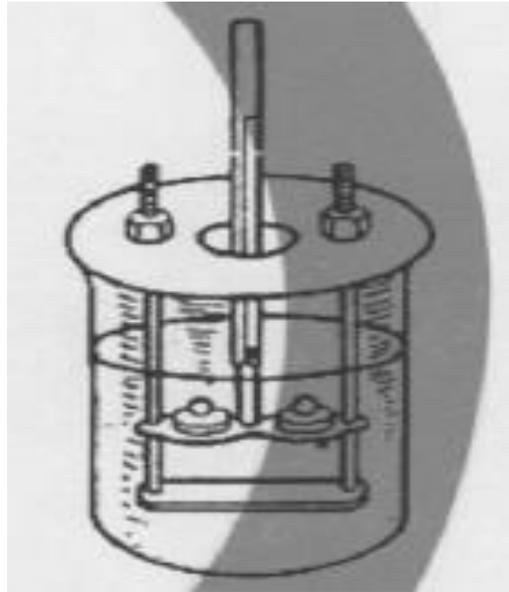


**Figura 3.9** Centrador de bola.  
(Fuente: Norma Covenin 419:1997).

- **Dos porta anillos:** los anillos se deben soportar mediante un porta anillos de aluminio, Figura 3.10, el cual se coloca en la forma ilustrada en la Figura 3.11.



**Figura 3.10** Porta anillos.  
(Fuente: Norma Covenin 419:1997).



**Figura 3.11** Modelo de ensamblaje.  
(Fuente: Norma Covenin 419:1997).

Los anillos se deben colocar en posición horizontal a 25,4 mm de distancia entre la parte inferior de éstos y la cara superior de la chapa inferior del porta anillos. La distancia entre la chapa inferior del porta anillos y el fondo del baño no debe ser menor a 12,7 mm ni mayor a 19,05 mm. La profundidad del líquido en el baño deber ser de 101,6 mm como mínimo.

- **Un termómetro:** cuya selección depende de si el ensayo se realiza a bajas o altas temperaturas. Se debe sujetar en forma tal que la parte inferior del bulbo quede al mismo nivel de la parte inferior de los anillos, con una separación de 12,7 mm entre el bulbo y los anillos, sin que haya contacto con ninguno de ellos.

Para la determinación, se colocó cada muestra de las dispersiones en dos anillos sumergidos en un baño de agua destilada, ajustando la temperatura a la condición deseada, Tabla 3.2, y se registró el tiempo en que descendieron dos bolas de acero.



**Tabla 3.2.** Condiciones de operación del ensayo de punto de reblandecimiento.

Norma Covenin 419:1997.

Parámetros de operación	Ensayo N° 1	Ensayo N° 2	Ensayo N° 3
Temperatura de baño: (°C)	40	50	60
Tiempo máximo de espera: (s)	900		

Variable a medir: tiempo en que descienden las bolas de acero (s)

Bajo el mismo propósito, se hizo uso de un diseño factorial, tipo 6<sup>1</sup> para la ejecución del montaje correspondiente al ensayo a fin de recolectar la data.

### 3.2.5. Estimación de los costos de formulación de las dispersiones.

Este objetivo se llevó a cabo mediante la solicitud de cotizaciones a proveedores y revisión de precios en mercado nacional e internacional. Para tal fin, se analizó la información suministrada, obteniéndose así la relación de los costos de los mismos.

#### 3.2.5.1 Estimación de costos generados por la compra de materia prima.

Estuvo basada en todos aquellos costos asociados a la adquisición de las materias primas.

#### 3.2.5.2 Determinación del costo de cada dispersión.

Se utilizó la ecuación 3.1 para determinar el costo de la materia prima según la cantidad requerida de acuerdo a la Tabla 3.1, estimando el costo total de formulación para cada dispersión.

$$C_m = C_g \times M_m \quad (3.1)$$



Dónde:

$C_m$ : costo del material (Bs).

$C_g$ : costo del material por gramo (Bs/g).

$M_m$ : masa del material (g).

Finalmente el costo de la formulación viene dado por la ecuación 3.2:

$$C_F = C_{S1} + C_{S2} \quad (3.2)$$

Dónde:

$C_F$ : costo de formulación de dispersión (Bs.)

$C_{S1}$ : costo de la colofonia modificada (Bs.)

$C_{S2}$ : costo de la parafina solida (Bs.)

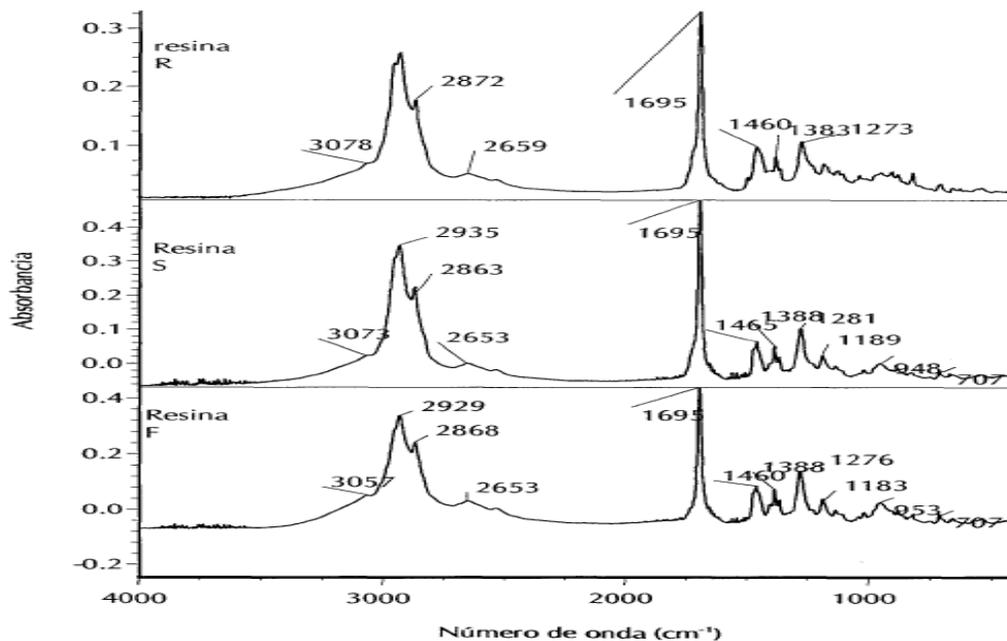
## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se presentan los resultados de los objetivos siguiendo la metodología planteada, así como también, se encuentran los análisis realizados a dichos resultados.

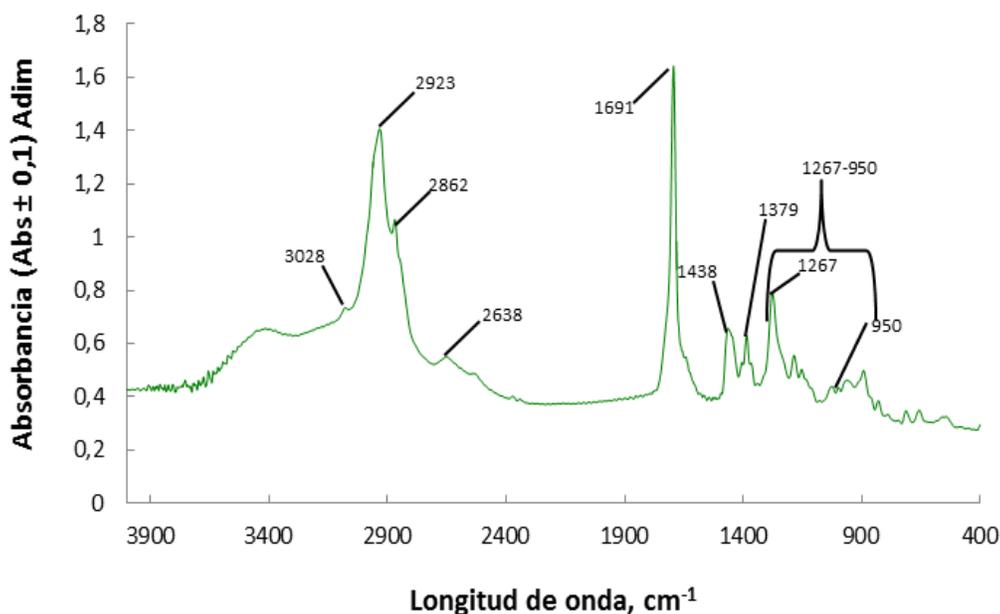
#### 4.1. Caracterización de la colofonia modificada y el solvente de bajo punto de fusión puros.

La naturaleza química de la resina de colofonia modificada y la parafina se determinaron mediante espectroscopía FTIR. En la Figura 4.1 se muestran los espectros FTIR de tres resinas de colofonia: colofonia, colofonia parcialmente hidrogenada y colofonia altamente hidrogenada. Los espectros IR de las tres resinas indican que son bastante similares desde el punto de vista químico. Las diferencias en cuanto al grado de hidrogenación no son apreciables mediante FTIR, (Arán, 2000).



**Figura 4.1** Espectros FTIR patrones de resinas de colofonia, colofonia parcialmente hidrogenada y colofonia altamente hidrogenada. (Fuente: Arán, 2000).

Dicha información, sirve de patrón para comparar con la colofonia utilizada en el presente trabajo.



**Figura 4.2** Espectro FTIR de colofonia modificada utilizada.

A partir de la información FTIR sobre los patrones espectroscópicos típicos para mezcla de ácidos abietano-pimarano en la colofonia patrón, se detecta en la zona 3400 – 2400  $\text{cm}^{-1}$ , la absorción ancha de O-H en ácido carboxílico, en la Figura 4.2 se pueden observar a 3028  $\text{cm}^{-1}$  que coinciden con las reportadas por Arán, (2000). En la zona 3300 – 2700  $\text{cm}^{-1}$  se detectan las bandas correspondientes a vibraciones de C-H (2923 y 2862  $\text{cm}^{-1}$ ), según Arteaga *et al.*, (2009).

La banda a 1691  $\text{cm}^{-1}$  es característica de la vibración de tensión de C=O en ácido carboxílico, según Arán, (2000). La zona de vibración simétrica característica para el grupo  $\text{CH}_2 + \text{CH}_3$  se evidencia a 1460  $\text{cm}^{-1}$  (Arán, 2000), esto se comprueba con la presencia de una banda a 1438  $\text{cm}^{-1}$  en la Figura 4.2. Los grupos metilo  $-\text{CH}_3$ , se distinguen por las vibraciones simétricas a 1385 – 1366  $\text{cm}^{-1}$ , bandas que pueden solaparse a estructuras tipo ciclohexanos substituidos, esto se destaca en la Figura 4.2 con una banda a 1379  $\text{cm}^{-1}$ .

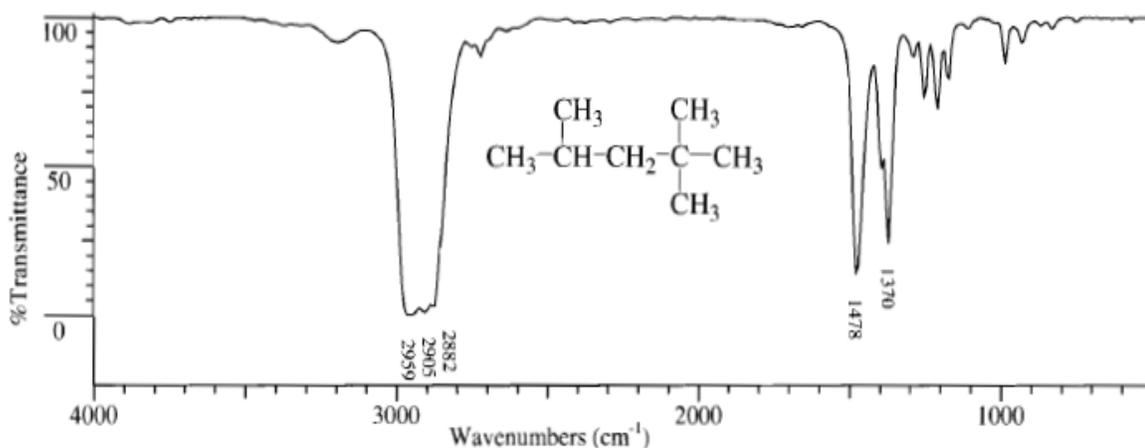


Según Arán, (2000), la región de  $1273 - 950 \text{ cm}^{-1}$  revela la existencia de varias bandas de intensidad variable de vibración y de deformación en el plano de anillos aromáticos. Bandas observables en  $1267 - 950 \text{ cm}^{-1}$  para la colofonia empleada.

La existencias de fragmentos olefínicos (cíclicos o exocíclicos, trans o cis) se avala por las bandas (más de 65 % de Intensidad) en la zona  $950 - 970 \text{ cm}^{-1}$  según Arteaga *et al.*, (2009).

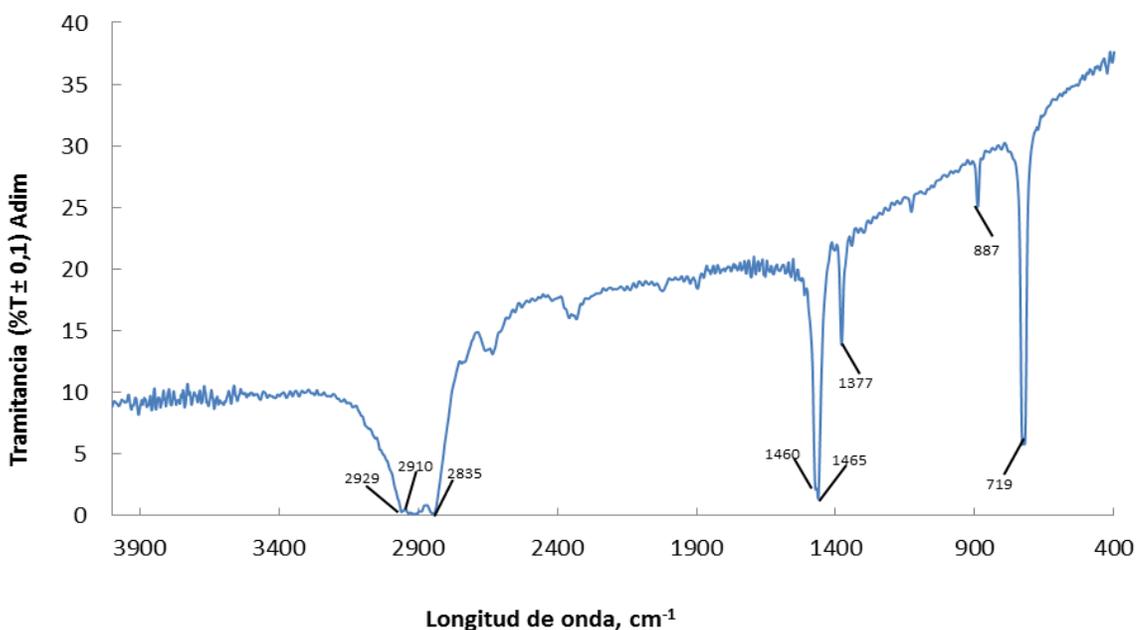
Las moléculas orgánicas, en este caso de la parafina, absorben la radiación infrarroja con frecuencias menores a  $100 \text{ cm}^{-1}$  y la convierten en energía de rotación molecular. Esta absorción puede ser cuantificada, así, un espectro de rotación molecular consiste en un conjunto de líneas discretas. Éstas moléculas orgánicas también absorben radiación infrarroja en un rango de  $10000-100 \text{ cm}^{-1}$  y la convierten en energía de vibración molecular, la cual también puede ser cuantificada, pero el espectro de vibración aparece como bandas y no como líneas, esto es debido a que un simple cambio de energía vibracional va acompañado de varios cambios de energía rotacional. Son estas bandas de energía vibracional-rotacional, particularmente las que se presentan entre  $4000 - 666 \text{ cm}^{-1}$  las que son de interés en este caso. Las frecuencias o longitudes de onda de absorción dependen de la masa relativa de los átomos, las constantes fuerzas de los enlaces y de la geometría que presenten dichos átomos (Kiemle, 2005).

En la Figura 4.3 se puede observar el espectro FTIR de la parafina de cadena ramificada estudiada por Kiemle, (2005). En la misma se observa claramente las tres regiones que presentan las respectivas bandas, es decir, las zonas de alta, intermedia y baja frecuencia, sirviendo esta de patrón.



**Figura 4.3** Espectro FTIR patrón de parafina de cadena ramificada.  
(Fuente: Kiemle, 2005).

Los hidrocarburos saturados que contienen grupos metilos generalmente muestran bandas en aproximadamente  $2962 - 2872 \text{ cm}^{-1}$  (Kiemle, 2005). En la Figura 4.4, la zona de alta frecuencia muestra bandas en la región comprendida entre  $2929 - 2835 \text{ cm}^{-1}$ , la discrepancia entre ambos espectros se debe a las impurezas presentes en la muestra, ya que la parafina utilizada es producto de fabricación artesanal con bajos parámetros de calidad.



**Figura 4.4** Espectro FTIR de parafina.



En esta región, la banda que se encuentra alrededor de  $2929\text{ cm}^{-1}$  se debe a la absorción que se origina por el alargamiento asimétrico de los enlaces C–H en los grupos metilo ( $\nu_{as}\text{CH}_3$ ), la cercana a los  $2910\text{ cm}^{-1}$  son las referentes al alargamiento asimétrico de los grupos metileno ( $\nu_{as}\text{CH}_2$ ) y los que se encuentran cerca de los  $2835\text{ cm}^{-1}$  se refieren al estiramiento simétrico de los grupos metileno ( $\nu_s\text{CH}_2$ ), información que coincide con lo reportado por Kiemle, (2005).

En la zona intermedia se observan bandas entre los  $1460 - 1377\text{ cm}^{-1}$ , los cuales generalmente se encuentran relacionados con las vibraciones de flexión en el plano, o *tijereteo*, de los enlaces C–H. Las bandas cercanas a los  $1465\text{ cm}^{-1}$  usualmente representan las vibraciones de flexión simétrica de los grupos metileno ( $\delta_s\text{CH}_2$ ), mientras que las bandas cercanas a los  $1375\text{ cm}^{-1}$  se refieren a las vibraciones de flexión simétricas de los grupos metilo ( $\delta_s\text{CH}_3$ ) según Kiemle, (2005).

Por último, en la zona de baja frecuencia se observan bandas entre los  $887 - 719\text{ cm}^{-1}$ . Estas bandas resultan de las vibraciones de balanceo en el plano de los grupos metileno ( $\rho\text{CH}_2$ ), según lo descrito por Damastes, (2012).

Generalmente, las resinas son productos amorfos con estructura compleja, por lo que no presentan un punto de fusión definido y se caracterizan por su temperatura de reblandecimiento (temperatura de transición de un estado pseudosólido a un estado plástico), según Arán, (2000) y Mena, (2009). Este comportamiento se evidencia en los resultados presentados en la Tabla 4.1 para ambos compuestos en estudio.

**Tabla 4.1.** Temperatura de reblandecimiento de la materia prima.

Muestra	Rango de temperatura de reblandecimiento ( $T_R \pm 1$ ) °C
Parafina	60 – 64
Colofonia	61 – 71

Temperatura ambiente: ( $26 \pm 0,5$ ) °C.

Presión atmosférica: ( $705,13 \pm 0,05$ ) mmHg.



Dichos resultados representan un aporte a la línea de investigación, proporcionando datos que sirven de referencia para el presente trabajo, sirviendo a su vez, como patrón a las futuras investigaciones.

#### 4.2. Obtención de una serie de dispersiones de colofonia modificada en el solvente de bajo punto de fusión a diferentes proporciones.

Una dispersión sólida se define como la dispersión de uno o más principios activos en un vehículo inerte al estado sólido (Sekiguchi, 1961). Para el desarrollo de los experimentos, se prepararon dispersiones según la Tabla 3.1. Se suministró energía en forma de calor (energía térmica) y agitación (energía mecánica), bajo la metodología expuesta en el apartado 3.2.2.

Las ventajas de este método son la simplicidad y la reproducibilidad de la fabricación. Así mismo, el enfriamiento rápido de la dispersión permite obtener una solución saturada de la colofonia en el vehículo de parafina, (Lefevre, 1985).

Teniendo en cuenta que nuestro país es de clima tropical, el análisis de las características (fluidez, consistencia, color) de las muestras se realizó a temperatura y presión atmosférica, debido a que estas variables no incidieron en una modificación posterior en las dispersiones.

**Tabla 4.2.** Fluidez y consistencia de las dispersiones de colofonia modificada en parafina a temperatura ambiente y presión atmosférica.

Muestra	Fluidez y consistencia
1	No fluye, sólida
2	No fluye, sólida
3	No fluye, sólida
4	No fluye, sólida
5	No fluye, sólida
6	No fluye, sólida

Temperatura ambiente:  $(26 \pm 0,5)$  °C.

Presión atmosférica:  $(705,13 \pm 0,05)$  mmHg.



**Figura 4.5** Dispersiones de colofonia modificada en parafina.

La tonalidad de las dispersiones aumenta con la concentración de colofonia modificada, como se demuestra en la Figura 4.5.

Conforme a la importancia de las características obtenidas de las dispersiones, cabe destacar que la metodología empleada en la preparación, sirve de sustento a la línea de investigación, ya que por ser un producto innovador no se cuenta con información precisa para la obtención de dispersiones a base de colofonia modificada y parafina.

#### **4.3. Caracterización de las diferentes dispersiones de colofonia modificada.**

En la Tabla 4.3, se registró el rango de temperaturas de reblandecimiento de las dispersiones de colofonia modificada en parafina. Se observó una diferencia entre los valores reportados en la Tabla 4.1, debido a que la adición de un soluto a temperatura y presión constantes normalmente disminuye la temperatura de reblandecimiento, ya que se reduce el potencial químico ( $\mu$ ) estabilizando la dispersión, afectando la tendencia a solidificarse, (Levine, 1996).



**Tabla 4.3** Temperatura de reblandecimiento de las dispersiones de colofonia modificada en parafina.

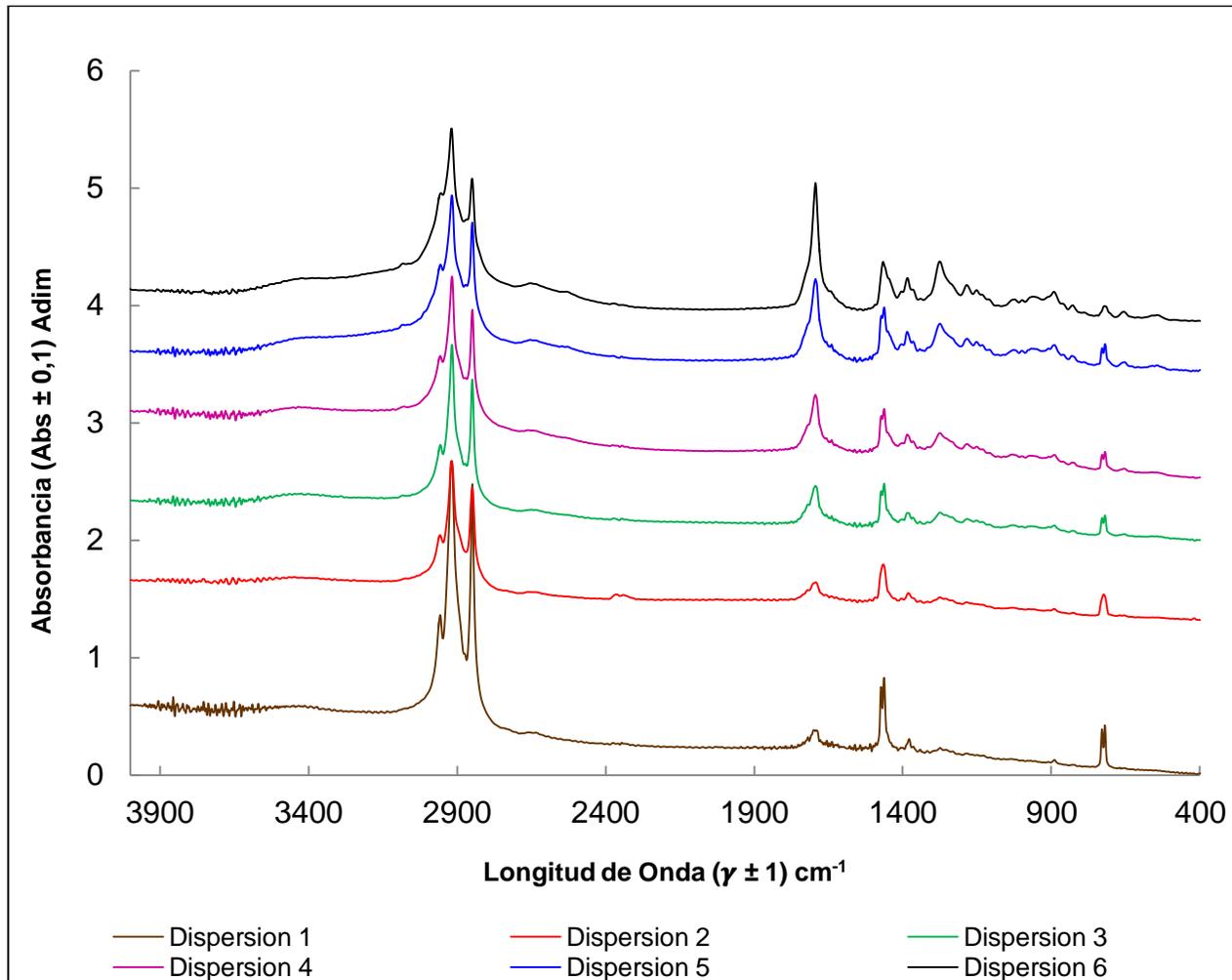
Dispersión	Rango de temperatura de reblandecimiento ( $T_R \pm 1$ ) °C
1	53 – 63
2	51 – 61
3	51 – 61
4	51 – 61
5	51 – 59
6	50 – 57

Temperatura ambiente:  $(26 \pm 0,5)$  °C.

Presión atmosférica:  $(705,13 \pm 0,05)$  mmHg.

Las dos curvas del punto de congelación de los sólidos se cortan en el punto eutéctico, punto donde se alcanza finalmente la temperatura eutéctica a una composición X, y donde el potencial químico de la dispersión es igual a los potenciales de colofonia y parafina puros, (Levine, 1996).

A través de ensayos de FTIR, se pudo determinar el grado de funcionalización de las dispersiones a través de la identificación y cuantificación de las señales características del espectro infrarrojo. En la Figura 4.6 se muestran los espectros infrarrojos de cada una de las dispersiones.



**Figura 4.6** Comparación de los espectros FTIR de las dispersiones de colofonia modificada en parafina sólida.

Al comparar los espectros FTIR, se observa que poseen estructuras químicas bastante similares, lo cual es de esperarse ya que son procedentes de la misma materia prima (colofonia modificada y parafina), a su vez, debido a que no hay variación en dichos espectros, se puede decir que no hubo modificación química en la formulación de las dispersiones, sin embargo se obtuvieron propiedades reológicas diferentes para cada dispersión, las cuales deben considerarse en los fenómenos de transporte en futuras aplicaciones. De la misma manera, en la Tabla 4.4 se reportan, de acuerdo a las señales obtenidas de los espectros FTIR, los posibles grupos funcionales que forman parte del esqueleto químico de las dispersiones:



**Tabla 4.4** Análisis del espectro FTIR de las dispersiones de colofonia modificada en parafina.

Frecuencia, $\text{cm}^{-1}$	Información
3400 – 2900	O-H en COOH
3300 – 2500	C-H, en COOH
1900 – 1500	C=O en COOH
1460	CH <sub>2</sub> + CH <sub>3</sub>
1273 – 950	anillos aromáticos
887 – 719	metileno ( $\rho\text{CH}_2$ )

En líneas generales, los resultados de esta caracterización implican gran relevancia a nivel industrial y científico, puesto que ofrecen información en cuanto a los grupos funcionales y de la influencia de la variación de la composición de las dispersiones, orientando de esta manera dichas características a futuras aplicaciones industriales y creación de nuevas líneas de investigación.

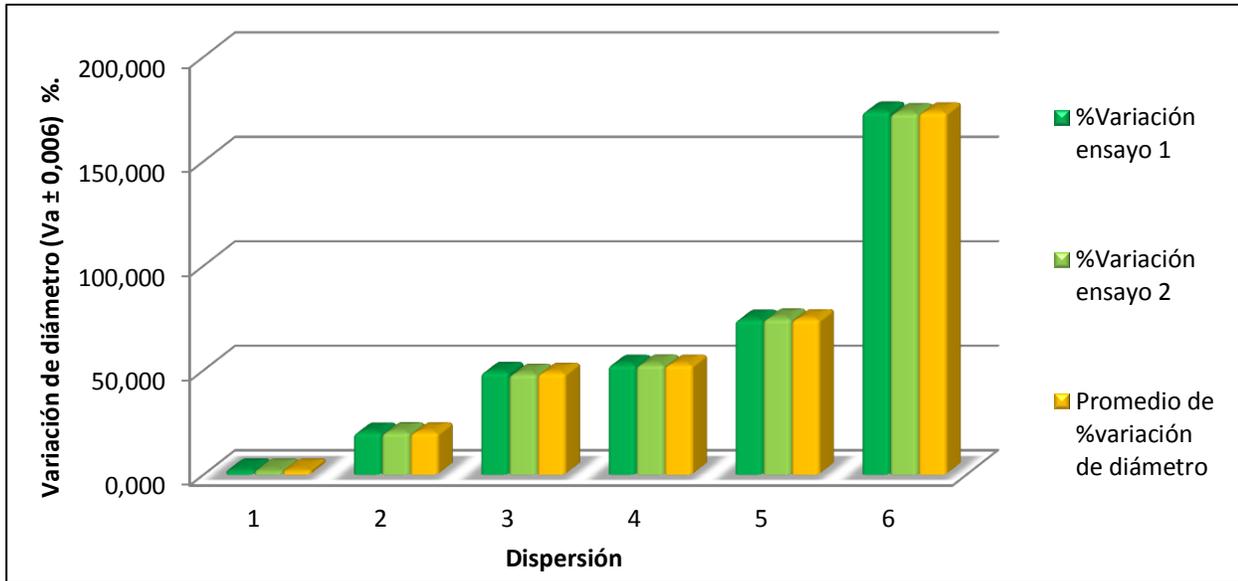
#### **4.4. Determinación de las propiedades reológicas de las dispersiones de colofonia modificada.**

Las medidas de las propiedades reológicas pueden ayudar a desarrollar mejor un producto, predecir sus características finales y sus propiedades físicas, durante y después del proceso industrial al que se someten, (García, 2012).

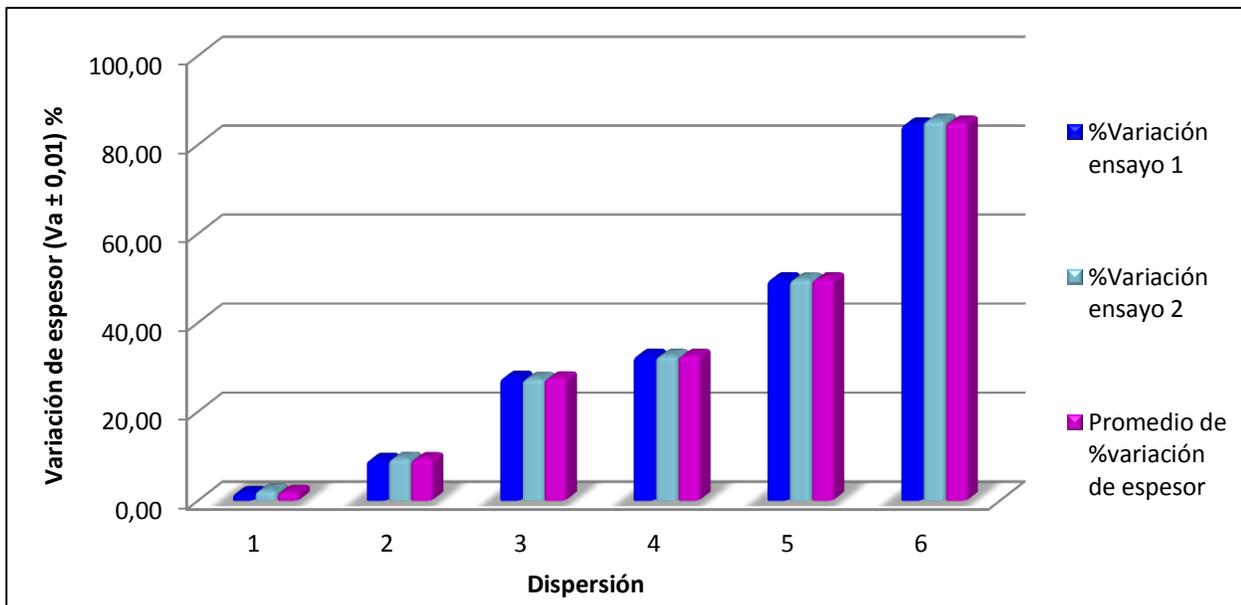
La determinación de la extensión de las dispersiones se pudo evaluar mediante el estudio en la variación del diámetro y del espesor de las pastillas elaboradas y sometidas al ensayo referenciado en el apartado 3.2.4.1. Seguidamente, se graficaron los datos correspondientes (Ver Tablas D.5 y D.6 de Apéndice D), los cuales se reportan en las Figuras 4.7 y 4.8.

Se puede constatar que a mayor concentración de colofonia aumenta la capacidad de extensión de la dispersión, lo cual se refleja en la dispersión 6, siendo la que obtuvo los valores de variación de diámetro y espesor mas altos, esto se debe a la capacidad de la

resina de colofonia para reducir la viscosidad de la dispersión permitiendo un mejor mojado y una rápida aplicación, según lo expuesto por Ferrándiz, (1995).



**Figura 4.7** Porcentaje de variación de diámetro de las dispersiones.



**Figura 4.8** Porcentaje de variación de espesor de las dispersiones.

Una vez culminados los ensayos, se procedió a evaluar la influencia de la concentración de las dispersiones en la variable de respuesta porcentaje de variación



de diámetro y espesor. Para ello, se hizo uso de un análisis simple de ANOVA a través de un programa estadístico STATGRAPHICS Centurion XVI. II versión 16.2.04 (versión gratuita de prueba), el cual posee todas las herramientas estadísticas para realizar dicho análisis.

Dicho programa, una vez insertados los datos en la interfaz, evalúa e imprime un informe de resultados (Tabla 4.5). El análisis de varianza (ANOVA Simple) descompone la varianza del porcentaje de variación de diámetro en dos componentes: un componente entre grupos y un componente dentro de grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 49236.98, es el cociente entre el estimado entre grupos y el estimado dentro de grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media del porcentaje de variación de diámetro entre un nivel de dispersión y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.

**Tabla 4.5** Análisis de varianza (ANOVA Simple) para porcentaje de variación de diámetro por dispersión

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	36289.7	5	7257.94	49236.98	9,5732E-14
Intra grupos	0.88445	6	0.147408		
Total (Corr.)	36290.6	11			

En cuanto a la influencia de la concentración de la dispersión en el porcentaje de variación del espesor, el software libre utilizado arrojó el siguiente informe (Tabla 4.6). La razón-F, que en este caso es igual a 16038.95, es el cociente entre el estimado entre grupos y el estimado dentro de grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media del porcentaje de variación de espesor entre un nivel de dispersión y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.



**Tabla 4.6** Análisis de varianza (ANOVA Simple) para porcentaje de variación de espesor por dispersión

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	9053.99	5	1810.8	16038.95	2,7154E-12
Intra grupos	0.6774	6	0.1129		
Total (Corr.)	9054.66	11			

El punto de reblandecimiento es la temperatura en la cual se pasa de un estado vítreo (sólido rígido) a un estado semi-sólido, sin establecerse una total fase líquida según Hernández *et al.*, (2001). Puede correlacionarse tanto con el contenido en colofonia, como con el contenido en parafina, pero no de forma lineal, sino exponencial, según Fuentes, (2008), pudiendo describirse mediante la Ecuación de Arrhenius (ecuación 2.1).

A fin de evaluar el comportamiento de las dispersiones se establecieron tres ensayos a diferentes temperaturas (40, 50 y 60 °C), bajo el método de anillo y bola para clasificar las dispersiones según la fluidez a las temperaturas establecidas.

Como se observa en la Tabla 4.7, las muestras sumergidas en un baño de agua destilada a 40 °C no fluyen en el tiempo de estudio establecido, mencionado en la Tabla 3.2.

**Tabla 4.7** Tiempo de descenso en muestras de dispersión a 40 °C.

Muestra	Tiempo inicial de descenso ( $t_i \pm 0,01$ ) s	Tiempo final de descenso ( $t_f \pm 0,01$ ) s
Dispersión 1	N/D	N/D
Dispersión 2	N/D	N/D
Dispersión 3	N/D	N/D
Dispersión 4	N/D	N/D
Dispersión 5	N/D	N/D
Dispersión 6	N/D	N/D

N/D: No desciende después de (900,00  $\pm$  0,01) s de estudio.



Para el segundo ensayo, se logró observar fluidez en las muestras de dispersión 4, 5 y 6. Sin embargo la dispersión 4 no alcanza a terminar el experimento en el tiempo de estudio establecido, lo que se atribuye a que no alcanzó su punto de reblandecimiento en la temperatura en estudio.

**Tabla 4.8** Tiempo de descenso en muestras de dispersión a 50 °C.

<b>Muestra</b>	<b>Tiempo inicial de Descenso (<math>t_i \pm 0,01</math>) s</b>	<b>Tiempo final de descenso (<math>t_f \pm 0,01</math>) s</b>
Dispersión 1	N/D	N/D
Dispersión 2	N/D	N/D
Dispersión 3	N/D	N/D
Dispersión 4	574,64	N/D
Dispersión 5	468,78	798,61
Dispersión 6	253,06	541,63

N/D: No desciende después de (900,00  $\pm$  0,01) s de estudio.

Finalmente, en el tercer ensayo se observó fluidez en las dispersiones 2, 3, 4, 5 y 6 con tiempos muy inferiores al establecido para las dispersiones 4, 5 y 6 sin embargo, la dispersión 1 no fluyó, lo que puede atribuirse a que no alcanzó su punto de reblandecimiento bajo la temperatura en estudio en el ensayo.

**Tabla 4.9** Tiempo de descenso en muestras de dispersión a 60 °C.

<b>Muestra</b>	<b>Tiempo inicial de Descenso (<math>t_i \pm 0,01</math>) s</b>	<b>Tiempo final de descenso (<math>t_f \pm 0,01</math>) s</b>
Dispersión 1	N/D	N/D
Dispersión 2	546,03	N/D
Dispersión 3	209,48	318,82
Dispersión 4	83,08	102,15
Dispersión 5	90,50	94,93
Dispersión 6	34,55	39,17

N/D: No desciende después de (900,00  $\pm$  0,01) s de estudio.



Con base en lo anterior, se observó que la concentración en las dispersiones influyó en la actividad reológica de estas, puesto que cada una presentó un comportamiento de fluidez y deformación que se vio diferenciado estadísticamente y que debe considerarse para el potencial uso industrial.

La importancia de la determinación de las propiedades reológicas para la industria radica, en el conocimiento del comportamiento de cada dispersión, lo que permite determinar su aplicabilidad. Por otra parte, representa un aporte a la ciencia que sirve de soporte en la documentación de nuevas líneas de investigación por ser un producto innovador.

#### 4.5. Estimación de los costos de formulación de las dispersiones.

Es muy importante la estimación de los costos de las formulaciones de las dispersiones de colofonia, ya que por medio de él, se puede determinar la viabilidad del proyecto enfocada en el futuro de una producción industrial.

A continuación se encuentran las cantidades y precios comerciales de la colofonia y la parafina a nivel industrial:

**Tabla 4.10** Costos comparativos de la colofonia modificada y la parafina comercial.

Nombre del Producto	Cantidad	Costo 1 (C <sub>1</sub> ± 1) USD	Conversión Monetaria a moneda Nacional (C <sub>2</sub> ± 0,5) Bs.	Costo 2 (C <sub>3</sub> ± 1) EUR	Conversión Monetaria a moneda Nacional (C <sub>4</sub> ± 0,5) Bs.
Colofonia Modificada	1 TON	1.350*	67.486,5	5.590**	356.027,1
Parafina comercial		2.900	144.971,0	3.695	235.318,6

Tipos de cambios: SICAD 2:49,99 Bs./\$ – 63,69 Bs./€ al 29/10/2014 Fuente: **B.C.V.**

\*: costo suministrado por Ecopower Chemical Co., Ltd.

\*\* : costo suministrado por Quiminet.



Para la producción de 100 g. de dispersión de colofonia modificada en parafina sólida los costos de la materia prima se presentan en la Tabla 4.11:

**Tabla 4.11** Costos por gramos comparativos de las dispersiones de colofonia modificada en el solvente de bajo punto de fusión (parafina).

	Dispersión					
	1	2	3	4	5	6
<b>Masa de la colofonia (<math>m_c \pm 0,0001</math>) g</b>	10,1380	20,1248	40,094	50,6547	60,1163	80,1042
<b>Masa de la parafina (<math>m_c \pm 0,0001</math>) g</b>	90,7589	80,2895	60,9037	50,351	40,5484	20,5603
<b>Costo en USD de colofonia (<math>C_1 \pm 0,09</math>) \$</b>	0,01	0,03	0,05	0,07	0,08	0,11
<b>Costo en USD de parafina (<math>C_2 \pm 0,09</math>) \$</b>	0,26	0,23	0,18	0,15	0,12	0,06
<b>Costo Total de la dispersiones (<math>C_3 \pm 0,01</math>) \$</b>	0,27	0,26	0,23	0,21	0,20	0,17
<b>Conversión Monetaria a Bs (<math>C_4 \pm 0,1</math>) Bs.</b>	13,5	13,0	11,5	10,7	9,9	8,4
<b>Costo en EUR de colofonia (<math>C_1 \pm 0,001</math>) €</b>	0,057	0,112	0,224	0,283	0,336	0,448
<b>Costo en EUR de parafina (<math>C_2 \pm 0,001</math>) €</b>	0,335	0,297	0,225	0,186	0,150	0,076
<b>Costo Total de la dispersiones (<math>C_3 \pm 0,01</math>) €</b>	0,39	0,41	0,45	0,47	0,49	0,52
<b>Conversión Monetaria a Bs (<math>C_4 \pm 0,1</math>) Bs.</b>	25,0	26,1	28,6	29,9	30,9	33,4

Tipos de cambios: SICAD 2:49,99 Bs./\$ – 63,69 Bs./€ al 29/10/2014 Fuente: **B.C.V.**

USD: Dólar americano/ Bs: Bolívares/ EUR: Euro.



Como se puede apreciar en la Tabla 4.11 el costo de las dispersiones es mucho más elevado si se realiza una importación de la materia prima en Euro, que el costo obtenido importando en Dólares americanos, esto se evidencia en la inversión en Bolívares tras convertir ambas divisas, siendo la parafina la que aporta mayor incremento en el costo total de la dispersión realizando la importación en Dólares americanos y la colofonia la que aporta mayor incremento en el costo si se realiza una importación en Euro.

Tomando como referencia la importación en moneda americana por su bajos costos, la dispersión 6 se detalla como la más económica debido a la baja cantidad de parafina empleada en su formulación.

Desde el punto de vista económico resulta factible la formulación de las dispersiones, debido a que ambos precios son accesibles para la producción a escala industrial, dando lugar a futuras investigaciones y aplicaciones.



## CONCLUSIONES

1. Utilizando la espectroscopía FTIR, se determinaron los grupos funcionales presentes en la colofonia modificada y la parafina. En la colofonia modificada los principales grupos identificados son: -COOH, -OH, -C=O en ácido carboxílico. En la parafina grupos metileno ( $\delta$ sCH<sub>2</sub>) y grupos metilo ( $\delta$ sCH<sub>3</sub>).
2. Se prepararon una serie de dispersiones de colofonia en parafina, con porcentaje de colofonia de 10, 20, 40, 50, 60 y 80. Estas dispersiones se caracterizaron con espectroscopía FTIR, y los espectros muestran, que no se afectaron los grupos funcionales de los materiales, durante la preparación.
3. Se evaluaron las propiedades reológicas: extensión, punto de reblandecimiento sobre todas las dispersiones. La capacidad de extensión y fluidez aumenta con el contenido de resina de colofonia, siendo la dispersión 6 (80% de colofonia), la que presenta mayor porcentaje de variación del diámetro (173,09%) y del espesor (84,82%). Por medio de ANOVA se comprobó la influencia significativa de la concentración en las propiedades reológicas de las dispersiones.
4. La evaluación de los costos, arrojó que la dispersión 6 es la más económica si se importa la materia prima en Dólares americanos, teniendo un costo de 8,4 Bs/100g. El material que aporta mayor costo en la formulación de las dispersiones es la parafina teniendo un costo de 0,1449 Bs/g.
5. Dentro de las ventajas que poseen estas dispersiones, está la de ser obtenidas a partir de la resina de pino, un producto forestal renovable y de producción nacional, al igual que la parafina. Por lo que su aplicación industrial es favorecida.



---

## RECOMENDACIONES

- Determinar el esfuerzo de corte y velocidad de deformación a fin de elaborar el reograma característico para clasificar las dispersiones según el modelo reológico.
- A fines de ampliación de conocimientos, se pueden realizar estudios enfocados en los posibles usos de las dispersiones de colofonia modificada en parafina sólida.
- Generar una base de datos de acuerdo a los resultados obtenidos, basándose en las propiedades reológicas de las dispersiones de colofonia modificada en parafina sólida.



---

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alfonso, H. y Y., Delgado. (2007). ***Propiedades reológicas de emulsiones de petróleo pesado en agua***. Ingeniare. Revista chilena de ingeniería. Vol 16. N° 1,2008. pp. 244-249.

Arán, F. (2000). ***Síntesis y caracterización de poliuretanos termoplásticos que contienen resinas de colofonia y su aplicación como adhesivos***. Tesis doctoral. Departamento de Química Inorgánica. Universidad de Alicante. España.

Arias, F. (2006). ***El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica***. Quinta edición. Editorial Episteme. Caracas. Páginas: 33-36.

Arteaga, Y., Carballo, L., Casal, A., Cruz, R. y J., Tacoronte. (2009). ***Resina de pino: materia prima renovable para la obtención de productos farmacológicos***. Avances. Vol. 11. N°3 julio-septiembre. ISSN 1562-3297.

Chourio, O. (2003). ***Mejoramiento de las propiedades reológicas de los jugos y néctares de frutas envasados asépticamente de Del Monte Andina, C.A.*** Trabajo especial de grado. Facultad de Ingeniería. Universidad de Carabobo. Venezuela.

Damastes, S. (2012). ***Caracterización y preparación de parafinas para inclusión de tejidos***. Trabajo especial de grado. Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela. Venezuela.

Encinas, O., Paredes, G. y L., Tiburzi. (2007). ***Posibilidades de uso de los extractos tánicos de corteza de Pino Caribe en colas para madera***. Revista forestal venezolana. Vol. 51(2): 141-146.



Ferrándiz, T. (1995). **Adición de resinas de hidrocarburos a adhesivos de policloropreno**. Tesis doctoral. Departamento de Química Inorgánica. Universidad de Alicante. España.

Fuentes, C. (2008). **Diseño de nuevos ligantes sintéticos a partir de materiales reciclados**. Tesis doctoral. Departamento de Ingeniería Química, Química Física y Química Orgánica. Universidad de Huelva. España.

García, B., (2009). **Catalizadores sulfurados Co-Mo soportados en hidroxapatita con aplicaciones en reacciones de hidrot ratamiento**. Tesis doctoral. Facultad de Ingeniería. Universidad de Carabobo. Venezuela.

García, G. (2012). **Estudio y medición de la reología tangencial sobre los polímeros poliestireno y polipropileno**. Trabajo especial de grado. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial. Universidad Politécnica de Cartagena. Colombia.

Hernández, C. y C., Vanegas. (2001). **Estudio de la cinética de la reacción de esterificación de colofonia, determinación de las condiciones de operación requeridas para la obtención de una resina con características comerciales y dimensionamiento de planta piloto**. Trabajo especial de grado. Facultad de Ingeniería. Universidad de la Sabana. Colombia.

Hurtado, I. y J., Toro. (1998). **Paradigmas y métodos de investigación en tiempos de cambio**. Segunda edición. Editorial Episteme Consultores Asociados C.A. Página: 48.

Kiemle, D., Silverstain, R. y Francis, W. (2005). **Spectrometric identification of organic compounds**. Séptima edición. Editorial John Wiley & Sons, Inc. Estados Unidos de América. Páginas: 82-85, 95-98.

Levine, I. (1996). **Fisicoquímica**. Cuarta Edición. Volumen 1. Editorial MacGraw Hill. España. Páginas: 337-362.



Lefevre, C., Brazier, H., Robert, H. y A., Guyot-Hermann. (1985). S.T.P. Pharma. Volumen 1. Páginas: 300-322.

Magallanes, R. (2012). ***Impacto de la globalización de la educación superior en países desarrollados y subdesarrollados***. Tesis doctoral. Universidad Simón Bolívar. Venezuela.

Mechetti, M., Gómez, A., Balella, A., (2011). ***Propiedades reológicas de melados de caña de azúcar***. Investigación y Desarrollo. Vol. 33: (2011), cet ISSN 1668-9178.

Mena, M. (2009). ***Estratificación de colofonia con glicerina: estudio cinético y fenomenológico***. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Complutense de Madrid. España.

Ministerio del Poder Popular para el Ambiente. (2008). ***Anuario estadísticas forestales***. Serie N°12. [http://www.minamb.gob.ve/index.php?option=com\\_content&view=article&id=3130:anuario-estadisticas-forestales-a008&catid=11:bosques&Itemid=58](http://www.minamb.gob.ve/index.php?option=com_content&view=article&id=3130:anuario-estadisticas-forestales-a008&catid=11:bosques&Itemid=58). Acceso: 9 de Diciembre 2013.

Norma Venezolana COVENIN. (1997). ***Materiales bituminosos. Determinación del punto de reblandecimiento. Método de anillo y bola***. N° 419:1997. (1a revisión). Fondonorma. Venezuela.

Núñez, S., González, C. y C., Quintero. (2011). ***Análisis del comportamiento reológico de una masilla asfáltica obtenida a partir de la resina de pino***. Quebracho. Vol. 19(1,2): 14-23.

Ramírez, J. (2006). ***Fundamentos de reología de alimentos***. Editorial JSR e-books. Cali, Colombia. Página 23.



Rubinson K. y J., Rubinson. (2001). **Análisis Instrumental**. 2ª Edición. Prentice Hall. Madrid. España. Páginas 399-402; 693-699.

Panchi, A. (2013). **Determinación de parámetros reológicos en bebidas de frutas con diferentes concentraciones de sólidos solubles mediante el uso del equipo universal TA – XT2I**. Trabajo especial de grado. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. Universidad Técnica de Ambato. Ecuador.

Pérez, M. (2004). **Síntesis y caracterización de dispersiones acuosas de poliuretano como alternativa a los adhesivos en base disolvente orgánico usados en calzado**. Tesis doctoral. Departamento de Adhesivos INESCOP. Universidad de Alicante. España.

Torrado, S. (1994). **Estudio farmacéutico de nuevas formulaciones galénicas de albendazol**. Tesis doctoral. Facultad de Farmacia. Universidad Complutense de Madrid. España.

Torres, M. (2010). **Propuesta gerencial para la generación de ventajas competitivas en la industria farmacéutica nacional a partir de las actividades de investigación y desarrollo de productos**. Trabajo especial de grado. Universidad de Carabobo. Venezuela.

Tovar, E., (2010). **Evaluación de las propiedades reológicas de la pulpa de frutas y productos derivados en una planta procesadora de jugos**. Trabajo especial de grado. Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Universidad de Oriente. Venezuela.

Sánchez, J. (2003). **Purificación de parafinas de petróleo por hidrogenación catalítica**. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Químicas. Departamento de Ingeniería Química. Universidad Complutense de Madrid. España.

Sekiguchi, K.; Obi, N. y Y., Veda. (1961). Chem. Pharm. Bull. Páginas: 866-872.



---

Stavchansky, S. y W., Gowan. (1983). *Troisième congrès international de technologie pharmaceutique*. Volumen V. Paris.



## APÉNDICE A

### DATOS BIBLIOGRÁFICOS

**Tabla A.1** Propiedades fisicoquímicas de la parafina.

Propiedad	Valor
pH	~7
Apariencia	Sólido blanquecino
Densidad (20/4)	0,9 g/cm <sup>3</sup>
Fabricante	Grupo Transmerquim
Temperatura de fusión	58 °C
Temperatura de ebullición	350 °C
Solubilidad en 100 g de agua	Insoluble

Fuente: MSDS Grupo Transmerquim

**Tabla A.2** Propiedades fisicoquímicas de la colofonia.

Propiedad	Valor
pH	-
Densidad	1,07 g/cm <sup>3</sup>
Fabricante	HGP Industria Química Ltda.
Apariencia	Cristales color ámbar
Peso molecular	302,46 g/mol
Formula empírica	C <sub>19</sub> H <sub>29</sub> COOH
Temperatura de fusión	70 – 78 °C
Temperatura de ebullición	250 °C
Solubilidad en 100 g de agua	Insoluble

Fuente: MSDS HGP Industria Química Ltda.



## APÉNDICE B

### TABLAS DE DATOS EXPERIMENTALES

**Tabla B.1** Temperaturas de fusión de las muestras en el ensayo con el fusiómetro.

Muestra	Temperatura inicial ( $T_i \pm 1$ ) °C			Temperatura final ( $T_f \pm 1$ ) °C		
	Capilar 1	Capilar 2	Capilar 3	Capilar 1	Capilar 2	Capilar 3
Parafina	60	60	60	64	64	64
Colofonia	62	60	62	72	70	72
Dispersión 1	52	54	54	62	62	64
Dispersión 2	48	52	52	57	62	62
Dispersión 3	49	52	52	57	62	62
Dispersión 4	49	52	52	57	62	62
Dispersión 5	52	50	50	60	58	58
Dispersión 6	52	50	50	58	58	58

**Tabla B.2** Masas de las pastillas de dispersiones para ambos ensayos.

MUESTRA	MASA ENSAYO 1 ( $m \pm 0,0001$ ) g	MASA ENSAYO 2 ( $m \pm 0,0001$ ) g
Dispersión 1	3,7489	3,7487
Dispersión 2	3,7473	3,7454
Dispersión 3	3,7471	3,7462
Dispersión 4	3,7482	3,7480
Dispersión 5	3,7449	3,7461
Dispersión 6	3,7457	3,7463



**Tabla B.3** Diámetro inicial de las pastillas de dispersiones de colofonia (Ensayo 1).

MUESTRA	DIÁMETROS		DIÁMETRO PROMEDIO INICIAL ( $\varnothing_{\text{promi}} \pm 0,0001$ ) cm
	DIÁMETRO 1 ( $\varnothing_1 \pm 0,0001$ ) cm	DIÁMETRO 2 ( $\varnothing_2 \pm 0,0001$ ) cm	
Dispersión 1	2,8000	2,7100	2,7550
Dispersión 2	2,8100	2,7100	2,7600
Dispersión 3	2,8000	2,7100	2,7550
Dispersión 4	2,8000	2,7100	2,7550
Dispersión 5	2,7900	2,7140	2,7520
Dispersión 6	2,8100	2,7000	2,7550

**Tabla B.4** Diámetro inicial de las pastillas de dispersiones de colofonia (Ensayo 2).

MUESTRA	DIÁMETROS		DIÁMETRO PROMEDIO INICIAL ( $\varnothing_{\text{promi}} \pm 0,0001$ ) cm
	DIÁMETRO 1 ( $\varnothing_1 \pm 0,0001$ ) cm	DIÁMETRO 2 ( $\varnothing_2 \pm 0,0001$ ) cm	
Dispersión 1	2,8100	2,7000	2,7550
Dispersión 2	2,8000	2,7200	2,7600
Dispersión 3	2,7900	2,7200	2,7550
Dispersión 4	2,7800	2,7200	2,7500
Dispersión 5	2,7960	2,7040	2,7500
Dispersión 6	2,7900	2,7000	2,7450



**Tabla B.5** Espesor inicial de las pastillas de dispersiones de colofonia (Ensayo 1).

MUESTRA	ESPEORES		ESPESOR PROMEDIO INICIAL ( $e_{promi} \pm 0,0001$ ) cm
	ESPESOR 1 ( $e_1 \pm 0,0001$ ) cm	ESPESOR 2 ( $e_2 \pm 0,0001$ ) cm	
Dispersión 1	0,7000	0,7000	0,7000
Dispersión 2	0,7000	0,7000	0,7000
Dispersión 3	0,7100	0,7000	0,7050
Dispersión 4	0,7100	0,7100	0,7100
Dispersión 5	0,7000	0,7000	0,7000
Dispersión 6	0,7000	0,7100	0,7050

**Tabla B.6** Espesor inicial de las pastillas de dispersiones de colofonia (Ensayo 2).

MUESTRA	ESPEORES		ESPESOR PROMEDIO INICIAL ( $e_{promi} \pm 0,0001$ ) cm
	ESPESOR 1 ( $e_1 \pm 0,0001$ ) cm	ESPESOR 2 ( $e_2 \pm 0,0001$ ) cm	
Dispersión 1	0,7000	0,7100	0,7050
Dispersión 2	0,7000	0,7000	0,7000
Dispersión 3	0,7100	0,7000	0,7050
Dispersión 4	0,7100	0,7100	0,7100
Dispersión 5	0,7000	0,7000	0,7000
Dispersión 6	0,7000	0,7100	0,7050



## APÉNDICE C

### CÁLCULOS TÍPICOS

En este apéndice se presentan los cálculos típicos empleados en la obtención de resultados.

#### 1.- Cálculo del promedio de temperatura de reblandecimiento inicial y final.

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n X_i \quad (\text{C.1}) \quad (\text{Navarro, 1998})$$

Donde:

$\bar{X}$ : valor promedio del rango

$X_i$ : valor puntual

n: número de valores dentro del rango

Sustituyendo los datos correspondientes a la parafina:

$$\bar{T}_{Ri} = \frac{1}{3} \cdot \sum_{i=1}^3 (60 + 60 + 60) \text{ °C} = 60 \text{ °C}$$

Dónde:

$\bar{T}_{Ri}$ : temperatura de reblandecimiento inicial promedio (°C).

Aplicando el método de derivadas parciales a la ecuación anterior para la estimación del error, se tiene:

$$\Delta \bar{T}_{Ri} = \Delta T_R \quad (\text{C.2})$$

$$\Delta \bar{T}_{Ri} = 1 \text{ °C}$$

Finalmente la temperatura de reblandecimiento inicial promedio de la parafina será:

$$\bar{T}_{Ri} = (60 \pm 1) \text{ °C}$$



De igual forma se realiza para la temperatura de reblandecimiento final promedio y se obtiene el rango de temperatura de reblandecimiento de todas las muestras.

## 2.- Determinación de porcentaje de variación.

La ecuación que permite determinar el porcentaje de variación es la siguiente:

$$\text{Porc}_V = \frac{X_f - X_i}{X_i} \times 100 \quad (\text{C.3})$$

Dónde:

$\text{Porc}_V$  : porcentaje de variación (%).

$X_f$  : parámetro final (cm).

$X_i$  : parámetro inicial (cm).

Determinando el porcentaje de variación de diámetro de la pastilla de dispersión 6, se tiene:

$$\text{Porc}_V = \frac{7,5350 \text{ cm} - 2,7550 \text{ cm}}{2,7550 \text{ cm}} \times 100$$

$$\text{Porc}_V = 173,502722 \%$$

El error asociado al porcentaje de variación se determina usando la siguiente ecuación:

$$\Delta \text{Porc}_V = \left| \frac{\partial \text{Porc}_V}{\partial X_f} \right| \times \Delta X_f + \left| \frac{\partial \text{Porc}_V}{\partial X_i} \right| \times \Delta X_i \quad (\text{C.4})$$

Derivando la expresión se tiene:

$$\Delta \text{Porc}_V = \left| \frac{100}{X_i} \right| \times \Delta X_f + \left| -\frac{100 \times X_f}{X_i^2} \right| \times \Delta X_i \quad (\text{C.5})$$

Sustituyendo los valores correspondientes al diámetro:

$$\Delta \text{Porc}_V = \left| \frac{100}{2,7550 \text{ cm}} \right| \times 0,0001 \text{ cm} + \left| -\frac{100 \times 7,5350 \text{ cm}}{(2,7550 \text{ cm})^2} \right| \times 0,0001 \text{ cm} = 0,01\%$$



$$\Delta \text{Porc}_V = 0,01\%$$

Finalmente el valor puede ser reportado como:

$$\text{Porc}_V = (173,50 \pm 0,01) \%$$

De igual forma se calcula para el espesor.

### 3.- Determinación de costos de formulación de dispersiones.

Para estimar los costos de formulación de las dispersiones, se parte de un factor de conversión debido a que los precios están reflejados a una presentación de 1 tonelada de muestra.

Partiendo de la Tabla 10, tomando los valores respecto a la parafina, tenemos:

$$C_g = \frac{1 \text{ Tonelada}}{1000 \text{ kg}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \times \frac{2900 \text{ USD}}{1 \text{ tonelada}} \quad (\text{C.6})$$

$$C_g = 0,0029 \frac{\text{USD}}{\text{g}}$$

$$C_{\text{Parafina}} = C_g \times M_{\text{Parafina}}$$

$$C_{\text{Parafina}} = 0,0029 \frac{\text{USD}}{\text{g}} \times 90,7589 \text{ g}$$

$$C_{\text{Parafina}} = 0,263200 \text{ USD}$$

Luego se calcula la incertidumbre asociada al cálculo:

$$\Delta C_{\text{Parafina}} = \left| \frac{\partial C_{\text{Parafina}}}{\partial C_g} \right| \times \Delta C_g + \left| \frac{\partial C_{\text{Parafina}}}{\partial M_{\text{Parafina}}} \right| \times \Delta M_{\text{Parafina}} \quad (\text{C.7})$$

Derivando la expresión se tiene:

$$\Delta C_{\text{Parafina}} = |M_{\text{Parafina}}| \times \Delta C_g + |C_g| \times \Delta M_{\text{Parafina}} \quad (\text{C.8})$$

Sustituyendo los valores correspondientes:



$$\Delta C_{\text{Parafina}} = |90,7589| \times (0,001) + |0,263200| \times (0,0001)$$

$$\Delta C_{\text{Parafina}} = 0,0907 \approx 0,09$$

$$\Delta C_{\text{Parafina}} = 0,09$$

El costo por gramo de parafina para la dispersión 1 será:

$$C_{\text{Parafina}} = 0,26 \pm 0,09 \text{ USD}$$

Se realiza el mismo procedimiento para estimar el costo de colofonia, siendo igual a:

$$C_{\text{Colofonia}} = 0,01 \pm 0,09 \text{ USD}$$

Finalmente, el costo total de la dispersión 1 en moneda USD según ecuación 3.2 es:

$$C_T = (0,26 + 0,09) \text{ USD}$$

De la misma manera se calcula para la moneda Euro. Una vez obtenido el costo en moneda USD y Euro, de acuerdo a control cambiario presente en el país, se calcula la inversión en Bolívares respecto a cada moneda internacional.



## APÉNDICE D

### TABLAS DE RESULTADOS

**Tabla D.1** Diámetro final de las pastillas de dispersiones de colofonia (Ensayo 1).

MUESTRA	DIÁMETROS		DIÁMETRO PROMEDIO INICIAL ( $\varnothing_{\text{promi}} \pm 0,0001$ ) cm
	DIÁMETRO 1 ( $\varnothing_1 \pm 0,0001$ ) cm	DIÁMETRO 2 ( $\varnothing_2 \pm 0,0001$ ) cm	
Dispersión 1	2,8660	2,7540	2,8100
Dispersión 2	3,3400	3,2750	3,3075
Dispersión 3	4,0500	4,1500	4,1000
Dispersión 4	4,1700	4,2200	4,1950
Dispersión 5	4,7880	4,7820	4,7850
Dispersión 6	7,3400	7,7300	7,5350

**Tabla D.2** Diámetro final de las pastillas de dispersiones de colofonia (Ensayo 2).

MUESTRA	DIÁMETROS		DIÁMETRO PROMEDIO INICIAL ( $\varnothing_{\text{promi}} \pm 0,0001$ ) cm
	DIÁMETRO 1 ( $\varnothing_1 \pm 0,0001$ ) cm	DIÁMETRO 2 ( $\varnothing_2 \pm 0,0001$ ) cm	
Dispersión 1	2,8650	2,7500	2,8075
Dispersión 2	3,3450	3,2760	3,3105
Dispersión 3	4,0300	4,1200	4,0750
Dispersión 4	4,1900	4,1900	4,1900
Dispersión 5	4,8140	4,7760	4,7950
Dispersión 6	7,3200	7,6500	7,4850

**Tabla D.3** Espesor final de las pastillas de dispersiones de colofonia (Ensayo 1).

MUESTRA	ESPEORES		ESPEOR PROMEDIO INICIAL ( $e_{promi} \pm 0,0001$ ) cm
	ESPEOR 1 ( $e_1 \pm 0,0001$ ) cm	ESPEOR 2 ( $e_2 \pm 0,0001$ ) cm	
Dispersión 1	0,6910	0,6890	0,6900
Dispersión 2	0,6350	0,6380	0,6365
Dispersión 3	0,5100	0,5120	0,5110
Dispersión 4	0,4800	0,4790	0,4795
Dispersión 5	0,3550	0,3500	0,3525
Dispersión 6	0,1120	0,1080	0,1100

**Tabla D.4** Espesor final de las pastillas de dispersiones de colofonia (Ensayo 2).

MUESTRA	ESPEORES		ESPEOR PROMEDIO INICIAL ( $e_{promi} \pm 0,0001$ ) cm
	ESPEOR 1 ( $e_1 \pm 0,0001$ ) cm	ESPEOR 2 ( $e_2 \pm 0,0001$ ) cm	
Dispersión 1	0,6920	0,6880	0,6900
Dispersión 2	0,6320	0,6380	0,6350
Dispersión 3	0,5110	0,5150	0,5130
Dispersión 4	0,4790	0,4810	0,4800
Dispersión 5	0,3500	0,3560	0,3530
Dispersión 6	0,1100	0,0980	0,1040



**Tabla D.5** Variación de diámetro de las diferentes pastillas de dispersiones.

<b>MUESTRA</b>	<b>PORCENTAJE DE VARIACIÓN (E1) (Porc<sub>v1</sub> ± 0,01) %</b>	<b>PORCENTAJE DE VARIACIÓN (E2) (Porc<sub>v2</sub> ± 0,01) %</b>	<b>PROMEDIO DEL PORCENTAJE DE VARIACIÓN (Prom<sub>porcv</sub> ± 0,01) %</b>
Dispersión 1	2,00	1,91	1,95
Dispersión 2	19,84	19,95	19,89
Dispersión 3	48,82	47,91	48,37
Dispersión 4	52,27	52,36	52,32
Dispersión 5	73,87	74,36	74,12
Dispersión 6	173,50	172,68	173,09

E: Ensayo

**Tabla D.6** Variación de espesor de las diferentes pastillas de dispersiones.

<b>MUESTRA</b>	<b>PORCENTAJE DE VARIACIÓN (E1) (Porc<sub>v1</sub> ± 0,02) %</b>	<b>PORCENTAJE DE VARIACIÓN (E2) (Porc<sub>v2</sub> ± 0,02) %</b>	<b>PROMEDIO DEL PORCENTAJE DE VARIACIÓN (Prom<sub>porcv</sub> ± 0,02) %</b>
Dispersión 1	1,43	2,13	1,78
Dispersión 2	9,07	9,29	9,18
Dispersión 3	27,52	27,23	27,38
Dispersión 4	32,46	32,39	32,43
Dispersión 5	49,64	49,57	49,61
Dispersión 6	84,40	85,25	84,82

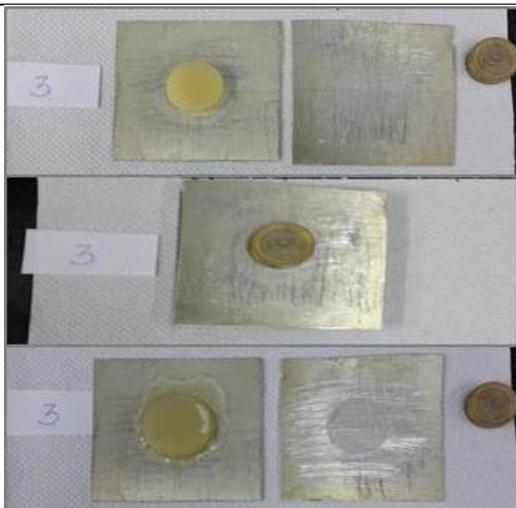
## ANEXOS

### a. Fotos de pastillas de dispersiones para los ensayos.

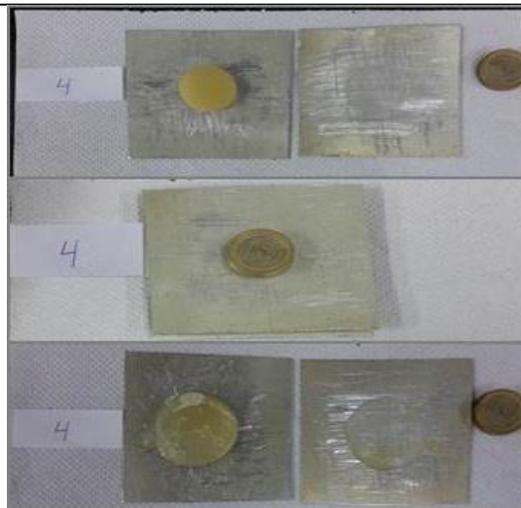
<p><b>Fotografía 1.</b> Pastillas para ensayo 1.</p>	<p><b>Fotografía 2.</b> Pastillas para ensayo 2.</p>

### b. Fotos comparativas del ensayo determinación de extensión de las dispersiones.

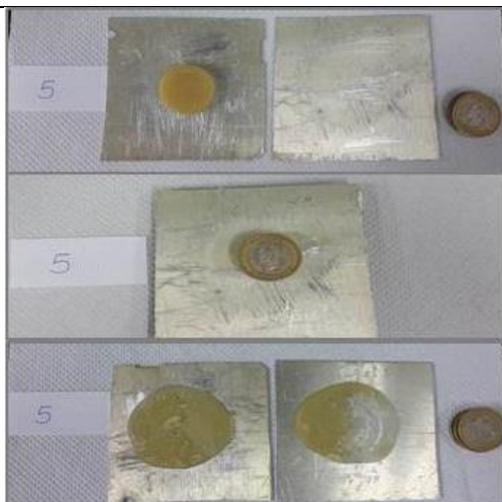
<p><b>Fotografía 3.</b> Dispersión 1 antes y luego del ensayo.</p>	<p><b>Fotografía 4.</b> Dispersión 2 antes y luego del ensayo.</p>



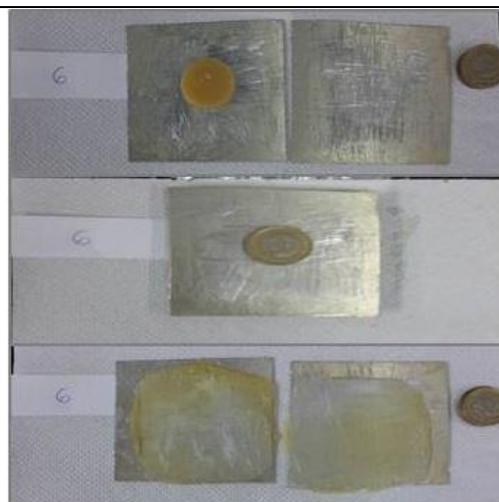
**Fotografía 5.** Dispersión 3 antes y luego del ensayo.



**Fotografía 6.** Dispersión 4 antes y luego del ensayo.



**Fotografía 7.** Dispersión 5 antes y luego del ensayo.



**Fotografía 8.** Dispersión 6 antes y luego del ensayo.

c. Fotos de materiales y equipos en el procedimiento de la determinación del punto de reblandecimiento de las dispersiones.



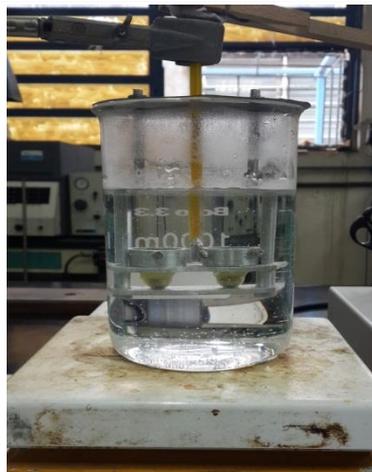
**Fotografía 9.** Equipo para determinación de punto de reblandecimiento.



**Fotografía 10.** Muestra de dispersión en anillos del equipo.



**Fotografía 11.** Montaje del ensayo.



**Fotografía 12.** Descenso de muestra.



**Fotografía 13.** Finalización del ensayo.