

**DESARROLLO DE UNA EMULSIÓN ADHESIVA DE ACETATO DE
POLIVINILO DE BAJA VISCOSIDAD A PARTIR DE UNA BASE DE
ALCOHOLES POLIVINILICOS**



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ÁREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE PROCESOS



**DESARROLLO DE UNA EMULSIÓN ADHESIVA DE ACETATO DE
POLIVINILO DE BAJA VISCOSIDAD A PARTIR DE UNA BASE DE
ALCOHOLES POLIVINILICOS**

Autor:

Ing. Andrés E. Gallardo R.

Tutor:

Prof. Alberto Mieres Pitre

Valencia, mayo - 2018



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ÁREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE PROCESOS



**DESARROLLO DE UNA EMULSIÓN ADHESIVA DE ACETATO DE
POLIVINILO DE BAJA VISCOSIDAD A PARTIR DE UNA BASE DE
ALCOHOLES POLIVINILICOS**

Autor: Ing. Andrés E. Gallardo R.

Trabajo de grado presentado ante el Área de Estudios de Postgrado de la
Universidad de Carabobo para optar al título de Magister en Ingeniería de
Procesos.

Valencia, mayo – 2018

RESUMEN

El objetivo principal de este trabajo fue desarrollar una emulsión adhesiva de baja viscosidad, usada en la industria venezolana de cartón y papel, a partir de una base de alcoholes polivinílicos hidrolizada, empleando concentraciones entre 12% y el 34% para alcoholes de bajo, mediano y alto peso molecular, y así realizar una caracterización de las muestras evaluando su aplicación y funcionalidad; donde se evaluó la reproducibilidad y estabilidad de cada muestra, permitiendo la selección de la fórmula con viscosidad inferior a 2000cP, sólidos mayor al 30% y tiempos de secamiento inferior a los 5min, la cual resultó ser la fórmula PVOH-3.A, que emplea una concentración de $53,7 \pm 0,2$ % de base adhesiva con una base hidrolizada de alcohol polivinílico de alto peso molecular al $12,6 \pm 0,2$ %; con la que se realizó la propuesta de escalamiento industrial. Finalmente, se realizó la estimación de los costos asociados a la propuesta de escalamiento industrial para la fabricación, obteniendo un costo de 48,09USD/kg. Con esta investigación se evidencia que es posible obtener una emulsión adhesiva de baja viscosidad a partir de una base de alcoholes polivinílicos hidrolizada, lo que podría representar una alternativa interesante que permitiría abastecer la industria de cartón y papel, además de generar un valor agregado debido a la practicidad en el proceso de producción.

Palabras clave: adhesivos, alcohol polivinílico, base adhesiva, viscosidad.

ABSTRACT

The main objective of this work is to develop a low viscosity adhesive emulsion, used in the Venezuelan cardboard and paper industry, from a base of hydrolyzed polyvinyl alcohols, to use concentrations between 12% and 34% for low alcohols, medium and high molecular weight, and thus a characterization of the samples was carried out evaluating their application and functionality; where the reproducibility and speed of each sample was evaluated, allowing the selection of the formula with viscosity lower than 2000cP, solids greater than 30% and drying times less than 5 minutes, which turned out to be the PVOH-3.A formula , which employs a concentration of $(53.7 + 0.2)\%$ adhesive base with a hydrolysed base of high molecular weight polyvinyl alcohol at $(12.6 + 0.2)\%$; with which the industrial scaling proposal was made. Finally, an estimate of the costs associated with the proposed industrial scaling for manufacturing was made, obtaining a cost of 48.09 USD / kg. This research shows that it is possible to obtain a low viscosity adhesive emulsion from a base of hydrolyzed polyvinyl alcohols, which could represent an interesting alternative that allows you to sell the paper and cardboard industry, as well as generating an added value due to practice in the production process.

Keywords: adhesives, polyvinyl alcohol, adhesive base, viscosity.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1 Descripción del problema	3
1.2 Formulación del problema	4
1.3 Objetivos	5
1.4 Justificación	6
1.5 Limitaciones	7
1.6 Alcance	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes de la investigación	8
2.2 Bases teóricas	12
2.2.1 Polímeros	12
2.2.2 Polimerización y estructuras	13
2.2.3 Emulsiones	15
2.2.4 Estabilidad de emulsiones	15
2.2.5 Adhesivos	16
2.2.6 Alcohol polivinílico	17
2.2.6.1 Propiedades del alcohol polivinílico	18
2.2.6.2 Usos del alcohol polivinílico	19
2.2.7 Generalidades económicas	20

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de estudio y de investigación	21
3.2 Diseño de la investigación	21
3.2.1 Elaboración de la emulsión adhesiva	21
3.2.2 Caracterización de la emulsión adhesiva	24
3.2.3 Evaluación de reproducibilidad y estabilidad	31
3.2.4 Propuesta de escalamiento industrial	34
3.2.5 Cálculo de costos asociados al escalamiento	35

CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Elaboración de una emulsión adhesiva base agua incorporando alcoholes polivinílicos	38
4.2 Caracterización de la emulsión adhesiva base agua, evaluando funcionalidad y aplicaciones.	42
4.3 Evaluación de reproducibilidad y estabilidad a escala piloto de la fórmula desarrollada	46
4.4 Propuesta de escalamiento a nivel industrial de la emulsión	57
4.5 Cálculo de costos asociados al escalamiento industrial	63

CONCLUSIONES	65
---------------------	----

RECOMENDACIONES	66
------------------------	----

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
-----------------------------------	----

APENDICE A: CÁLCULOS TÍPICOS	71
-------------------------------------	----

APENDICE B: TABLA DE DATOS	76
-----------------------------------	----

APENDICE C: TABLA DE RESULTADOS	92
--	----

ANEXOS	98
---------------	----

INDICE DE TABLAS

3.1 Modelo de matriz de selección	30
3.2 Estabilidad de emulsiones	31
4.1 Concentraciones utilizadas de alcoholes polivinílicos para elaborar una emulsión adhesiva.	36
4.2 Balance de masa para la mezcla de base adhesiva al 55% a 55% a concentraciones variables de alcohol polivinílico	39
4.3 Lista de materiales y etapas para la fabricación del adhesivo.	40
4.4 Material no volátil y viscosidad experimental de los ensayos realizados para obtener la emulsión adhesiva.	41
4.5 Tiempo de secado para cada fórmula desarrollada	45
4.6 Tiempo de desgarre para cada fórmula desarrollada	45
4.7 Evaluación de estabilidad para cada muestra	46
4.8 Matriz de selección de formulas	47
4.9 Caracterización para la fórmula 3.A de PVOH-A en laboratorio	48
4.10 Evaluación microbiológica de las muestras	50
4.11 Variación de la tensión superficial con aditivo humectante	51
4.12 Lista modificada de materiales y etapas	53
4.13 Caracterización para la fórmula 3.A de PVOH-A en planta piloto	54
4.14 Tiempo estimado de carga por material según la presentación	58
4.15 Tiempo de proceso por etapas	59
4.16 Instrucciones de operación propuestas para el escalamiento	60
4.17 Costos asociados al escalamiento del adhesivo 3.A. PVOH-A	62

INDICE DE FIGURAS

2.1 Estructura polimérica	12
2.2 Estructura de los polímeros lineal, ramificados y entrecruzados	13
2.3 Esquema de funcionamiento en adhesivo	16
2.4 Estructura química abreviada del alcohol polivinílico	18
3.1 Modelo para elaboración de diagrama de rangos móviles (I-MR).	33
3.2 Modelo para elaboración de gráfico de cajas	33
4.1 Viscosidad vs sólidos para hidrólisis de alcoholes polivinílicos	37
4.2 Variación de la concentración de alcoholes polivinílicos con base adhesiva de concentración fija.	38
4.3 Material no volátil obtenido experimentalmente según fórmulas	42
4.4 Viscosidad Brookfield obtenido experimentalmente según fórmulas	43
4.5 Potencial de hidrógeno obtenido experimentalmente según fórmulas	43
4.6 Gravedad específica obtenido experimentalmente según fórmulas	44
4.7 Relación sólidos – viscosidad para la fórmula 3.A	49
4.8 Tensión superficial en función de proporción de aditivo humectante	52
4.9 Comparación de relación sólidos – viscosidad para la fórmula 3.A en laboratorio y planta piloto	54
4.10 Perfil de temperatura en planta piloto para la fórmula 3.A.	55
4.11 Propuesta de equipo para escalamiento	57

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como objetivo desarrollar un emulsión adhesiva de PVA de baja viscosidad a partir de la hidrólisis de alcoholes polivinílicos, obteniendo un producto de mejor calidad y estable, de fabricación local.

El estudio propuesto se adecúa a la investigación proyectiva; mientras que el diseño de la investigación es de campo, puesto que permite no sólo observar, sino recolectar los datos directamente de la realidad objeto de estudio, en su ambiente cotidiano, para posteriormente analizar e interpretar los resultados de estas indagaciones.

El desarrollo de esta emulsión adhesiva contempla inicialmente la elaboración de la fórmula a partir de alcoholes polivinílicos, donde se identifican y caracterizan los alcoholes polivinílicos y mediante la hidrólisis de estos a 80°C, variando la concentración, se evalúa el comportamiento individual de cada alcohol. Asimismo, se consideran varias fórmulas en esta primera etapa y posteriormente mediante una matriz de selección se toma la fórmula con mejor desempeño de acuerdo a las evaluaciones individuales. Todo esto fundamentándose en el mejoramiento continuo.

Durante el desarrollo de la investigación, se pudo obtener una emulsión adhesiva de baja viscosidad, logrando alcanzar viscosidades entre (1000-2000)cP partiendo de una base adhesiva de alcohol polivinílico de alto peso molecular, hidrolizado a una concentración del $(12,6 \pm 0,2)\%$.

El trabajo está estructurado en cuatro capítulos y posteriormente se presentan las conclusiones y recomendaciones derivadas de la investigación. El capítulo I hace referencia al planteamiento del problema, donde se

encuentran definidos los objetivos de la investigación, así como su justificación y limitaciones. El capítulo II contempla el marco teórico referencial, en el cual se dan a conocer los antecedentes de la investigación y los aspectos bibliográficos necesarios para soportar la investigación. En el capítulo III se refleja la metodología empleada en cada objetivo, resaltando el uso de las herramientas desarrolladas en la investigación. Por último, en el capítulo IV se exponen las discusiones y resultados obtenidos durante el desarrollo del trabajo.

Esta investigación representa una alternativa interesante que permitiría abastecer la industria de cartón y papel, además de generar un valor agregado debido a la practicidad en el proceso de producción, ya que es posible obtener una emulsión adhesiva de baja viscosidad a partir de una base de alcoholes polivinílicos hidrolizada.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En este capítulo se presenta la descripción del problema que llevó a este trabajo de investigación, así como los principales aspectos que motivaron su realización, objetivos planteados para su desarrollo, justificación y limitaciones de la misma.

1.1 Descripción del problema

La industria en Venezuela, ha sufrido un gran impacto en materia de importaciones en los últimos años, actualmente muchas industrias se ven obligadas a modificar o sustituir sus productos por falta de algún componente; es por ello que la empresa patrocinante de la investigación orientados a áreas de la fabricación de recubrimientos, aplicaciones náuticas y automotrices, así como también a la industria petrolera y de cartón, reconocida a nivel nacional e internacional por su gran trayectoria en el país; está enfocada en la innovación de productos de alta calidad para dar respuesta local a los consumidores del país.

Dentro de la amplia gama de productos destinados a la industria, mencionados anteriormente, se presenta una necesidad en la industria cartonera; en particular un adhesivo PVA (Acetato de polivinilo) en base acuosa; el cual es fabricado sobre bases de alcoholes polivinilicos, con componentes orgánicos y propiedades de alto agarre sobre el sustrato, adherencia, viscosidad baja, secado rápido y estabilidad en el tiempo. En la actualidad este producto no se fabrica en Venezuela, considerando el delicado manejo del producto final en el tiempo, debido a la inestabilidad que presenta.

En Venezuela existen empresas que fabrican productos adhesivos en base de alcoholes polivinílicos de alta adherencia, pero con viscosidades que superan los 4000cP; mientras que muchos de los adhesivos empleados en procesos de la industria de cartón y papel de baja viscosidad son productos manufacturados en el exterior; con mucha dificultad comercializados en el país. Por otra parte en Venezuela han existido desarrollos de algunos de estos productos, pero muchos de estos de igual forma en presentaciones no estables, además de muchos otros sin éxito alguno; por lo cual no es posible satisfacer la demanda nacional con un producto de alta calidad, practicidad y funcionalidad; por lo que en consecuencia se debe importar dicho material.

En el país existen serios problemas para la adquisición de divisas, amenazando con esto el normal funcionamiento de las empresas, por lo que el desarrollo de un nuevo producto sintetizado con tecnología local y que confiera propiedades similares a las brindadas por los productos importados, ofreciendo a los clientes un uso práctico y directo sin tratamientos previos del mismo, sería de gran beneficio para la industria de cartón, ya que generaría confianza de suministro por un proveedor local además de un valor agregado en sus procesos con productos hechos en Venezuela.

Teniendo en cuenta esta situación surge la estrategia de desarrollar una emulsión adhesiva PVA en base acuosa a partir de alcoholes polivinílicos, de calidad y estable en el tiempo, para la industria de cartón y papel en el país.

1.2 Formulación del problema

Las emulsiones adhesivas de PVA, forman parte esencial en procesos de producción para empresas de cartón y papel; sin embargo, en los últimos años, ha disminuido la importación de estas emulsiones, lo que representa una caída cercana al 54% del mercado cartonero, obligando a este sector de

la industria venezolana a disminuir la producción por falta de material y a desarrollar emulsiones adhesivas inestables de corto tiempo de vida útil.

De lo anteriormente discutido se establece la siguiente hipótesis:

“Es posible desarrollar una emulsión adhesiva de acetato de polivinilo de baja viscosidad, partiendo de una base de alcoholes polivinilicos; que les permita a la industria nacional del cartón y papel suministro local”

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Desarrollar una emulsión adhesiva PVA de baja viscosidad a partir de alcoholes polivinilicos en base acuosa.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Elaborar una emulsión adhesiva base agua incorporando alcoholes polivinilicos en su formulación.
2. Caracterizar la fórmula de emulsión adhesiva base agua evaluando su funcionalidad y aplicaciones.
3. Evaluar reproducibilidad y estabilidad a escala piloto de la fórmula desarrollada.
4. Proponer el escalamiento a nivel industrial de la emulsión adhesiva.
5. Calcular los costos asociados al escalamiento industrial.

1.4 Justificación

La producción de adhesivos en el país en la actualidad es escasa, siendo este uno de los principales materiales empleados en los procesos para la industria del cartón y papel, es por ello que la presente investigación es de gran importancia, ya que aportará beneficios al desarrollar una emulsión adhesiva de PVA de baja viscosidad a partir de alcoholes polivinílicos en base agua. De esta manera se podrá contar con una emulsión estable de fabricación nacional, incrementando la oferta en el mercado, y a su vez permitirá mantener satisfecho a los clientes que en la actualidad deben importar adhesivos PVA de baja viscosidad. Esto se traduce en un mejor desempeño en general, obteniendo productos de mayor calidad, así como la disminución de costos relacionados con el proceso; lo que implica una contribución importante desde el punto de vista social, teniendo en cuenta que a través de ello se benefician también distintas empresas consumidoras del producto y el resto de los clientes en general. Por otra parte, en materia de salud y ambiente es de gran importancia el desarrollo de una emulsión adhesiva PVA de baja viscosidad, partiendo de alcoholes polivinílicos en medio acuoso, ya que este producto va dirigido al mercado del cartón y el papel, principalmente en material de empaque, que en la mayoría de los casos tiene contacto indirecto con alimentos. Este adhesivo facilita el secamiento rápido y una película rígida de buena adherencia y cuyo principal componente no es tóxico.

Asimismo, el desarrollo de esta investigación representa un gran aprendizaje para el autor, ya que involucra conocimientos y habilidades adquiridas durante la carrera universitaria al consolidar los principios básicos en diferentes áreas estudiadas, además de constituir una valiosa y útil experiencia práctica, tanto en el ámbito laboral como industrial.

El valor teórico de esta investigación permitirá ampliar los conocimientos referentes a emulsiones adhesivas de PVA de baja viscosidad a partir de alcoholes polivinílicos en base agua, podrá servir de modelo en la ilustre Universidad de Carabobo y en otras casas de estudio. En consecuencia, este tema podrá convertirse en un entorno de particular interés para el desarrollo de futuras investigaciones, contribuyendo al desarrollo de emulsiones, a partir de alcoholes polivinílicos en base agua, que permitan incrementar la oferta en el mercado venezolano, especialmente en el campo industrial y en su aplicación como aprendizaje del futuro magister en ingeniería de procesos de los centros de educación superior venezolanos.

1.5 Limitaciones

Entre los factores limitantes que puedan considerarse durante la elaboración de esta investigación, se encuentran los relacionados a la disposición de equipos de medición de propiedades físicas, necesarias para el cumplimiento de los objetivos. La política de privacidad forma parte importante en cuanto a las limitantes en el desarrollo de la investigación, restringiendo información para cumplir lo referente a la confidencialidad.

1.6 Alcance

La presente investigación procura llegar hasta la síntesis de un polímero adhesivo PVA en base acuosa a partir de alcoholes polivinílicos, de baja viscosidad y alta estabilidad, el establecimiento de las variables más influyentes en el proceso de síntesis además de garantizar las condiciones seguras de operación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Este capítulo muestra una recopilación bibliográfica ajustada a este trabajo de investigación. La misma se presenta en forma ordenada, adaptada por el investigador de acuerdo a la información.

2.1 Antecedentes

Martín et. al. (2006), explicaron la síntesis de procesos químicos como un proceso holístico que requiere la solución de problemas a través de métodos algorítmicos y heurísticas basadas en los principios fundamentales de la ingeniería química. El objetivo de este trabajo es proponer una metodología que apoye el diseño de la síntesis de un proceso químico, utilizando reglas heurísticas y bajo un enfoque holístico. Esta metodología holística descompone el problema original en 4 problemas más sencillos, denominados etapas: reacción, asignación, separación e integración. Las soluciones de cada ejercicio pueden modificar los resultados de la metodología, impartándole de esta manera el carácter holístico. Esta metodología se probó exitosamente en el aula de clase durante 3 años en cursos de la Universidad Simón Bolívar.

Gonzalez et. al. (2009), estudiaron una amplia caracterización de mezclas de polipropileno con almidón de yuca a través del análisis de sus propiedades térmicas, termodegradativas, tensiles, reológicas y morfológicas, así como el estudio del comportamiento de la absorción de agua con el tiempo a través de FTIR y el efecto de la degradabilidad en suelos con nutrientes. Se obtuvo que la adición de almidón de yuca al PP incrementa la estabilidad térmica de la mezcla, siendo este efecto más notable en las mezclas donde se utilizó almidón plastificado y cuando se agregó PP-f-MAH. El almidón de yuca actúa como agente nucleante del PP incrementando la

temperatura de cristalización y la cristalinidad. El módulo de Young y la resistencia a la tracción del PP incrementan al añadirle 10 ppc de almidón de yuca y comienzan a disminuir a mayores contenidos. Sin embargo, la adición de PP-g-MAH a la mezcla produce una disminución de las propiedades mencionadas. Finalmente, la degradabilidad de la mezcla en suelos fértiles afecta significativamente el módulo de Young, cuyos valores disminuyen de 1841 a 834 MPa.

Blanco et. al. (2009), recolectaron información acerca del comportamiento de aludes torrenciales a escala real utilizando modelos numéricos. Sin embargo, los parámetros reológicos que les permitieron representar los fluidos que componen el flujo son difíciles de obtener utilizando reómetros convencionales. En general experiencias de laboratorio son combinadas con modelos matemáticos para calibrar los modelos reológicos. Luego, el modelo numérico calibrado es utilizado para predecir el comportamiento de los aludes torrenciales en campo. Lograron además analizar predicciones a escala de campo utilizando modelos numéricos ajustados a partir de experiencias de laboratorio. Resultados obtenidos para flujo de agua en experiencias de laboratorio a gran escala fueron modeladas utilizando modelos reológicos distintos. Los parámetros de los modelos reológicos se ajustaron utilizando un modelo matemático. Los resultados muestran que aún cuando el fluido considerado en las experiencias de laboratorio fue el agua, todos los modelos reológicos pudieron ser adecuadamente calibrados. Sin embargo, cuando los modelos fueron aplicados a un evento a escala real, las predicciones obtenidas resultaron completamente distintas. Esto sugiere que ajustar modelos reológicos utilizando experimentos a escala de laboratorio para luego utilizarlos en predicciones de eventos a escala real podría ser una práctica muy cuestionable.

Mollega et. al. (2011), realizaron un estudio de la carboximetilación del almidón de yuca en medio acuoso empleando ácido monocloroacético (AMCA) como agente modificante. Todas las variables que afectan el proceso de modificación química se investigaron de manera sistemática. Las cinco variables de reacción seleccionadas fueron: tiempo de activación, temperatura de activación, tiempo de reacción, relación almidón/solvente (% p/v) y relación molar entre reactivos: agente activante, agente modificante y unidades anhidroglucosa (NaOH:AMCA:UAG). Estas variables se analizaron a fin de optimizar las condiciones de reacción, que dan lugar a los mayores grados de sustitución (GS) y a los más altos valores de viscosidad en soluciones acuosas. Esto representa una aproximación novedosa a la modificación química del almidón pues balancea el grado de sustitución obtenido con la minimización de la degradación química durante la reacción. Se pudo observar que si bien factores como el aumento de la temperatura y del tiempo favorecen un mayor GS, también reducen los valores de viscosidad. Las condiciones que conducen a productos con las mayores viscosidades son una concentración de 5% de almidón/H₂O, 50 °C como temperatura de activación, 2 horas de activación, 3 horas de reacción y una relación molar entre reactivos igual a 2:1:1 (NaOH:AMCA:UAG). El valor máximo de viscosidad a bajas tasas de corte obtenido fue de 0,26 Pa•s cuando se midió en una solución salina al 3% p/p del almidón modificado y 0,1 M de NaCl.

Reyes y Di'scipio (2012), analizaron los aspectos físico-químicos (formulación-composición) asociados con la caracterización de una emulsión de aceite en agua (O/W), manufacturada por la industria alimentaria, es de gran importancia porque aporta una base de conocimiento para su elaboración. Este tipo de sistemas debe poseer gran estabilidad porque se somete a altos tiempos de almacenamiento, muchas veces bajo estrés térmico. Se elaboraron emulsiones de aceite de maíz en agua con un

surfactante no iónico (HLB=15), mediante emulsificación directa variando la relación aceite en agua (f) y concentración de surfactante. Se utilizó un sistema de mezclado ajustando la configuración geométrica del estator, del impulsor y la potencia nominal del motor. Las propiedades estudiadas fueron: conductividad, estabilidad como porcentaje de volumen coalescido y clarificado, comportamiento reológico y distribuciones de diámetro de gota. La información recolectada se usó para la generación de mapas 3D. La conductividad dependió notablemente de la proporción de fase interna (IPR) y de la concentración de surfactante. Las emulsiones más estables fueron las de 80 % O/W. La estabilidad a 50 °C resultó mayor que a 40 °C. La estabilización fue atribuida a cambios en la partición del surfactante, aumentando su adsorción en la interfase. Las emulsiones más concentradas, presentaron un comportamiento pseudoplástico, mostrando una transición a 60 %, para convertirse en newtonianas a menores concentraciones ($f=50$ %).

Pereira (2012), explica principalmente los surfactantes como moléculas que poseen una parte polar y una parte no polar. Tienen afinidad por las interfases y tienen la capacidad de reducir la tensión interfacial. Los surfactantes se adsorben una interfase líquido-líquido y pueden estabilizar emulsiones. La adición de alcoholes puede modificar las propiedades de los surfactantes, tales como: tensión superficial, área superficial, conformación molecular, solubilización, estructura de asociación del surfactante, adsorción, etc.. Los alcoholes dependiendo de su estructura química pueden repartirse entre la fase acuosa y aceite. Entonces, la comprensión de la interacción entre el surfactante y el alcohol es importante para las formulaciones químicas.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Polímero

Los polímeros se definen como macromoléculas (compuestos de alto peso molecular), compuestas por una o varias unidades químicas (monómeros), que se repiten a lo largo de toda una cadena. Ej: caucho, las fibras, proteínas, la seda. Polímeros sintéticos como los plásticos, elastómeros, nylon. Los mismos principios aplican a todos los polímeros creando una amplia extensa gama de la química, (Billmeyer, 2004).

La parte básica de un polímero son los monómeros; unidades químicas de bajo peso molecular a partir de los cuales se obtienen los polímeros, cuya unidad estructural o conjunto de átomos se repiten a lo largo de toda la cadena de un polímero, como se muestra en la figura 2.1.

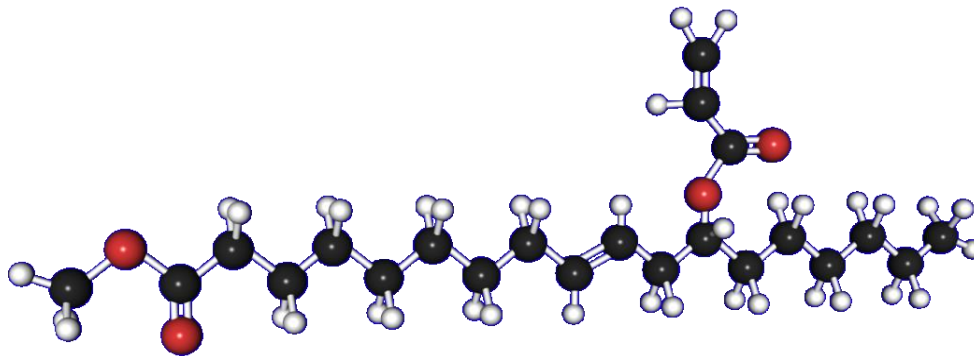


Figura 2.1. Estructura polimérica, (Billmeyer, 2004).

Los polímeros pueden ser tanto de origen natural como sintético. Los de origen natural son: la celulosa, el caucho natural y las proteínas; mientras que los poliésteres, poliamidas, poliacrilatos y poliuretanos, son familias o grupos de polímeros sintéticos, con una composición química similar dentro de cada grupo. Las propiedades de los polímeros están fuertemente

determinadas por el (los) monómeros constituyentes y su distribución, (Billmeyer, 2004).

2.2.2. Polimerización y estructura

Se denomina polimerización a la reacción química por la cual se sintetiza un polímero, a partir de sus monómeros; dando lugar a una molécula de gran masa molar, con una estructura, la cual puede ser una cadena lineal, ramificada o entrecruzada (tridimensional). En cualquier caso, el tamaño de la cadena dependerá de parámetros como la temperatura o el tiempo de reacción, teniendo cada cadena un tamaño distinto y, por tanto, una masa molecular distinta, por lo que se habla de masa promedio para el polímero. En la figura 2.2 se muestra una representación simple de la clasificación de los polímeros de acuerdo a su estructura, (Odián, 2004).

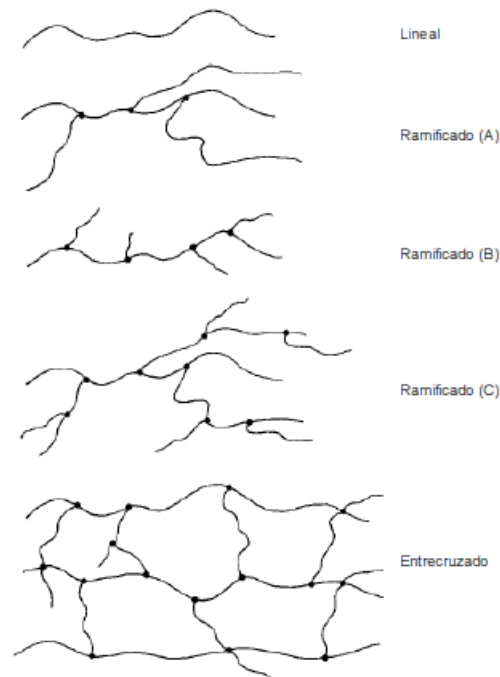


Figura 2.2. Estructura de los polímeros; lineal, ramificados y entrecruzados, (Odián, 2004)

La diferencia entre las moléculas lineales y ramificadas, que dan forma a los polímeros, puede ser apreciada en la representación estructural en la figura 2.2, Los puntos donde crecen las ramificaciones, son indicados con puntos más oscuros. La ilustración muestra que hay diferentes clases de polímeros ramificados. Los polímeros ramificados pueden ser combinados con cualquier tipo de estructuras, largas (A) o cortas (B). Cuando existen ramificaciones extensivas, los polímeros pueden tener una estructura dendrítica, en la cual hay ramificaciones que parten de otras ramificaciones, que son ramificaciones de ramificaciones (C). La presencia de ramificaciones en un polímero, usualmente, tiene un gran efecto en muchas propiedades importantes del mismo. El cambio de la propiedad más significativa ocasionado por las ramificaciones es el decremento de la cristalinidad. Los polímeros ramificados no se cristalizan tan fácilmente como lo hacen los polímeros lineales (Odian, 2004).

La naturaleza química de los monómeros, su masa molecular y otras propiedades físicas, así como la estructura que presentan, determinan diferentes características para cada polímero; ahora bien, los enlaces de carbono en los polímeros no son equivalentes entre sí, por eso, dependiendo del orden estereoquímico de los enlaces, un polímero puede ser: atáctico (sin orden), isotáctico (mismo orden), o sindiotáctico (orden alternante); a esta conformación se le llama tacticidad. Las propiedades de un polímero pueden verse modificadas severamente, dependiendo de su estereoquímica.

En el caso que el polímero provenga de un único tipo de monómero, se le denomina homopolímero y si proviene de varios monómeros se le llama copolímero o heteropolímero. Por ejemplo, el poliestireno es un homopolímero, pues proviene de un único tipo de monómero, el estireno, mientras que si se parte de estireno y acrilonitrilo se puede obtener un copolímero de estos dos monómeros, el copolímero estireno-acrilonitrilo. En

los heteropolímeros, los monómeros pueden distribuirse de diferentes maneras; particularmente, para polímeros naturales, los monómeros pueden repetirse de forma aleatoria o periódica. Análogamente, los monómeros que conforman la cadena de un copolímero se pueden ubicar en la cadena principal alternándose según diversos patrones, denominándose copolímero alternante, en bloque, estadístico (aleatorio), de injerto. Para lograr este diseño, la reacción de polimerización y los catalizadores deben ser los adecuados, (Brydson, 1999).

2.2.3. Emulsiones

Una emulsión es una dispersión termodinámicamente inestable de dos o más líquidos inmiscibles o parcialmente miscibles. Los diámetros de las gotas líquidas que se encuentran dispersas se encuentran en el rango de 0.1 y 20 μm . Aunque se traten de dispersiones termodinámicamente inestables, las emulsiones pueden convertirse en cinéticamente estables gracias a la presencia de agentes tensioactivos que presentan la capacidad de absorción en las superficies de las gotas. En la mayoría de las emulsiones una de las fases es acuosa y la otra un aceite polar. Las emulsiones con el aceite como fase dispersa se conocen como emulsiones de aceite en agua (oil-in-water, o/w) y las emulsiones con agua como fase dispersa se conocen como emulsiones de agua en aceite (water-in-oil, w/o), (Aranberri et. al., 2006).

2.2.4 Estabilidad de emulsiones

La estabilidad de una emulsión depende de los siguientes factores: el tamaño de partícula, la diferencia de densidad de ambas fases, la viscosidad de la fase continua y de la emulsión acabada, las cargas de las partículas, la naturaleza, la eficacia y cantidad del emulsivo, y las circunstancias de almacenamiento, o sea, las temperaturas altas y bajas, la agitación y vibración, la dilución o evaporación durante el almacenamiento o el uso.

Puesto que las partículas de una emulsión están suspendidas libremente en un líquido, obedecen a la ley de Stokes si no están cargadas. Para muchos fines industriales la definición de estabilidad incluye forzosamente la no coalescencia de las partículas de la emulsión y la no sedimentación. La incorporación de aire en una emulsión puede tener como consecuencia la reducción notable de la estabilidad.

El tamaño y la distribución de tamaños de las partículas de una emulsión son gobernados por la cantidad y la eficacia del emulsivo, el orden de la mezclado y la clase de agitación que se haga. Si se reduce poco a poco el tamaño de las partículas de la emulsión, varían el color y el aspecto de ésta, (Aranberri et. al., 2006).

2.2.5 Adhesivos

En un material capaz de unir 2 sustratos mediante los mecanismos de adhesión (desarrollados entre el adhesivo y el sustrato) y los mecanismos de cohesión (desarrollados en el interior del propio adhesivo). Un adhesivo es un material no metálico, generalmente nos referimos a los adhesivos a materiales compuestos por polímeros orgánicos que se encuentran en un estado líquido cuando se aplican y se transforman en un estado sólido tras su posterior curado o endurecimiento.

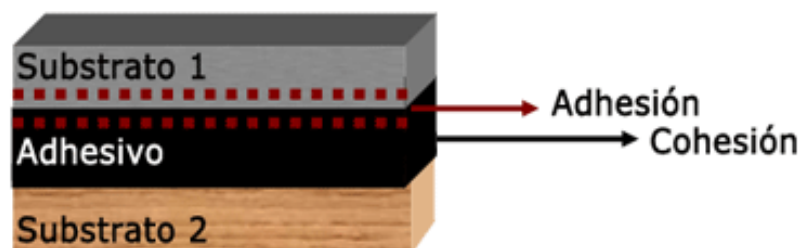


Figura 2.3. Esquema de funcionamiento en adhesivo, (Shinoda y Saito, 1969)

Atendiendo a la figura 2.3. y a la definición de adhesivo, necesitamos definir 3 conceptos importantes: sustrato o adherente, adhesión y cohesión.

- sustrato o adherente: corresponde al material que pretendemos adhesivar o unir.
- Definición de adhesión: corresponde a todas las fuerzas o mecanismos que mantiene unido el adhesivo con cada sustrato, el término de adhesión hace referencia al conjunto de los mecanismos y fuerzas situadas en una fina capa (capa límite) existente entre el sustrato y el propio adhesivo.
- Definición de cohesión: corresponde a todas las fuerzas o mecanismos que mantiene unido el propio adhesivo.

Tanto en la definición de adhesión y cohesión se hace referencia a las fuerzas que permiten mantener unidas el adhesivo con el sustrato (adhesión) y el propio adhesivo (cohesión), dichas fuerzas corresponden a: los enlaces químicos covalentes que se desarrollan entre los átomos permitiendo la creación de moléculas y polímeros, así mismo los enlaces químicos permiten unir diferentes cadenas poliméricas creando estructuras compactas y altamente reticuladas (materiales termoestables); y también las fuerzas intermoleculares que ocurren entre moléculas permitiendo crear estructuras amorfas con una excelente elasticidad y deformabilidad. Tanto los enlaces químicos como las fuerzas intermoleculares son los elementos de anclaje que mantienen unido el adhesivo con el sustrato (adhesión) y el propio adhesivo (cohesión), (Shinoda y Saito, 1969).

2.2.6 Alcohol Polivinílico

El alcohol de polivinilo (PVOH, PVA, o PVal), también llamado polietenol o poli (alcohol vinílico), es un polímero sintético soluble en agua,

de fórmula química general $(C_2H_4O)_n$. No debe confundirse con acetato de polivinilo, un popular pegamento de madera. A diferencia de muchos polímeros vinílicos, el PVOH no es preparado por la polimerización del correspondiente monómero. Dado que el alcohol vinílico es inestable con respecto a la isomerización a acetaldehído su polímero debe prepararse por métodos indirectos. El monómero, alcohol vinílico, existe casi exclusivamente en la forma tautoméricas, el acetaldehído. El PVOH se prepara por alcoholísis (se emplean también los términos menos exactos hidrólisis y saponificación) parcial o total de acetato de polivinilo para eliminar los grupos acetato, (Alvarez y Zaragoza, 2006).

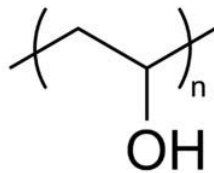


Figura 2.4. Estructura química abreviada del alcohol de polivinilo, (Alvarez y Zaragoza, 2006)

2.2.6.1 Propiedades del alcohol polivinílico

El alcohol polivinílico tiene excelentes propiedades para formar películas, como emulsionante y como adhesivo. También es resistente al aceite, grasas y disolventes. Es inodoro y no tóxico. Tiene alta resistencia y flexibilidad, así como alta propiedades de barrera para el oxígeno y los aromas. Sin embargo, estas propiedades dependen de la humedad, es decir, con mayor humedad más agua es absorbida. El agua, que actúa como un plastificante, a su vez reducirá su resistencia a la tracción, pero aumentan su elongación y resistencia al desgarro. El PVOH es totalmente degradable y se disuelve rápidamente. El PVOH tiene un punto de fusión de 230°C y 180-

190°C para los grados totalmente hidrolizado y parcialmente hidrolizado respectivamente. Se descompone rápidamente por encima de 200°C. El poli (alcohol de vinilo) no funde como un termoplástico, sino que se descompone por pérdida de agua de dos grupos hidroxilos adyacentes a temperaturas superiores a 150°C. Los enlaces dobles permanecen en la cadena y, a medida que se forman más en posiciones conjugadas, tiene lugar una coloración importante.

2.2.6.2 Usos del alcohol polivinílico.

El alcohol polivinílico es la materia prima para hacer otros polímeros como: nitrato de polivinilo (PVN), Polivinil acetales y el poli (vinil formal) se utiliza en esmaltes para recubrimientos de cables eléctricos y en tanques de gasolina de auto-sellado.

El alcohol polivinílico se utiliza como ayuda en la polimerización en emulsión, como coloide protector, para hacer dispersiones de acetato de polivinilo. Esta es la aplicación más grande del mercado en China. En Japón, su uso principal es la producción de fibra vinylon o vinalon. En las fibras de poli (alcohol de vinilo), la forma final del polímero es insoluble en agua como resultado de un tratamiento químico. El polímero se hila en húmedo a partir de agua caliente pasando por una disolución acuosa concentrada de sulfato de sodio que contiene ácido sulfúrico y formaldehído. El polímero se insolubiliza por la formación de grupos formal:

Aproximadamente una tercera parte de los grupos hidroxilo se hace reaccionar para insolubilizar la fibra. Un cierto grado de acetalización entre las cadenas es deseable para reducir la contracción de la fibra, pero debe controlarse cuidadosamente la cantidad, (Alvarez y Zaragoza, 2006).

2.2.7 Generalidades Económicas

A continuación se muestran dos conceptos extraídos de la bibliografía de Guerra, “Glosario para administradores y economistas agropecuarios” (1995); que permiten definir los terminados asociados al estudio económico planteado en la investigación.

2.2.7.1 Beneficio

Expresa la relación que existe entre el ingreso generado cuando es mayor que el costo empleado. Los beneficios intangibles no se pueden incorporar al marco beneficio- costos, aun cuando son aceptables como valiosos, por tanto, deben calcularse de manera subjetiva o indirecta.

2.2.7.2 Costo

El término, generalmente, se entiende como el desembolso o gasto en dinero que se hace en la adquisición de los insumos empleados en la producción de bienes y servicios. La suma de esfuerzos y recursos que se han invertido para producir algo útil, (Guerra, 1995).

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se describe la investigación según el diseño adoptado por el investigador. Además se presenta en pasos ordenados la metodología empleada para la obtención, clasificación, comprensión y organización de la información

3.1 Tipo de estudio y de investigación

En el marco de la investigación se planteó, dirigida al desarrollo de una emulsión adhesiva PVA de baja viscosidad a partir de alcoholes polivinílicos en base acuosa y en función de los objetivos planteados, el estudio propuesto se adecúa a la investigación proyectiva.

Según Hurtado (2000), el estudio de investigación proyectiva *“consiste en la elaboración de una propuesta o de un modelo, como solución a un modelo o necesidad de tipo práctico, ya sea de un grupo social o de una institución, en un área particular del conocimiento”*.

En lo referente al diseño de la investigación es de campo, por cuanto este diseño de investigación, según Balestrini (2001), *“...permite no sólo observar, sino recolectar los datos directamente de la realidad objeto de estudio, en su ambiente cotidiano, para posteriormente analizar e interpretar los resultados de estas indagaciones”*.

3.2 Diseño de la investigación.

3.2.1 Elaborar una emulsión adhesiva base agua incorporando alcoholes polivinílicos en su formulación.

En esta primera etapa se inició con la identificación y caracterización de los materiales utilizados para la elaboración de emulsiones adhesivas. Se

evaluó el desempeño químico mediante la caracterización de los alcoholes polivinílicos, grado de hidrólisis y viscosidad que desarrollaron, comparando entre los diferentes tipos de OH-PVA y en base a esto se inició la elaboración de la emulsión. El grado de hidrólisis de un alcohol polivinílico vino dado por la mezcla entre agua desionizada y alcohol polivinílico a temperaturas mayor a 60°C, bajo este esquema se evaluó el desempeño de la viscosidad y el porcentaje de la mezcla a medida que se incrementaba la cantidad de alcohol en agua. Para ello fue necesario elaborar diferentes ensayos, con mezclas que permitieron desarrollar las especificaciones definidas de la emulsión adhesiva.

Se partió de una conversión y base de alcoholes cercana al 15% (como tope máximo) para la formulación inicial, con una base adhesiva de material no volátil (%MNV) mayor al 50%. La emulsión adhesiva que se elaboró es de baja viscosidad, entre 1000cP – 2000cP, y de secamiento rápido; lo que implica que el %MNV debe ser mayor al 30%. Posteriormente, mediante un balance de masa se obtuvieron valores teóricos para la mezcla adhesiva, que permitían obtener el %MNV teórico y a partir de estos se realizaron los ensayos. Las emulsiones obtenidas durante el desarrollo de este objetivo fueron caracterizadas en la siguiente etapa. Los valores de viscosidad y %MNV estuvieron dentro del rango establecido para el cumplimiento de este objetivo.

La elaboración de cada emulsión adhesiva siguió el mismo esquema de fabricación, con tres (3) etapas básicas para la obtención de la emulsión adhesiva, las cuales son:

Etapa 1: hidrólisis

Etapa 2: adición de base adhesiva

Etapa 3: ajuste

Asimismo el cumplimiento de tiempos de mantenimiento, cargas y homogeneización, fue igual para cada una de las fórmulas, variando simplemente la concentración de la hidrólisis y carga total de base adhesiva; donde se empleó la lista de materiales detallada en la tabla 4.3.

Tabla 3.2.1 Lista de materiales y etapas para la fabricación del adhesivo.

ETAPA 1	HIDRÓLISIS
Materia prima	Agua desionizada
	Antiespumante
	Alcohol polivinílico
ETAPA 2	ADICIÓN DE BASE ADHESIVA
Materia prima	Base adhesiva 2519
ETAPA 3	AJUSTE
Materia prima	Agua desionizada

El esquema de fabricación por etapa a nivel de laboratorio, inicia con la adición de agua desionizada en un reactor de vidrio con capacidad para 2000g, que dispone de un agitador eléctrico de paletas metálicas para mezclar. Adicionalmente el reactor se introduce en una manta eléctrica donde se calienta hasta 55°C. Al alcanzar esta temperatura, comienza la adición de antiespumante y posteriormente la carga de alcohol polivinílico, incorporándose al agua tibia con una agitación de 80rpm aproximadamente. Culminada esta adición, se incrementa la temperatura a 80°C y se mantiene por 40min con mezcla constante. Al culminar el tiempo de mantenimiento se enfría con aire comprimido a través de las paredes externas del reactor de vidrio, hasta 72°C, donde se carga la base adhesiva y se mezcla por 30 minutos junto al alcohol hidrolizado, hasta formar una mezcla homogénea. Posterior a esto se toma una muestra donde se chequea el %MNV y la viscosidad Brookfield.

Si el %MNV se encuentra por encima del rango máximo, se ajusta con agua desionizada. Si este se encuentra por debajo del valor mínimo permitido, no podrá ajustarse. De igual manera ocurre con la viscosidad Brookfield.

3.2.2 Caracterizar la fórmula de emulsión adhesiva base agua evaluando su funcionalidad y aplicaciones.

En esta etapa de caracterización se analizaron las muestras de emulsión adhesiva obtenidas a través de la mezcla de alcoholes polivinílicos y base adhesiva, según métodos de referencia, evaluando el desempeño de estas según las especificaciones definidas.

- **Determinación de sólidos en resinas sintéticas**

Este método de ensayo contempla la determinación de sólidos ó componentes no volátiles en resinas sintéticas, fundamentado en el método: Covenin 827. El método se basa en la determinación del contenido de sólidos en una resina, evaporando la parte volátil (solvente) a una temperatura, por un tiempo preestablecido.

Equipos:

Balanza con apreciación de 0,1 mg.

Horno termoestable con precisión de 1°C.

Plancha de calentamiento.

Recipiente: Platillo de aluminio de aproximadamente 57 mm. de diámetro y 12,5mm de altura.

Reactivos: Agua desionizada, 2mL

Procedimiento:

- a) Se fijó la temperatura del horno a 120°C con precisión de +/- 1°C.
- b) Se pesó un recipiente adecuado y se taró (tomar el peso), con precisión de 0,1 mg.
- c) Se pesó en el recipiente 0,5g de muestra, con precisión de 0,1 mg. Obteniendo una película de espesor uniforme en todo el platillo, se agregó 0,3mL de agua desionizada, con precisión de 0,1 mL.
- d) Se colocó el recipiente en el horno a 120°C por 30 minutos.
- e) Se retiró el recipiente del horno al finalizar el tiempo establecido para el ensayo.
- f) Se pesó el recipiente, con precisión de 0,1 mg y se efectuó el ensayo por duplicado.

Cálculos y expresión de los resultados:

El porcentaje de sólidos se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Sólidos} = \frac{M2 - \text{Tara}}{M1} \times 100 \quad (3.1)$$

Donde:

M1= Masa de la muestra de resina antes del proceso de evaporación, en gramos.

M2 = Masa de la muestra de resina después del proceso de evaporación, en gramos.

- **Determinación de la gravedad específica con picnómetro a 25/25°C.**

Este método cubre la determinación de la gravedad específica de líquidos, por medio del picnómetro, fundamentado en el método: Covenin 571. Se determina el peso de la muestra que ocupa el volumen del

picnómetro, así como el peso del mismo en volumen de agua a 25°C. La gravedad específica se obtiene dividiendo el peso de la muestra entre el peso del mismo volumen de agua y se expresa como la gravedad específica a 25/25.

Equipos:

Picnómetro metálico o de vidrio, según precisión requerida.

Balanza analítica o semianalítica.

Termómetro.

Baño termostataado a 25°C.

Reactivos: ninguno

Procedimiento:

- a) Se atemperó la muestra a 25°C.
- b) Se pesó el picnómetro vacío.
- c) Posteriormente se agregó la muestra en el picnómetro y se tapó, dejando escurrir la muestra sobrante por el orificio de la tapa.
- d) Se secó bien y se pesó nuevamente.
- e) El peso de la muestra se obtuvo por diferencia de pesada entre el picnómetro vacío y lleno.

Cálculos y expresión de los resultados:

La gravedad específica se obtuvo de la forma siguiente:

$$G/E = \frac{(P.P.M - P.P.V)}{K} \quad (3.2)$$

Donde:

P.P.M = Peso del picnómetro con muestra.

P.P.V = Peso del picnómetro vacío.

K = Volumen del picnómetro.

Determinación de pH

Este método cubre la determinación potenciométrica del pH de una solución acuosa. Fundamentado en el método: ASTM D-4584, convenio 676. Se sumerge el electrodo en la muestra a ensayar; luego de estabilizada la lectura, se toma el valor de pH.

Equipos:

pH-metro.

Electrodo de vidrio (Acuoso)

Vaso de precipitados de 250 mL.

Termómetro.

Reactivos:

Soluciones Buffer N° 4,7,10.

Agua destilada

Alcohol

Procedimiento:

- a) Se calibró el pH-metro con solución buffer.
- b) Se atemperó la muestra a 25°C, en un beaker de 250 mL.
- c) Se sumergió el electrodo (3/4 partes) en la muestra.
- d) Se esperó a que se estabilizara y para luego tomar el valor de pH del dial de la pantalla.
- e) Se sacó el electrodo y se lavó bien con alcohol y/o agua.
- f) Se dejó el electrodo sumergido en agua destilada o desionizada.

Cálculos y expresión de los resultados:

Se reportó el valor de pH con dos (2) cifras significativas.

- **Apariencia**

Este método se basa en la determinación visual de la apariencia de un producto líquido a partir de la adaptación de la norma ASTM D 2090-88.

Equipos:

Tubos de vidrio claros, Gardner

Procedimiento

- a) En el tubo de vidrio Gardner, se tomó la muestra del producto almacenado o directamente del proceso final
- b) Se observaron sus características generales como: fluido, viscoso, transparente, turbio, blanco, ámbar, etc.

Reporte:

Se reportó la apariencia de la muestra de acuerdo con sus especificaciones y sus posibles defectos.

- **Determinación de la viscosidad Brookfield**

Este método permite determinar la viscosidad Brookfield de resinas en estado líquido, emulsión o dispersión, pinturas y otros materiales que exhiban propiedades tixotrópicas, utilizando un viscosímetro Brookfield LVF, LVT o RVT; fundamentado en la norma covenin 889. Se llena el envase con la muestra a ensayar y se sumerge el vástago seleccionado, hasta la marca indicada en el eje, se acciona el motor a la velocidad (rpm) indicada, luego de un minuto (1 min) se toma la lectura, la cual se multiplica por su factor correspondiente para obtener la viscosidad.

Equipos:

Frasco plástico de boca ancha de 500mL

Termómetro con apreciación de 0,2 ° C mínimo.

Cronómetro con apreciación de 0,1 seg. mínimo.

Viscosímetro Brookfield modelos RVT o RVF.

Reactivos: Ninguno

Procedimiento:

- a) Se acondicionó la temperatura de la muestra a $25 \pm 1^\circ \text{C}$.
- b) Se seleccionó el Spindle (aguja) y las revoluciones especificadas, según el tipo de resina.
- c) Se colocó el frasco con la muestra debajo de Spindle y se bajó el equipo lentamente hasta que la altura marcada en el Spindle estuvo al ras con la superficie de la muestra.
- d) Se movió el frasco de manera que el Spindle quedara en el centro de la muestra.
- e) Se niveló el viscosímetro guiándose con el indicador de la burbuja y los tornillos móviles de la base.
- f) Se colocó el punto indicador en el valor cero de la escala por medio del botón en posición ON, se encendió el viscosímetro por un tiempo de un (1) min. y luego se llevó el botón a posición OFF, pasando el punto indicador por el valor de la escala correspondiente a la viscosidad obtenida.
- g) Se determinó una vez más el valor de la viscosidad, y se calculó el promedio de las dos lecturas realizadas, multiplicando por el factor correspondiente. La posición vertical de los frascos es obligatoria.

Cálculos y expresión de los resultados:

- a) Se convirtió el valor promedio obtenido a centipoises multiplicándolo por el factor correspondiente, que va a depender del N° del Spindle (aguja) y del N° de rpm (revoluciones por minuto) utilizadas en el ensayo.
- b) Se reportó la viscosidad Brookfield (aparente) en centipoises (cps), así como la temperatura, Spindle y rpm usados en la medición.
- c) La precisión varía con la velocidad (rpm) del viscosímetro y el nivel de viscosidad; sin embargo, la repetibilidad y reproducibilidad de las lecturas de viscosidad deben estar dentro de +/- 10%.

En términos generales, el criterio que fue usado para juzgar la aceptación de resultados con un nivel de confianza del 95 %, para todos los ensayos es el siguiente:

- Repetitividad: la diferencia promedio entre dos resultados (cada promedio de determinaciones por duplicado) obtenida por el mismo analista debe aproximarse al 0,2 % absoluto. Dos resultados deben ser considerados sospechosos si difieren por más del 0,5 % absoluto.

- Reproducibilidad: la diferencia promedio entre dos resultados obtenidos por analistas de diferentes laboratorios debe aproximarse al 0,4 % absoluto. Dos resultados deben ser considerados sospechosos si difieren por más del 1,0 % absoluto.

3.2.3 Evaluar reproducibilidad y estabilidad a escala piloto de la fórmula desarrollada.

De las fórmulas desarrolladas y caracterizadas de acuerdo con la metodología anterior, se realizó la selección de la fórmula con mejor desempeño, mediante una matriz de selección, herramienta metodológica que se aplica según los siguientes pasos:

- Se realiza la conformación para la evaluación de las alternativas planteadas.
- Se definen los criterios de selección por medio de los cuales fueron evaluadas las alternativas anteriormente planteadas:
 - ✓ Relación base de alcohol polivinílico – base adhesiva (A.)
 - ✓ Relación %MNV – Viscosidad (B.)
 - ✓ Tiempo de secamiento (C.)
 - ✓ Tiempo de desgarre (D.)
 - ✓ Estabilidad (E.)
- Se define la ponderación de cada criterio, la cual va comprendida en una escala del uno al cien por ciento, esta ponderación se establece de acuerdo a la influencia e importancia de dicho criterio en el proceso.
- Se realiza la matriz de selección de acuerdo a los parámetros establecidos.
- Se define la escala mediante la cual serán evaluados cada uno de los criterios seleccionados.

La tabla 3.2.1 muestra un modelo de matriz de selección, de acuerdo con lo pasos mencionados:

La fórmula desarrollada y caracterizada, se escaló a planta piloto, donde se comparó el desempeño del proceso en una escala más cercana a una planta industrial. Esto permitió evaluar las condiciones necesarias, definidas según el desarrollo de la emulsión. Se establecieron según las condiciones del proceso desarrollado en la primera etapa:

- Etapas del proceso
- Temperatura de operación y forma de calentamiento.
- Parámetros de agitación.
- Chequeos y parámetros que permitan establecer un control durante el proceso.
- Detección de posibles desviaciones de proceso o calidad.
- Estabilidad de la emulsión durante el proceso.

TABLA 3.2.2
Modelo de matriz de selección

Criterios	Ponderación (%)	Propuesta 1		Propuesta 2		Propuesta 3	
A	20	2	40	2	40	2	40
B	15	10	150	5	75	10	150
C	15	2	30	2	30	6	90
D	30	5	150	5	150	10	300
E	20	6	120	6	120	6	120
Total:	100	-	490	-	415	-	600

Fuente: (Nuñez, 1984).

Una vez obtenida la reproducibilidad del ensayo de laboratorio en planta piloto, se procedió a la evaluación de características de calidad. Del mismo modo, se debió someter a pruebas de estabilidad comprendidas como se muestra en la tabla 3.2.3

Tabla 3.2.3: Estabilidad de emulsiones

Prueba de estabilidad	Condiciones	Número de días
Acelerada	Envase cerrado en estufa a 60°C	15 días
Normal	Envase cerrado en ambiente a 25°C, libre de humedad.	15 días

Fuente: (Intequim, C.A., 2011)

Adicionalmente, se sometió la emulsión a pruebas microbiológicas, dado que por ser en base agua, es vulnerable al ataque microbiano del medio ambiente. El estudio microbiano se fundamentó en la norma Covenin 1337-90 y permitió definir los niveles óptimos de biocida, que garanticen la conservación de la emulsión en el tiempo.

Adicionalmente, se logró disminuir la tensión superficial, con el propósito de mejorar la humectabilidad. Estas mediciones se realizaron con un tensiómetro de volumen gota a gota, basado en la determinación exacta del volumen de gotas que se desprenden de los capilares.

3.2.4 Proponer el escalamiento a nivel industrial de la emulsión adhesiva.

Basado principalmente en los ensayos llevados a cabo en planta piloto se estableció el tiempo de proceso, parámetros de control, agitación y desarrollo del proceso a nivel industrial, fundamentado en el comportamiento y avance piloto; utilizando herramientas del programa MINITAB para la organización de los datos y evaluación de tendencia normal. Adicionalmente se realizaron gráficos I-MR para el control de tiempo por etapa durante el proceso, así como para la variación del tiempo de proceso total. Este grafico permitió determinar si el modelo de probabilidad (variabilidad) era estable o cambia a lo largo del tiempo (Figura 3.1).

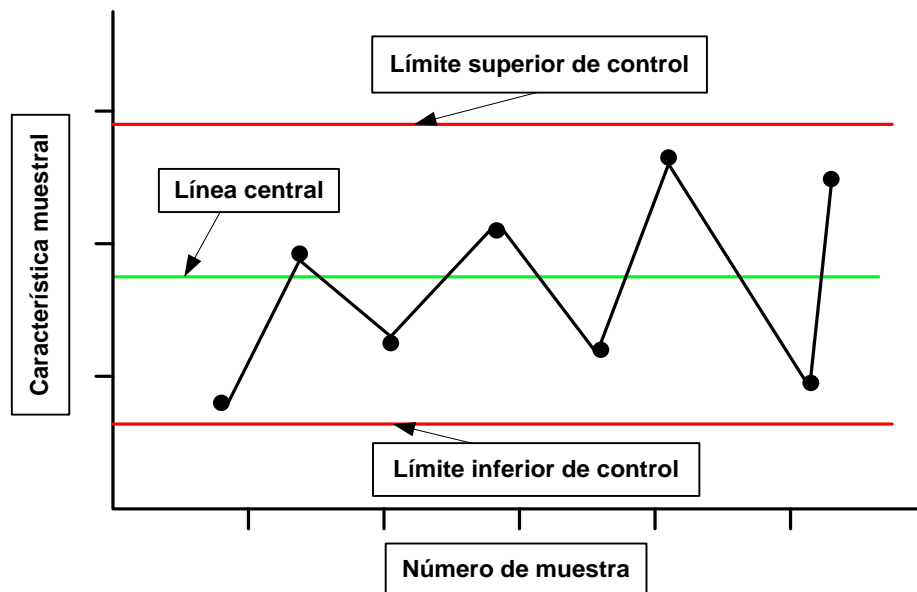


Figura 3.1. Modelo para la elaboración de diagrama I-MR, (Moore, 2005).

De igual forma, la construcción de gráficos de caja permitió la presentación visual para describir al mismo tiempo varias características importantes del conjunto de datos, tales como el centro, la dispersión y la

simetría de estos; adaptando así el escalamiento industrial a una representación más realista, basado en los resultados a escala piloto (Figura 3.2).

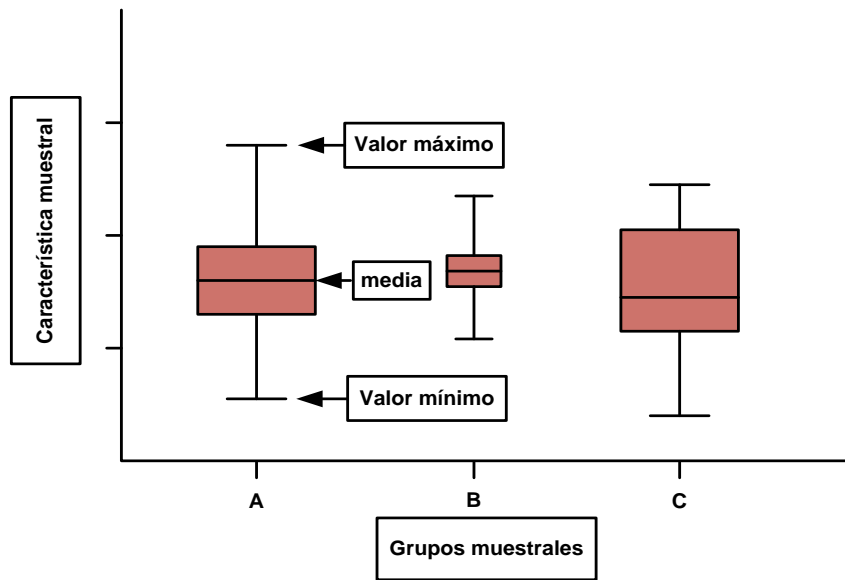


Figura 3.2. Modelo para la elaboración de diagrama I-MR, (Moore, 2005).

3.2.5 Calcular los costos asociados al escalamiento industrial.

Parte de la investigación fue calcular los costos totales asociados al escalamiento industrial de la emulsión adhesiva PVA en base acuosa, a través del cálculo de costos operacionales, costos de administración, costo de ventas y gastos generales.

$$CT = Co + Ca + Cv + Gg \quad (3.3)$$

Donde:

Ct: Costos totales

Co: Costos operacionales

Ca: Costos de administración

Cv: Costo de ventas

Gg: Gastos generales

$$Co = Cmd + Cmp + Cs \quad (3.4)$$

Donde:

Cmd: costo de mano de obra directa

Cmp: costo de materia prima

Cs: costo de servicios asociados a la producción (agua, electricidad)

$$Ca = Csn + Cp \quad (3.5)$$

Donde:

Csn: costo de servicios no asociados a la producción.

Cp: costo de publicidad

$$Cv = Cmv \quad (3.6)$$

Donde:

Cmd: costo de mano de obra personal de venta

En Venezuela, debido a las regulaciones fijadas por la Ley Orgánica del Trabajo de inamovilidad laboral, los salarios del personal no asociado a la producción directa se consideran gastos, ya que es un valor constante.

$$Gg = Cmi + Gp + Ga \quad (3.7)$$

Donde:

Gmi: gasto de mano de obra indirecta

Ga: gastos de asesorías

Gp: gastos de papelería

Apoyándose en la elaboración del material de recolección de datos referidos a la evaluación de costos fijos y variables, se obtuvo información económica para la estimación, determinando cada uno de los costos y gastos anteriormente descritos.

3.3 Población y muestra.

Para esta investigación el tipo de muestreo es aleatorio simple. Inicialmente se parte de una concentración de alcoholes polivinílicos hidrolizados con una relación en agua superior al 80%; variando la concentración de alcoholes polivinílicos en el medio y evaluando la reología de la mezcla, según la cantidad de alcohol hidrolizado. Los ensayos se harán por triplicado, hasta obtener resultados reproducibles.

CAPITULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se exponen los resultados obtenidos, durante el desarrollo de la investigación. Asimismo los análisis, explicaciones y discusiones correspondientes que sustentan dichos resultados.

1. Elaborar una emulsión adhesiva base agua incorporando alcoholes polivinílicos en su formulación.

El enfoque de esta investigación, se basa en la emulsión adhesiva por la mezcla de base adhesiva y la hidrólisis de alcoholes polivinílicos. La base adhesiva utilizada durante la investigación, viene de la polimerización del monómero vinil acetato y cuyas propiedades iniciales se muestran en la tabla C.5 del apéndice C.

Basados en el desarrollo y evaluación teórica de las concentraciones expuestas y observado el comportamiento exponencial de la viscosidad en función de la concentración para cada alcohol polivinílico, se tomaron ocho (8) concentraciones diferentes para dos (2) alcoholes polivinílicos específicos: el alcohol polivinílico de alto peso molecular (PVOH-A) y el alcohol polivinílico de mediano peso molecular (PVOH-M); estas concentraciones se muestran en la tabla 4.1, manteniendo fija la concentración de la base adhesiva. Adicionalmente se tomaron las dos concentraciones para el PVOH-B.

Es por ello que se caracterizó cada uno de ellos, partiendo de soluciones con concentraciones que van desde el 8% hasta el 16%, logrando hidrolizar los alcoholes por separado a 80°C y obteniendo valores de viscosidad para cada solución.

Tabla 4.1. Concentraciones utilizadas de alcoholes polivinílicos para elaborar emulsión adhesiva.

Concentración (C±0,1)%	PVOH-A				PVOH-M				PVOH-B	
	12,0%	12,3%	12,6%	12,9%	20,0%	20,3%	20,6%	20,9%	33,0%	34,0%
Ensayo	1A	2A	3A	4A	1M	2M	3M	4M	1B	2B
Base adhesiva al 55% MNV (C±0,01)%	54,10%	53,61%	52,91%	46,00%	45,12%	44,03%	35,81%	34,63%	54,10%	53,61%

En la figura 4.1 se muestra la curva de hidrólisis para cada alcohol polivinílico, donde se puede observar que el rango de viscosidad para el PVOH-A hidrolizado entre el 8% y el 16% es amplio, abarcando desde los 3000cP hasta los 6500cP; mientras que para el PVOH-M el rango de viscosidad para las mismas concentraciones disminuye considerablemente entre los 1000cP y 3500cP. Para el alcohol polivinílico de bajo peso molecular (PVOH-B), las concentraciones entre 8% y 16% para la hidrólisis, permiten obtener un rango muy bajo de viscosidad, que no supera los 1000cP.

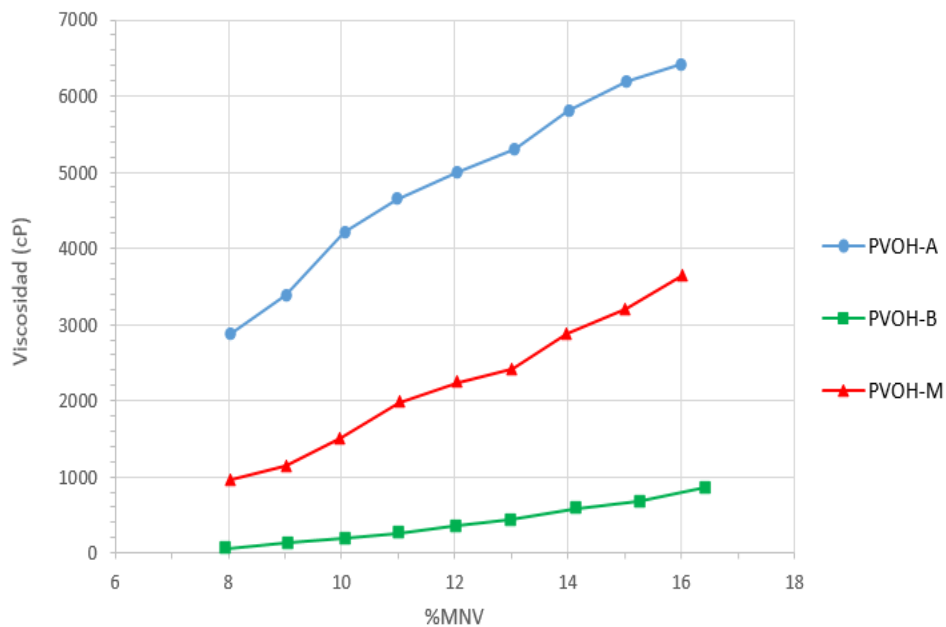


Figura 4.1. Viscosidad vs sólidos para hidrólisis de los alcoholes polivinílicos.

El comportamiento observado en la curva de hidrólisis para cada alcohol polivinílico y la variación de la viscosidad de acuerdo a la concentración, muestra que para la hidrólisis en el PVOH-A, se tiene un mejor desempeño en comparación con el PVOH-M y PVOH-B; ya que el rango de viscosidad de estos está por debajo de 3500cP, mientras que para el alcohol polivinílico de alto peso molecular, el rango de viscosidad es mucho más amplio, abarcando desde 3000cP hasta 6500cP, esto implica que a bajas concentraciones de PVOH-A se pueden alcanzar el rango de viscosidad requerido.

Mediante un balance de masa se pudieron obtener los valores teóricos de concentración necesarios del alcohol polivinílico, para alcanzar especificaciones finales de material no volátil (MNV) partiendo de una base adhesiva de concentración conocida (55% MNV) y variando la concentración de alcoholes, para finalmente obtener un adhesivo de 33% MNV.

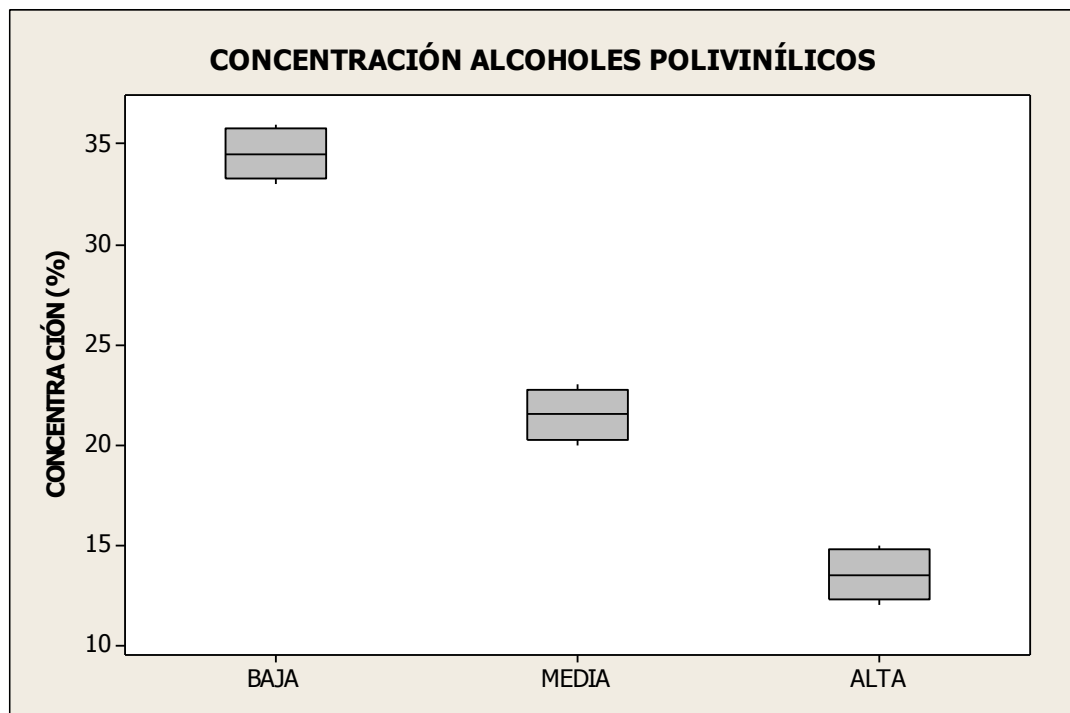


Figura 4.2. Variación de concentración de alcoholes polivinílicos con base adhesiva de concentración fija al 55%.

En la figura 4.2 se puede observar que se necesitarían altas concentraciones de PVOH-B y PVOH-M con base adhesiva al 55%, para lograr obtener una concentración final del 33% MNV en el adhesivo desarrollado. En este sentido, la tabla 4.2, muestra los resultados del balance de masa realizado para la mezcla de base adhesiva al 55% MNV y base de alcoholes polivinílicos para concentración variable, donde es claro que a mayor concentración de alcoholes polivinílicos, menor concentración de base adhesiva.

Tabla 4.2. Balance de masa para mezcla de base adhesiva al 55% a concentraciones variables de alcoholes polivinílicos.

Concentración (C _{±1})%	PVOH-A (alcohol polivinílico de alto peso molecular)			PVOH-M (alcohol polivinílico de mediano peso molecular)			PVOH-B (alcohol polivinílico de bajo peso molecular)	
	12%	13%	14%	20%	21%	22%	33%	34%
Base adhesiva al 55% MNV (C _{±0,01})%	54,10%	53,61%	52,91%	46,00%	45,12%	44,03%	35,81%	34,63%

Para elaborar la emulsión adhesiva a partir de alcoholes polivinílicos, se utilizó una concentración entre el 12% y el 13% de PVOH-A para hidrolizar y más de 50% de base adhesiva; sin embargo, se lograron obtener especificaciones con el PVOH-M para concentraciones entre el 20% y 21% y cerca de 34% de PVOH-B.

2. Caracterizar la fórmula de emulsión adhesiva base agua evaluando su funcionalidad y aplicaciones.

Al caracterizar cada una de las muestras de acuerdo a los siguientes parámetros de calidad: material no volátil (MNV), viscosidad, acidez, gravedad específica, tiempo de secado y desgarre, se pudo determinar la formulación que se adapta mejor a las especificaciones planteadas, y adicionalmente se evaluaron funcionalmente cada uno de estos ensayos, logrando pruebas de aplicaciones determinantes para el estudio. En la tabla 4.4 se muestra específicamente los resultados para cada mezcla de alcohol polivinílico con base adhesiva, de acuerdo a la concentración establecida en el objetivo anterior.

Tabla 4.4. Material no volátil y viscosidad experimental de los ensayos realizados para obtener la emulsión adhesiva.

Concentración (C±0,1)%	PVOH-A				PVOH-M				PVOH-B	
	12,0%	12,3%	12,6%	12,9%	20,0%	20,3%	20,6%	20,9%	33,0%	34,0%
Ensayo	1A	2A	3A	4A	1M	2M	3M	4M	1B	2B
Base adhesiva al 55% MNV (C±0,01)%	54,10%	53,61%	52,91%	46,00%	45,12%	44,03%	35,81%	34,63%	54,10%	53,61%
MNV (%) (MNV±0,01)%	33,08	33,04	33,00	33,01	33,01	33,02	33,01	33,00	33,01	33,02
Viscosidad (cP) (V±1)cP	1650	1740	1820	1880	750	820	1020	1080	250	460

La figura 4.3 muestra el comportamiento del %MNV para los ensayos con cada alcohol polivinílico, donde se observa la tendencia estable en cada muestra evaluada, esto debido a que la formulación se plantea en base a la

concentración de material no volátil, por lo que la variación entre las muestras es inferior al 0,5%.

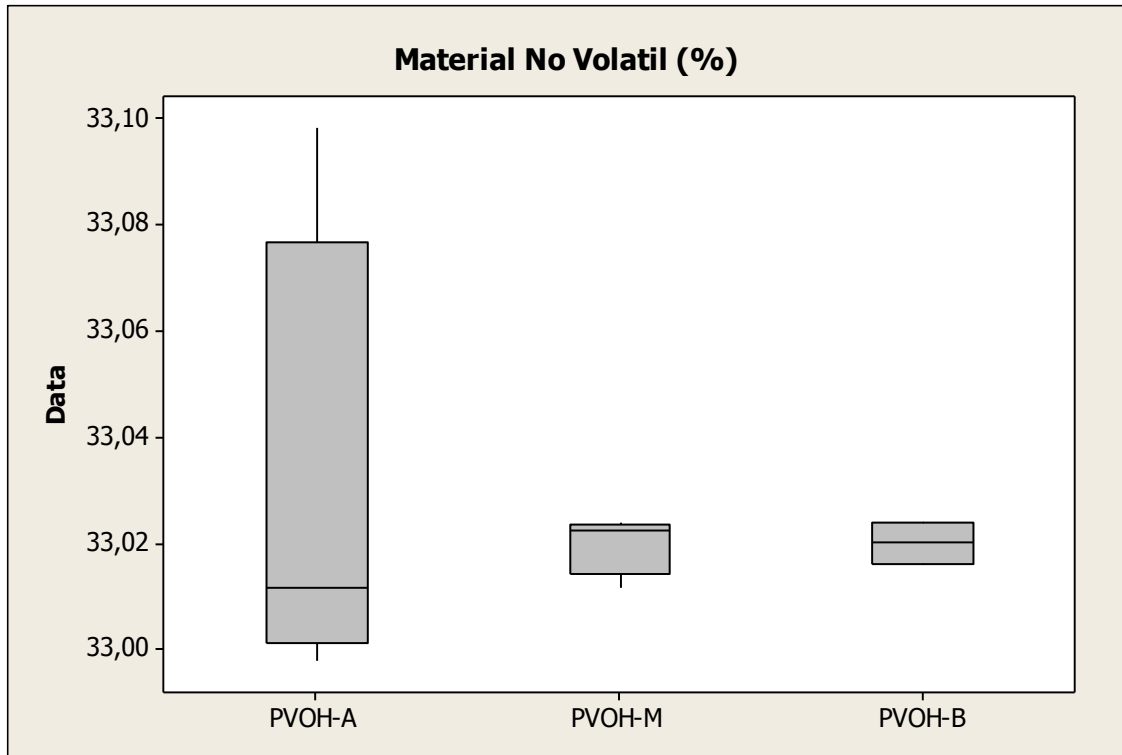


Figura 4.3 Material no volátil obtenido experimentalmente según fórmulas.

Por otra parte, la viscosidad obtenida en cada ensayo se observa en la figura 4.4, donde se tiene que para el PVOH-A hay rangos de viscosidad más amplios que se ajustan al requerimiento planteado inicialmente; sin embargo, para el PVOH-M también existen rangos de viscosidad no muy alejados del requerido, que podrían ajustarse con pequeños cambios en formulación. Ahora bien, para el PVOH-B, los rangos de viscosidad son muy bajos y la cantidad de base de alcoholes es muy alta, por lo que ajuste en este caso implica modificar la cantidad de alcohol polivinílico y la base adhesiva, y por lo tanto cambiaría el %MNV, quedando fuera del planteamiento inicial. Aun así, se continuó el estudio con los valores más cercanos de acuerdo a los requeridos, aunque la viscosidad se encuentre fuera de parámetros.

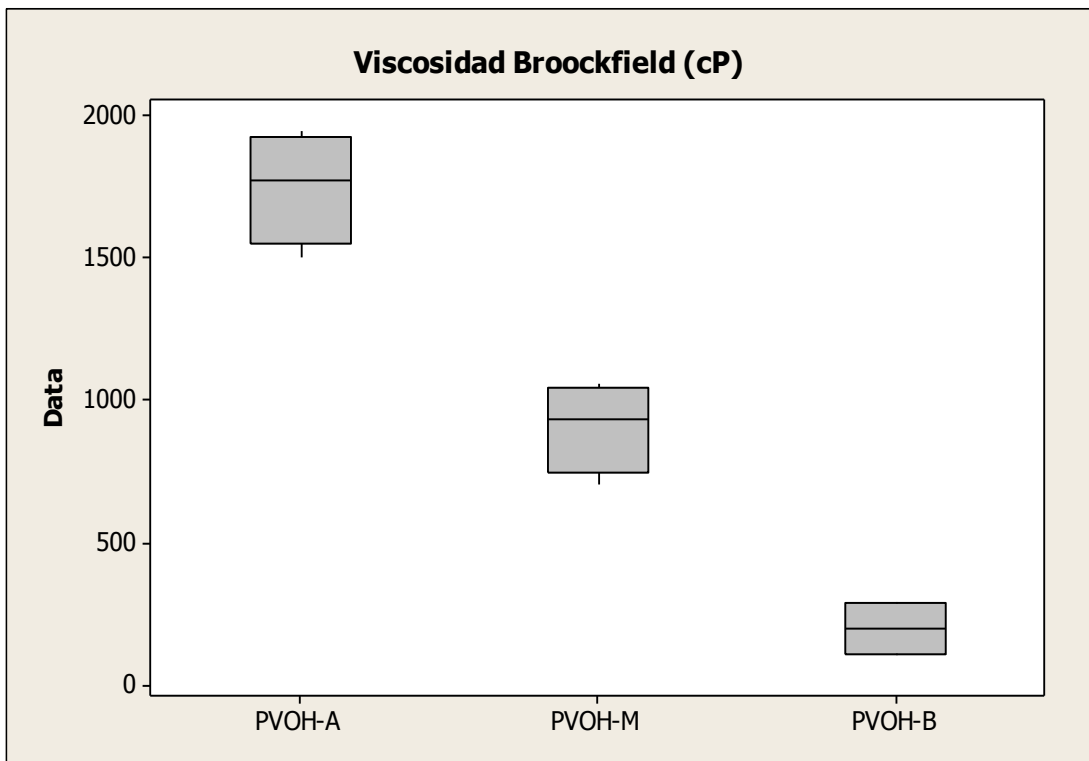


Figura 4.4 Viscosidad Brookfield obtenida experimentalmente según fórmulas.

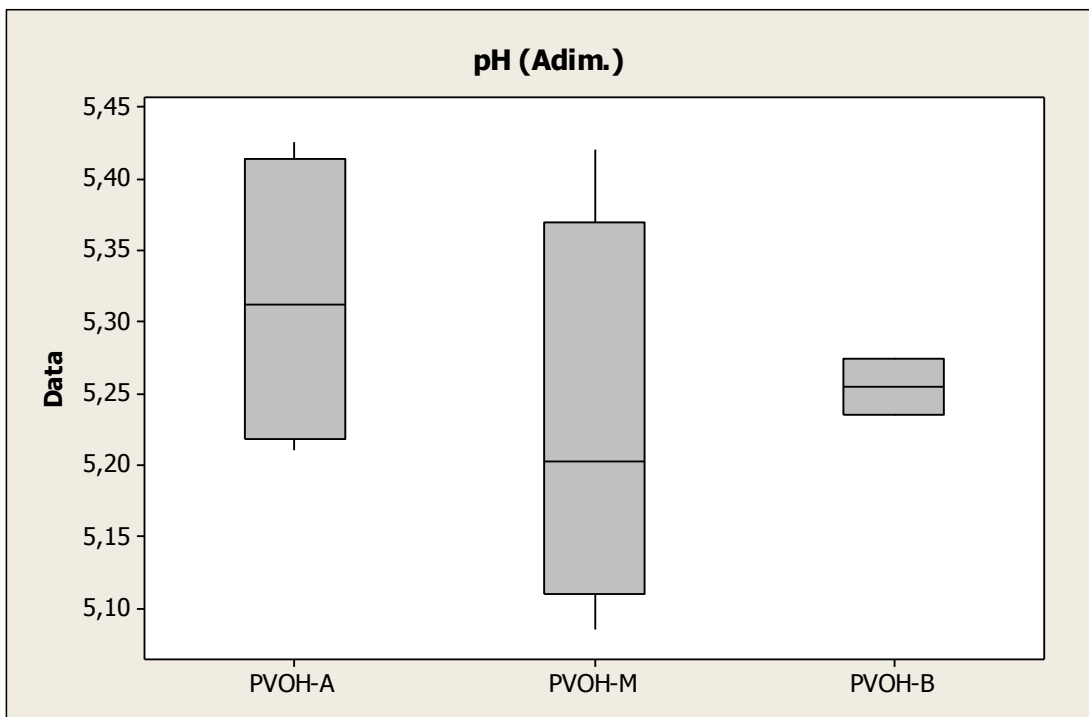


Figura 4.5 pH obtenido experimentalmente según fórmulas.

La gravedad específica va de la mano con la viscosidad y como los rangos de viscosidad manejados entre las muestras no están tan alejados unos de otros, la tendencia entre cada muestra es muy similar, con pequeñas variaciones que se manejan dentro del rango establecido (ver figura 4.6).

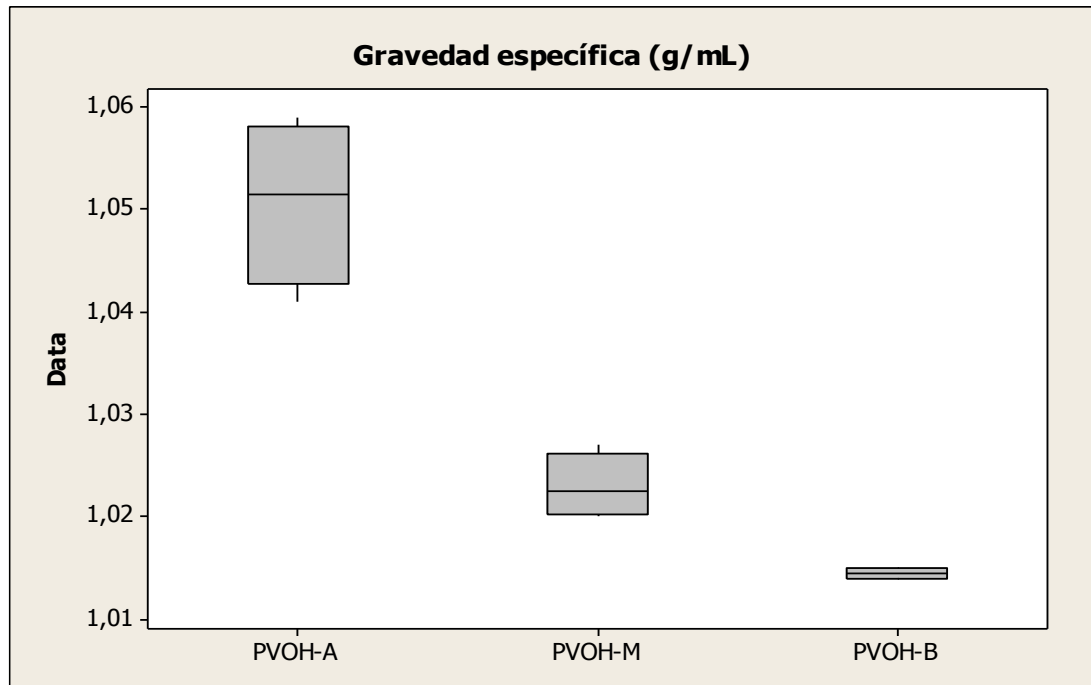


Figura 4.6 Gravedad específica experimental según fórmulas.

Por otra parte, en la tabla 4.5 se muestran los tiempos de secado para cada ensayo. Para el adhesivo con PVOH-M se observa que a mayor concentración de alcohol polivinílico, mayor es el tiempo de secado. Esto va relacionado con la cantidad de agua que tiene la formulación, por lo que a mayor cantidad de agua en la mezcla, mayor es el tiempo de secado de la película. De igual manera, para el PVOH-A a medida que aumenta la concentración de alcohol, aumenta el tiempo de secado; mientras que para el PVOH-B se observa que el tiempo de secado es significativamente mayor, respecto a los dos anteriores, esto debido a que la cantidad de base adhesiva en la formulación es porcentualmente menor en este desarrollo con PVOH-B.

Tabla 4.5. Tiempo de secado para cada fórmula desarrollada

	PVOH-A				PVOH-M				PVOH-B	
Ensayo	1A	2A	3 ^a	4 ^a	1M	2M	3M	4M	1B	2B
Tiempo de secado (TS _{±1})seg	3'20"	3'22"	3'28"	3'30"	3'45"	3'48"	3'51"	3'54"	5'50"	5'58"

Adicionalmente, se logró evaluar el tiempo de primer desgarre para cada muestra, este ensayo permite determinar el tiempo en segundos que tarda el adhesivo en unir dos partes en papel bond estándar y se relaciona directamente con el tiempo de secado, por lo que los resultados para cada ensayo se muestran los resultados en la tabla 4.6. Se observó que para estos casos específicos a medida que aumenta la concentración de alcohol polivinílico en la mezcla adhesiva, el tiempo de desgarre disminuye.

Tabla 4.6. Tiempo de desgarre para cada fórmula desarrollada

	PVOH-A				PVOH-M				PVOH-B	
Ensayo	1A	2A	3 ^a	4A	1M	2M	3M	4M	1B	2B
Tiempo de desgarre (TD _{±1})seg	0'44"	0'44"	0'40"	0'40"	0'48"	0'48"	0'48"	0'47"	1'35"	1'32"

3. Evaluar reproducibilidad y estabilidad a escala piloto de la fórmula desarrollada.

Las muestras caracterizadas en el objetivo anterior, se sometieron a estabilidad, previa reproducibilidad, donde se mantuvieron a 25°C por cuatro semanas, observando que para algunas de ellas ocurrió separación de fases, tal como se muestra en la tabla 4.7.

Tabla 4.7. Evaluación de estabilidad para cada muestra

Alcohol	Ensayo	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
PVOH-A	1 A	Ok	Ok	Ok	Ok
	2 A	Ok	Ok	Ok	Ok
	3 A	Ok	Ok	Ok	Ok
	4 A	Ok	Ok	Ok	Ok
PVOH-M	1 M	Ok	Ok	Ok	Ligera separación
	2 M	Ok	Ok	Ligera separación	Ligera separación
	3 M	Ok	Ligera separación	Ligera separación	Separación
	4 M	Ok	Ligera separación	Separación	Separación
PVOH-B	1 B	Ligera separación	Separación	Separación	Separación
	2 B	Ligera separación	Separación	Separación	Separación

La tabla 4.6, muestra la estabilidad de las mezclas con alcoholes polivinílicos PVOH-M y PVOH-B, donde se observó durante 4 semanas separación de fases en alguna de ellas. Estas muestras tienen concentraciones de alcoholes polivinílicos superiores al 20%. De acuerdo con el manual de adhesivos, se tiene que: *“Debido a la inestabilidad que se presenta en las mezclas adhesivas es recomendable establecer concentraciones en bases de alcoholes polivinílicos menores al 15%”*. (Air products and chemicals, Inc., 1996) Por lo que las mezclas seleccionadas para reproducibilidad son las de PVOH-A. Ahora bien, aunque las muestras de PVOH-A son estables, se observó crecimiento de microorganismos en las muestras, por lo que la formulación deberá incorporar biocida en la mezcla.

En la tabla 4.8 se muestra la matriz de selección de las fórmulas de PVOH-A desarrolladas y caracterizadas, donde de acuerdo a cada criterio, se estimó una ponderación, de donde resulta que el desarrollo más conveniente para la emulsión adhesiva de baja viscosidad es la 3A. Considerando la estabilidad, la relación base alcohol – base adhesiva y la relación de calidad, como las más importantes dentro de los criterios evaluados. Asimismo, se observa que la fórmula 4A, no está muy lejos de ser una buena opción; sin embargo, el porcentaje de base de alcohol polivinílico empleado para esta fórmula es mayor que para la 3A, y a mayor concentración de base polivinílica, menor estabilidad.

TABLA 4.8 Matriz de selección de fórmulas

Fórmula		PVOH-A							
Criterios	Ponderación (%)	1 ^a		2A		3A		4A	
Relación Base alcohol / base adhesiva	15	10	150	9	135	9	135	8	120
Relación de calidad	25	9	225	9	225	10	250	10	250
Tiempo de desgarre	15	8	120	8	120	10	150	10	150
Tiempo de secamiento	15	10	150	10	150	9	135	9	135
Estabilidad	30	10	300	10	300	10	300	10	300
Total:	100	-	945	-	930	-	970	-	955

Es por ello que se sometió a reproducibilidad la fórmula PVOH-A 3A. Con el propósito de evaluar la reproducibilidad de la fórmula, se fabricaron tres (3) batch en laboratorio de 1800g cada uno, el desempeño de estas fórmulas fue reproducible obteniéndose una diferencia inferior al 0,4 %, entre los resultados obtenidos, como muestra la tabla 4.9.

Tabla 4.9. Caracterización para fórmula 3A de PVOH-A en laboratorio

Propiedades	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Sólidos (32 – 34) \pm 0,02 %	33,03	32,92	33,10
Viscosidad Brookfield (1000 – 2000) \pm 1 cP	1650	1500	1700
pH (4,5 – 5,5) \pm 0,01 Adim.	4,93	5,02	4,98
G.E. (1,02 – 1,08) \pm 0,001 Adim.	1,037	1,032	1,040
Secamiento (3'00" – 4'00") \pm 1 seg	3'27"	3'33"	3'32"
Desgarre (35 – 50) \pm 1 seg.	40"	41"	40"

Adicionalmente, se logró construir una curva de ajuste para la fórmula 3A a nivel de laboratorio, donde se evidencia la relación material no volátil vs viscosidad Brookfield, observándose una incidencia directa entre ambas variables; logrando además identificar en esta gráfica (mostrada en la figura 4.7) los resultados de los ensayos de la tabla 4.9, cuyos valores se encuentran centrados de acuerdo a las especificaciones de calidad, definida al comienzo del desarrollo de esta investigación.

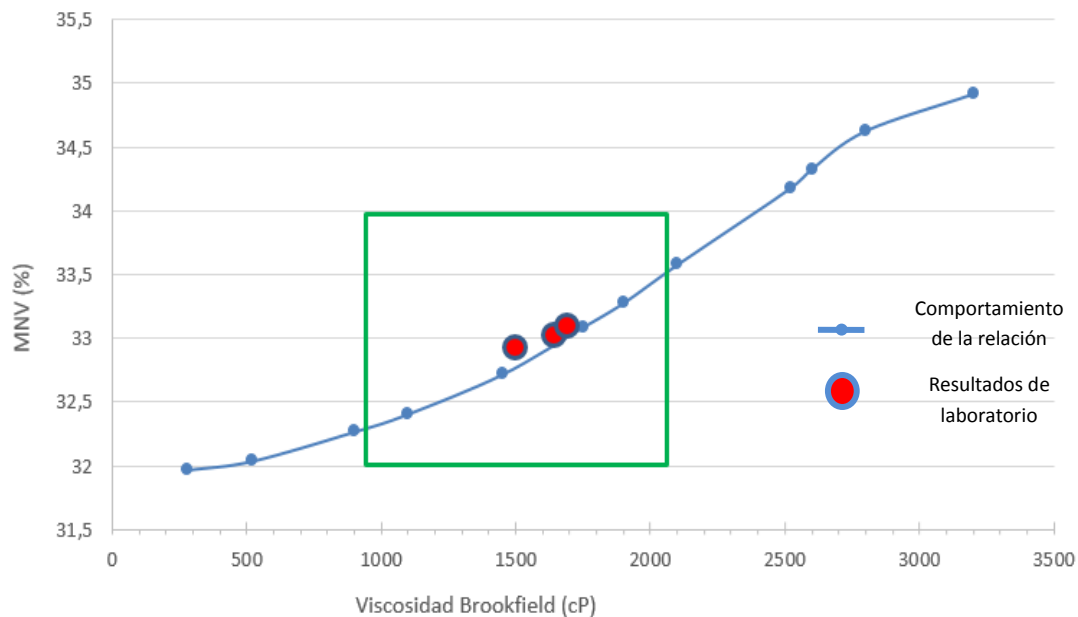




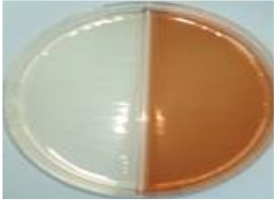






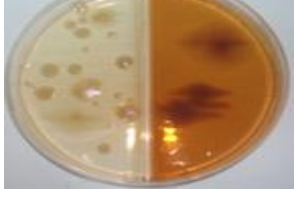
Figura 4.7 Relación sólidos – Viscosidad para la fórmula 3A

Retomando nuevamente el estudio de estabilidad de la tabla 4.7, donde se observó un crecimiento microbiano en las muestras con el paso de los días, se procede a incorporar a la mezcla un agente biocida, que alargue la vida útil del producto.

Son muchos los agentes microbianos que se encuentran en el mercado; sin embargo, en esta investigación se utilizó el Acticide LA 1206, compuesto por una combinación de 5-cloro-2-metil-4-isotiazolin-3-ona (CIT), 2-metil-4-isotiazolin-3-ona (MIT) y bromonitropropanodiol (Bronopol). Los resultados se muestran en la tabla 4.10.

En función de los resultados obtenidos se evidencia que las muestras identificadas como: A (aditivada con 0,40% Acticide), B (aditivada con 0,30% Acticide), C (aditivada con 0,20% Acticide) y D (aditivada con 0,10% Acticide) se pueden preservar adecuadamente contra los microorganismos de prueba.

Tabla 4.10. Evaluación microbiológica de las muestras

Concentración de biocida	Semana 1 a 25°C	Semana 2 a 25°C
Muestra A 0,4%		
Muestra B 0,30%		
Muestra C 0,20%		
Muestra D 0,10%		
Muestra E Muestra sin protección microbiana		

Análisis realizado en el laboratorio de microbiología de C.A. Venezolana de Pinturas, marzo, 2017.

Contrario a lo expuesto, la muestra D (sin protección) exhibió crecimiento microbiano, por lo que se deberá emplear una concentración del biocida Acticide igual o superior a la contemplada en la muestra D al momento de elaborar el producto.

Asimismo, con el propósito de mejorar la humectabilidad de la emulsión adhesiva y lograr un buen desempeño de este en la unión de dos materiales. *“Para que un líquido moje una superficie sólida, ésta tiene que ejercer una atracción hacia las moléculas del líquido mayor que la que se verifica entre ellas.”* Tal como lo expresa el concepto básico de adhesión de acuerdo con Dekker, 1983; resaltando la importancia del contacto físico entre el adhesivo y el material; es decir, el adhesivo debe impregnar el material para que la adhesión sea posible.

En este sentido, se incorpora a la formulación un aditivo humectante (ADH) compuesto principalmente por una solución de sal de poliaminamidas no saturadas y poliésteres ácidos. La medición de la tensión superficial es imprescindible para prevenir problemas de adhesión, es por ello que se realizó la medición de tensión superficial a las muestras de la fórmula reproducible, mostrada en la tabla 4.11.

Tabla 4.11. Variación de tensión superficial con aditivo humectante.

Tensión superficial (TS \pm 0,001)Adim	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Sin aditivo humectante (ADH)	42,653	41,672	45,066
(0,125% ADH)	44,012	43,997	44,266
(0,25% ADH)	38,966	38,998	39,017
(0,5% ADH)	36,985	36,789	37,053

Se estableció como proporción el 0,125%, 0,25% y 0,5%, permitiendo conocer el efecto en el producto final. A medida que la cantidad de ADH

aumenta, la tensión superficial disminuye; sin embargo, al adicionar menos del valor máximo utilizado (0,5% recomendado por el fabricante), se garantiza una disminución notable en la tensión superficial, por lo que se estima un valor aproximado del 0,35% para ser utilizado en la fórmula. La figura 4.8 muestra la distribución de la tensión superficial en función de la proporción de ADH.

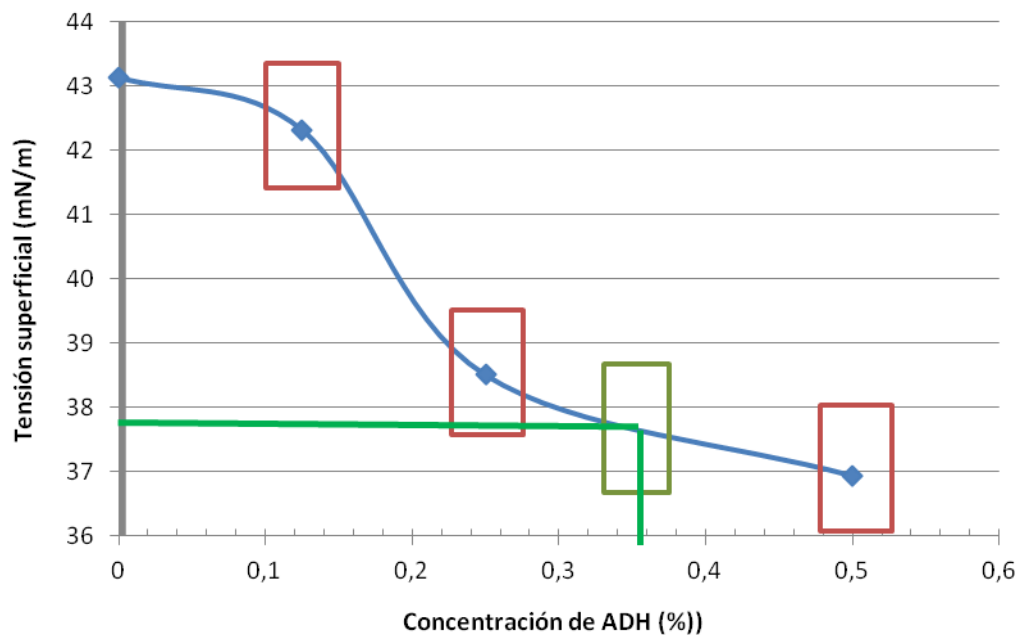


Figura 4.8. Tensión superficial en función de la proporción de ADH

En este sentido, se reestructuró la lista de materiales y etapas para la elaboración de la emulsión adhesiva, considerando la carga de biocida y el aditivo humectante en la etapa 3 de ajuste, siendo esta modificada a aditivos y ajuste, como se muestra en la tabla 4.12.

Tabla 4.12 Lista modificada de materiales y etapas

ETAPA 1	
Hidrólisis	Agua desionizada
	Antiespumante
	Alcohol polivinílico
ETAPA 2	
Adición de base adhesiva	Base adhesiva 2519
ETAPA 3	
Aditivos y ajuste	Biocida
	Aditivo humectante
	Agua desionizada

Culminados los ensayos y reestructuraciones de la fórmula de adhesivo desarrollada a nivel de laboratorio, se procedió con el escalamiento a planta piloto, donde se realizaron tres (3) lotes de 60kg cada uno del adhesivo PVOH-A 3A, para evaluar su desempeño durante el proceso. La planta piloto cuenta con un reactor de acero inoxidable con agitadores de álabes inclinados y cuatro (4) deflectores sencillos, y tiene una capacidad de 90kg. Los resultados se muestran en la tabla 4.13, observando que los valores obtenidos son muy similares a los reportados durante los ensayos en laboratorio para la misma fórmula, cuya diferencia entre cada ensayo es menor al 0,4%.

Tabla 4.13. Caracterización de fórmula 3A de PVOH-A en planta piloto

Propiedades	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Sólidos (32 – 34) $\pm 0,02$ %	33,12	33,42	33,01
Viscosidad Brookfield (1000 – 2000) ± 1 cP	1600	1800	1550
pH (4,5 – 5,5) ± 1 Adim.	4,95	5,01	4,96
G.E. (1,02 – 1,08) $\pm 0,001$ Adim.	1,040	1,042	1,034
Secamiento (3'00" – 4'00") ± 1 seg	3'32"	3'30"	3'30"
Desgarre (35 – 50) ± 1 seg.	41"	41"	40"

Asimismo, se logró comparar la relación material no volátil vs viscosidad Brookfield de los ensayos a nivel de laboratorio con los valores obtenidos en planta piloto, observando que se mantiene la tendencia exponencial con una incidencia directa entre ambas variables (figura 4.9).

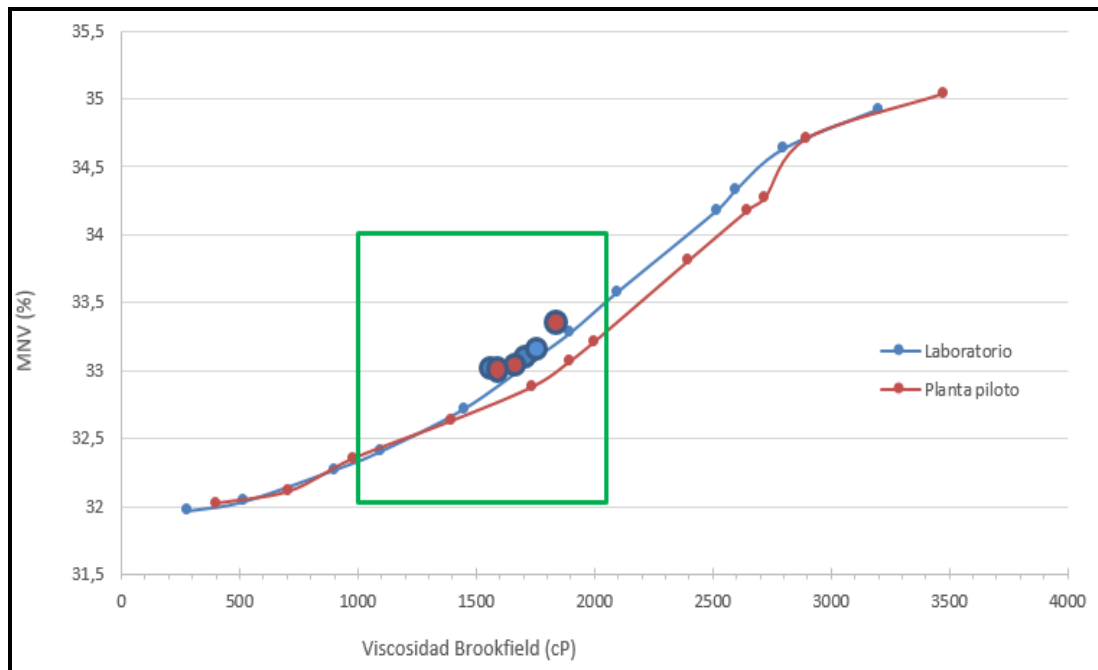


Figura 4.9 Relación sólidos – Viscosidad para la fórmula 3A

Adicionalmente, para cada ensayo realizado en planta piloto se construyó el perfil temperaturas por etapa del proceso, de donde resulta la figura 4.10. El calentamiento en planta piloto se realiza con una chaqueta por la cual circula vapor proveniente de una caldera. La etapa 1, la hidrólisis del alcohol polivinílico, es la etapa con mayor temperatura en el proceso en un rango ascendente, ya que “*por encima de 75°C se garantiza una hidrólisis homogénea, libre de aglomeraciones.*”, de acuerdo con Dekker, 1983. La etapa 2 es donde se incorpora la base adhesiva, y ayuda al enfriamiento de la masa, y la temperatura en esta etapa es descendente, oscilando entre 78°C hasta los 40°C. En esta etapa se debe poseer enfriamiento, para disminuir la temperatura de la masa. Finalmente la etapa 3, aditivos y ajuste, se continúa enfriando la masa, al mismo tiempo que se incorporan los aditivos.

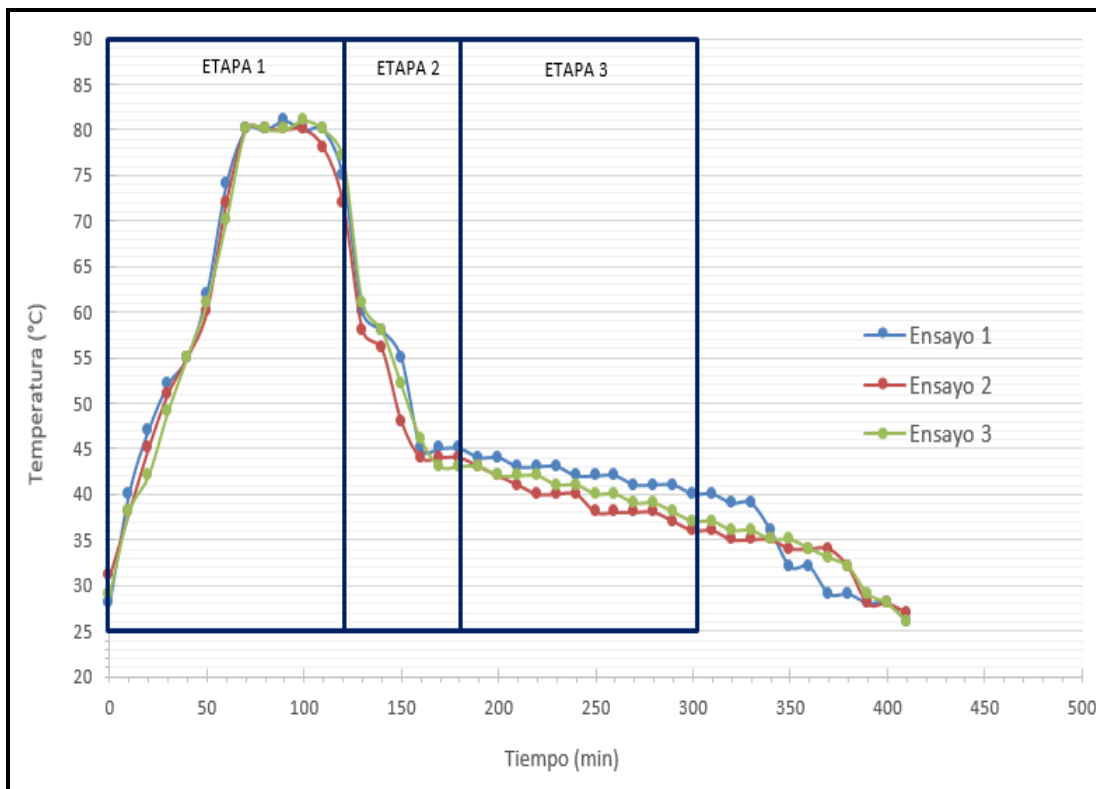


Figura 4.10. Perfil de temperatura en planta piloto para la fórmula 3A

Como aspecto relevante, observado en planta piloto, se tiene que: la carga de alcohol polivinílico para la hidrólisis, debe hacerse en cargas parciales, debido a que la carga continua de alcohol, ayuda a la formación de grumos. La carga de antiespumante, antes de iniciar la carga de alcohol, es vital para evitar la formación de espuma; ya que durante la hidrólisis, se observa el crecimiento de una espuma densa, difícil de dispersar una vez formada.

4. Proponer el escalamiento a nivel industrial de la emulsión adhesiva.

De acuerdo con los ensayos realizados en laboratorio y planta piloto, se creó la propuesta para el escalamiento industrial, considerando las condiciones de proceso descritas en los objetivos anteriores.

La hidrólisis necesariamente debe ser llevada a cabo en un tanque o reactor que disponga de calentamiento con vapor o resistencia eléctrica; asimismo, debe contar con un agitador, cuyo impulsor podría ser de álabes inclinados, así como deflectores en la parte interna del equipo.

En la figura 4.11 se muestra la propuesta que surge de esta investigación, estableciendo las condiciones mínimas necesarias que debe poseer el equipo donde se elaborará la emulsión adhesiva de baja viscosidad.

El calentamiento recomendado es con vapor que circula a través de una chaqueta, aunque el calentamiento con manta térmica también puede ser utilizado, el consumo de energía es mucho mayor, lo que se traduce en altos costos. De igual manera, el enfriamiento deberá ser con agua cruda,

proveniente de una torre de enfriamiento, que circula a través de un serpentín externo.

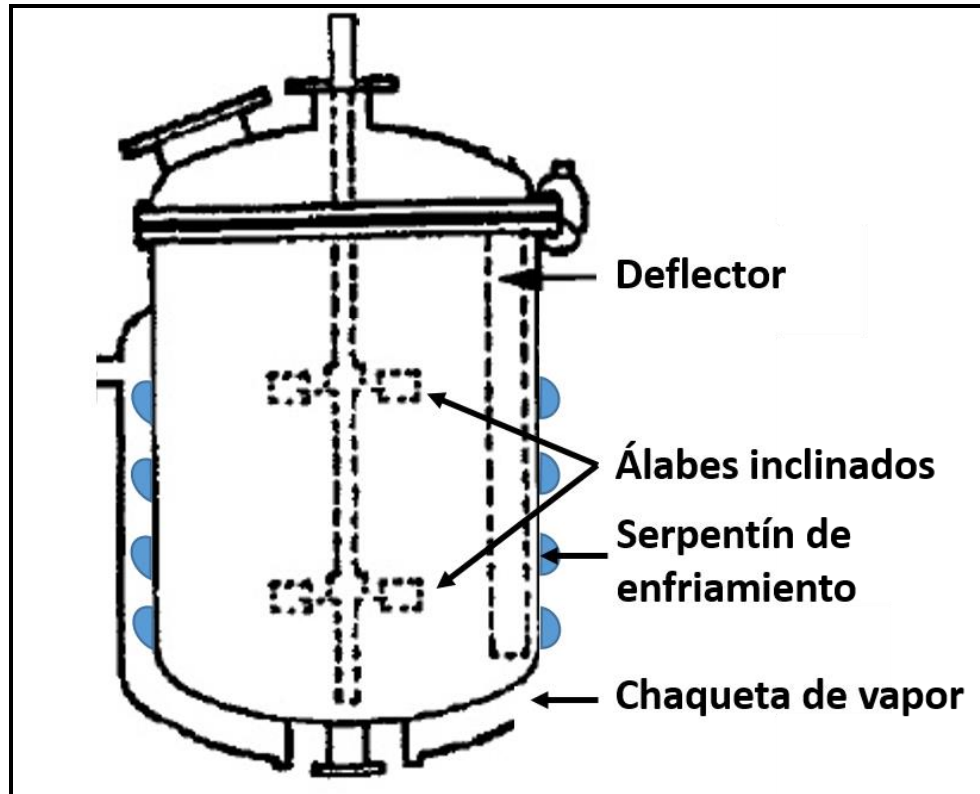


Figura 4.11. Propuesta de equipo para escalamiento

La agitación propuesta, consta de un impulsor con álabes sencillos, inclinados, así como dos deflectores dispuestos a lo largo de la parte interna del equipo, estos para incrementar la turbulencia de la masa y favorecer la homogeneización en cada una de las etapas durante el proceso.

El tiempo de proceso establecido en los objetivos anteriores oscila cercano a los 300min; sin embargo, se deben considerar tiempos mayores de carga, así como de calentamiento y enfriamiento para equipos más grandes, debido a que la cantidad de materiales y la forma en que estos son adicionados en el equipo varían de acuerdo a la presentación.

Tomando como referencia procesos que involucran cargas similares, se logró construir la tabla 4.14, donde se estima el tiempo de cargas de acuerdo a la presentación de cada material. Se observa que el tiempo de carga mayor es para la base adhesiva, debido a la alta viscosidad del material.

Tabla 4.14. Tiempo de carga estimado por material según la presentación

Material	Presentación	Tiempo de carga (min)
Agua desionizada	Maxicubos/Baritanques	10
Alcohol polivinílico	Sacos	18
Base adhesiva	Maxicubos/Baritanques	40
Aditivos	Carboya / Galón	2

**Tiempo de carga referencial, manual de operación de Ingeniería de Procesos, INTEQUIM, 2017.*

Por otra parte, en la tabla 4.15 se logró estimar el tiempo de proceso por etapa, clasificando estas en sub-etapas y tomando como referencia los tiempos de carga de la tabla anterior y el tiempo de proceso de los ensayos llevados a cabo en planta piloto. El tiempo total de proceso es de 6,2horas. Además se observa que la hidrólisis es la que presenta mayor número de sub-etapas, teniendo un tiempo total cercano a los 180min (3horas), esto representa el 48,38% del tiempo total del proceso. La etapa de adición de base adhesiva, posee dos (2) sub-etapas, con un tiempo total de 70min, que representa el 18,8% del tiempo de proceso total. Finalmente la etapa de aditivos y ajuste, con tres (3) sub-etapas y un tiempo de proceso de 122min,

el 32,80% del tiempo total; es la etapa donde se logra centrar las especificaciones del producto y además se considera el tiempo para las evaluaciones y chequeos previos al ajuste.

Tabla 4.15. Tiempo de proceso por etapas

Etapa	Sub-etapa	Tiempo de proceso (min)
Hidrólisis	Carga de agua desionizada	10
	Calentamiento 1	35
	Carga de alcohol polivinílico	18
	Calentamiento 2	50
	Mantenimiento	40
	Enfriamiento	25
Adición de base adhesiva	Carga de base adhesiva	40
	Homogeneización	30
Aditivos y ajuste	Carga de aditivos	2
	Homogeneización	30
	Ajuste	90

Con base en los datos recolectados durante la realización de los ensayos, se construye la tabla 4.16, donde se hace la propuesta de instrucciones para el escalamiento de la emulsión adhesiva PVA de baja viscosidad, con la fórmula 3A PVOH-A.

Tabla 4.16. Instrucciones de operación propuestas para el escalamiento

ETAPA	INSTRUCCIONES								
<p>Etapa: hidrólisis</p> <p>Carga de Materiales:</p> <table border="1" data-bbox="224 657 695 833"> <thead> <tr> <th>Orden</th> <th>Material</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Agua desionizada</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Antiespumante</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Alcohol polivinílico</td> </tr> </tbody> </table>	Orden	Material	1	Agua desionizada	2	Antiespumante	3	Alcohol polivinílico	<p>CARGA DE MATERIALES Y CALENTAMIENTO 1:</p> <p>a) Cargar por gravedad 1 (Agua desionizada) al equipo.</p> <p>b) Aplicar calentamiento al lecho con chaqueta, colocando el set point del en $(50\pm 1)^{\circ}\text{C}$</p> <p>c) Cargar 2 (Antiespumante) durante el calentamiento y encender agitación.</p> <p>d) Cargar 3 (alcohol polivinílico), vía boca de visita del equipo. Esta dosificación debe realizarse a una velocidad de 1 saco por minuto para evitar obstrucción de válvula de fondo y formación excesiva de grumos.</p> <p>CALENTAMIENTO 2 Y MANTENIMIENTO:</p> <p>a) Finalizada la carga, iniciar calentamiento 2 colocando set point en $(80\pm 1)^{\circ}\text{C}$</p> <p>b) Al alcanzar los $(80\pm 1)^{\circ}\text{C}$, mantener agitación y temperatura durante 40 min.</p> <p>c) Terminado el mantenimiento, si el producto presenta grumo mantener temperatura y agitación durante 20 minutos adicionales.</p>
Orden	Material								
1	Agua desionizada								
2	Antiespumante								
3	Alcohol polivinílico								

Tabla 4.16. Instrucciones de operación propuestas para el escalamiento (Continuación)

ETAPA	INSTRUCCIONES								
<p>Etapa: adición de base adhesiva</p> <p>Carga de Materiales:</p> <table border="1" data-bbox="216 583 676 672"> <thead> <tr> <th>Orden</th> <th>Material</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Base adhesiva</td> </tr> </tbody> </table>	Orden	Material	1	Base adhesiva	<p>a) Iniciar enfriamiento en el reactor, colocando el set point en $(25\pm 1)^{\circ}\text{C}$.</p> <p>b) Cuando la temperatura alcance $(72\pm 1)^{\circ}\text{C}$, cargar 1 (Base adhesiva) por gravedad.</p> <p>c) Mantener agitación durante 30 minutos, hasta homogeneizar la masa.</p>				
Orden	Material								
1	Base adhesiva								
<p>Etapa: aditivos y ajuste</p> <p>Carga de Materiales:</p> <table border="1" data-bbox="216 967 676 1143"> <thead> <tr> <th>Orden</th> <th>Material</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Humectante</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Biocida</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Agua desionizada</td> </tr> </tbody> </table>	Orden	Material	1	Humectante	2	Biocida	3	Agua desionizada	<p>a) Terminado el tiempo de mantenimiento, cargar 1 (Aditivo humectante) vía boca de visita.</p> <p>b) Posteriormente cargar 2 (Biocida) vía boca de visita.</p> <p>c) Mantener agitación durante 30 minutos, para garantizar homogeneización.</p> <p>d) Terminado el mantenimiento, tomar una muestra del producto y realizar los chequeos de propiedades de calidad.</p> <p>NOTA: si es necesario ajustar %NVM y viscosidad, con 3 (agua desionizada).</p>
Orden	Material								
1	Humectante								
2	Biocida								
3	Agua desionizada								

5. Calcular los costos asociados al escalamiento industrial.

Para los costos totales asociados al escalamiento industrial de la emulsión adhesiva PVA en base acuosa, se realizó el cálculo de costos operacionales, costos de administración, costo de ventas y gastos generales, considerando algunos factores y tarifas de regulación nacional. Los diferentes cálculos matemáticos se encuentran en el apéndice A, los resultados más relevantes se muestran en la tabla 4.17.

Tabla 4.17. Costos asociados al escalamiento del adhesivo 3A de PVOH-A

	Costo (Bs/lote)	Costo (USD/lote)
Mano de obra directa	141.666	42,35
Materia prima	450.132.824	134.568,86
Servicios	72.833	21,77
Gastos	116.667	34,88
Total costo (Bs/lote)	450.463.991	134.667,86

Tasa oficial de 3.345Bs/USD – cambio oficial (DICOM) para empresas y particulares, noviembre, 2017.

Una vez obtenidos los costos asociados a la fabricación de la emulsión adhesiva de PVA, y considerando el margen de ganancia por utilidad, el cual representa el 30% del valor total de fabricación por regulación nacional, se obtiene un costo total de producción para un lote de 2.800kg, correspondiente a un valor de 48,09 USD/kg.

Ahora bien, al comparar el costo de adquisición de un adhesivo PVA de baja viscosidad con el costo de adquisición de la emulsión adhesiva desarrollada, cuyos costos son de 46,72 (USD/kg) y 48,09 (USD/kg)

respectivamente, para una tasa de cambio oficial de 3.345Bs/USD. Se observa que la propuesta desarrollada es cercano a un 2,8% mayor en costo de adquisición, pero se justifica su sustitución basado en un aspecto de peso fundamental: es una alternativa de suministro local y confiable, lo cual permitirá al mercado que no posea divisas para adquirir este producto importado, ahorrando o disponiendo estas para adquisición de otras materias primas.

Finalmente con lo hasta ahora descrito, esta propuesta eliminará posibles retrasos por problemas de liquidación de divisas, importaciones, legalización y nacionalización, que siempre representan costos adicionales en los que las empresas deben incurrir para garantizar la operatividad.

CONCLUSIONES

En esta sección se presentan las conclusiones más importantes que se alcanzan una vez desarrollada la investigación.

1. Es posible elaborar una emulsión adhesiva mediante la hidrólisis de alcoholes polivinílicos de alto peso molecular al 13% mezclado con una base adhesiva al 54%.
2. A mayor concentración de alcohol polivinílico en la formulación, mayor es el tiempo de secado y el tiempo de desgarre disminuye.
3. Para concentraciones de alcohol polivinílico (PVOH-B y PVOH-M) mayor al 20% existe separación de fases y sensibilidad a ataques de microorganismos.
4. Las propiedades fisicoquímicas de la fórmula PVOH-3A fue reproducible en laboratorio y planta piloto con una tendencia exponencial.
5. El uso de biocida Acticide igual o superior al 0,10% evita el crecimiento microbiano en la emulsión.
6. Al aumentar la concentración de humectante ADH, la tensión superficial disminuye.
7. El tiempo total de proceso para la fabricación del adhesivo de PVOH de baja viscosidad en escala industrial es de 6,2horas.
8. El costo total de producción para un lote de 2.800kg, corresponde a un valor de 450.463.991,00 Bs.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar antiespumante durante la etapa de mezclado e hidrolisis del alcohol polivinílico.
2. Hacer la adición de alcohol polivinílico para la hidrólisis en cargas parciales que eviten la formación de grumos.
3. Utilizar equipos de protección personal para manipular los reactivos, ya que los mismos son compuestos tóxicos y/o peligrosos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Air Products and chemicals, Inc, (1996). "Working with vinyl acetate-based polymers an adhesives manual". 3era Edición, Washington, EUA.

Álvarez Blanco Silvia y Zaragoza Carbonell José Luis, (2006). "Principales polímeros comerciales". Universidad Politecnica de Valencia, servicio de publicación universitario. Valencia, España.

Aranberri, B.P. Binks, J.H. Clint, P.D.I. Fletcher, (2006). "*Elaboracion y caracterización de emulsiones estabilizadas por polimeros y agentes tensioactivos*". Revista Iberoamericana de Polímeros Volumen 7(3). Reino Unido.

ASTM D-2090-88 (1993). "*Standard test method for Clarity and Cleanness of Paint and Ink Liquidscoating materials*". American Society for Testing and Materials. Washington D.C, Estados Unidos de America.

Balestrini, Mirian. (2001). "*Cómo se elabora el proyecto de investigación*". Quinta edición. BL consultores asociados. Servicio editorial. Caracas – Venezuela.

Blanco Armando, Rodriguez Carmen y García Reinaldo, (2009). "*¿Es válido utilizar con precisión parámetros reológicos obtenidos en laboratorio para modelar aludes torrenciales a escala real?*" Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V., Vol. 24, N° 1, pp. 45–55, 2009. Caracas, Venezuela

Billmeyer, Fred W. (1975). "*Ciencia de los polímeros*". Editorial Reverté, S.A. Barcelona. Reimpreso en 2004.

Brydson, John, (1999). "*Plastic materials*" (2da. edición). Estados Unidos de América. Editorial Butterworth – Heinemann. (Trabajo original publicado en 1966).

Castillo, Jorge, (2013). "Fundamentos de ingeniería de costos", Editorial Trillas, Mexico, DF.

Chávez, Nancy (1991). "*Introducción a la investigación*". Segunda reimpresión. Maracaibo, Venezuela.

Covenin 571. (2000). "*Determinación de gravedad específica con picnómetro*". Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas, Venezuela.

Covenin 676. (1999). "*Determinación de acidez a través de pHmetro*". Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas, Venezuela.

Covenin 827. (1993). "*Determinación de material no volátil en resinas sintéticas*". Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas, Venezuela.

Covenin 889. (1999). "*Determinación de viscosidad en resinas sintéticas*". Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas, Venezuela.

Covenin 1337-90. (1990). "*Método para el recuento de mohos y levaduras*". Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas, Venezuela.

Dekker Marcel, (1983). "Wood Adhesives chemistry and technology". Editado por A. Pizzi, New York.

González Jeanette, Albano Carmen, Hernández Marianella, Ichazo Miren y Lavady Mary, (2009). *“Caracterización de compuestos de polipropileno/almidón de yuca obtenidos en un mezclador interno”*. Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V., Vol. 24, N° 1, pp. 31–44, 2009. Caracas, Venezuela.

Guerra, Guillermo, (1995). *“Glosario para administradores y economistas agropecuarios.”* UTEHA. Editorial Limusa Wiley. México, D.F.

Himmelblau, David. (1997). *“Principios básicos y cálculos en ingeniería química”*. Sexta edición. México.

Hurtado Jacqueline, (2000). *“Metodología de la investigación holística”*. Instituto Universitario de Tecnología Caripito. Servicios y Proyecciones para América Latina (SYPAL). 3era edición. Caracas, Venezuela.

INTEQUIM, C.A. Química Integrada, (2011). *“Método de evaluación de estabilidad para emulsiones base agua”*. Valencia, Edo. Carabobo, Venezuela.

Kuehl, Robert, (1999). *“Design of experiments: statics principles of research design and analysis”* (7ma edición). Estados Unidos de América. Editorial Duxbury Press.

Martín Rafael, Rincón Gladys y Blanco Berenice, (2006). *“Síntesis de procesos: una propuesta holística”*. Revista de la Facultad de Ingeniería de la U.C.V., Vol. 21, N° 1, pp. 49–55, 2006. Caracas, Venezuela.

Mollega Sebastián, Barrios Simón, Feijoo José, Contreras Jesús, Müller Alejandro y Lopez carrasquero Francisco, (2011). *“Modificación química de*

almidón de yuca nativo mediante la reacción de carboximetilación en medio acuoso". Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V., Vol. 26, N° 1, pp. 117–128, 2011. Caracas, Venezuela.

Moore, S. David, (2005). *"Estadística aplicada básica"*. 2da edición. Editorial Antoni Bosch. Valencia, España.

Núñez, Aurelio (1984). *"La metodología estadística para todos"*. Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela.

Odian George, (2004). *"Principles of polymerization"* (4ta. edición). EE.UU. Wiley- Interscience publication.

Pereira Juan, (2012). *"Estado del arte sobre efecto de los alcoholes en las propiedades interfaciales de los surfactantes"*. Revista Ingeniería UC, Vol. 19, No. 2, 76 – 85, agosto 2012. Valencia, Venezuela.

Reyes Pablo y Di'scipio Sabrina, (2012). *"Caracterización físico-química de emulsiones de aceite de maíz en agua"*. Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V., Vol. 27, N° 1, pp. 56-69, 2012.

Shinoda, K y Saito, H., (1969). *"The stability of O/W type emulsions as functions of temperatura and the HLB of emulsifiers: The emulsification by PIT-method."* Journal of collid and interface science. 30: 258-263.

Weinberger, Hans F. (2005) *"Ecuaciones diferenciales en derivadas parciales"*. Segunda edición. Editorial Reverté, S.A. Barcelona, España.

APENDICE A CÁLCULOS TÍPICOS

A continuación se presentan los cálculos correspondientes al desarrollo de la fase experimental llevada a cabo durante la investigación.

➤ **Porcentaje de sólidos (%MNV):**

El porcentaje de material no volátil, viene dado por la ecuación A.1, de acuerdo a Covenin 827, 1993:

$$\%MNV = \frac{M_2 - Tara}{M_1} \times 100 \quad (A.1)$$

Donde:

M_1 = Masa de la muestra de resina antes del proceso de evaporación (g).

M_2 = Masa de la muestra de resina después del proceso de evaporación (g).

$$\%MNV = \frac{0,4647 - 0,2965}{0,5095} \times 100$$

$$\%MNV = 33,01\%$$

- Cálculo del error

El error asociado se calcula mediante el método de derivadas parciales, como lo indica Weinberger (2005), resultando la ecuación A.2.

$$\Delta MNV = \left| \frac{\Delta MNV}{\partial P_i} \right| \cdot \Delta P_i + \left| \frac{\Delta MNV}{\partial P_f} \right| \cdot \Delta P_f \quad (A.2)$$

Donde:

ΔMNV : error del MNV (%)

ΔP_i : error del peso inicial (g)

ΔP_f : error del peso final (g)

Derivando parcialmente y sustituyendo los valores correspondientes, se obtiene:

$$\Delta MNV : 0,02 \%$$

➤ **Promedio de %MNV**

De acuerdo con Moore (2005), el promedio de un conjunto de datos se calcula como muestra la ecuación A.3.

$$\overline{MNV} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (A.3)$$

Donde:

\overline{MNV} : MNV Promedio (%)

x_i : valor individual de %MNV en el conjunto de datos (%).

n : número de datos analizados (adim)

$$\overline{MNV} = \frac{33,05 + 33,01 + 32,98}{3} = 33,01 \%$$

- Cálculo del error

El error asociado viene representado por la desviación estándar, que de acuerdo con Moore (2005), es una medida del grado de dispersión de los datos con respecto al valor promedio y se calcula de acuerdo a la ecuación A.4.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (A.4)$$

Donde:

σ : desviación estándar (%)

\bar{x} : valor promedio del conjunto de datos (%)

$$\sigma = \sqrt{\frac{(33,05 - 33,01)^2 + (33,01 - 33,01)^2 + (32,98 - 33,01)^2}{3 - 1}}$$

$$\sigma = 0,175 \%$$

➤ **Balance de masa:**

De acuerdo con Himmelblau, 1997, el balance de masa simple para una mezcla multicomponente viene dado por la ecuación A.5:

$$\sum X_{ie} \cdot F_{ie} = \sum X_{is} F_{is}$$

(A.5)

Donde:

X_i = concentración del flujo (Adim).

F_i = masa del flujo (kg).

e = entrada

s = salida

$$(0,55 \times 1000) + (0,12 \times 500) + (0 \times 350) = X_s \times 1850$$

$$X_s = 33,01\%$$

- Cálculo del error

Siguiendo el método de derivadas parciales, como lo indica Weinberger (2005), resulta la ecuación A.6:

$$\Delta X = \left| \frac{\Delta X}{\partial F_e} \right| \cdot \Delta F_e + \left| \frac{\Delta X}{\partial P_s} \right| \cdot \Delta F_s$$

(A.6)

Donde:

ΔX : error de concentración (Adim)

ΔF_e : error del flujo entrada (kg)

ΔF_s : error del peso final (kg)

Derivando parcialmente y sustituyendo los valores correspondientes, se obtiene:

$$\Delta MNV : 0,013\%$$

➤ **Cálculo de costos:**

El costo total, viene dado por la ecuación A.7, de acuerdo a Castillo, (2013):

$$CT = Co + Ca + Cv + Gg$$

(A.7)

Donde:

Ct: Costos totales (Bs)

Co: Costos operacionales (Bs)

Ca: Costos de administración (Bs)

Cv: Costo de ventas (Bs)

Gg: Gastos generales (Bs)

$$CT = 141.666,67 + 450.132.824 + 72.833,33 + 116.666,67$$

$$CT = 450.463.990,70 \text{ Bs}$$

Para la transformación del cotos total a moneda extranjera (USD), se realizó la conversión, de acuerdo a la tasa de cambio de 3.345Bs/USD; cambio oficial (DICOM) para empresas y particulares, noviembre - 2017. De donde se tiene la ecuación A.8:

$$CT_{USD} = \frac{CT_{Bs}}{TC} \quad (A.8)$$

Donde:

CT_{USD} : costos totales (USD)

CT_{Bs} : costos totales (Bs)

TC: tasa de cambio oficial (Bs/USD)

$$CT_{USD} = \frac{450.463.990,70}{3.345}$$

$$CT_{USD} = 134.667,86$$

Para la estimación del costo por cada kilogramo producido, se divide el costo total por lote, entre la cantidad producida en este, resultando la ecuación A.9:

$$CT_{kg} = \frac{CT}{CP} \quad (A.9)$$

Donde:

CT_{kg} : costos totales por kg producido (Bs/kg)

CP : cantidad producida (kg)

$$CT_{kg} = \frac{450.463.990,70}{2800}$$

$$CT_{USD} = \frac{160.880Bs}{kg}$$

- Cálculo del error

Siguiendo el método de derivadas parciales, como lo indica Weinberger (2005), resulta la ecuación A.10:

$$\Delta CT = \left| \frac{\Delta CT}{\partial C_1} \right| \cdot \Delta C_1 + \dots + \left| \frac{\Delta CT}{\partial C_n} \right| \cdot \Delta C_n \quad (A.10)$$

Donde:

ΔCT : error de costo total (Bs)

ΔC_1 : error del costo 1 (Bs)

ΔC_n : error del costo n (Bs)

Derivando parcialmente y sustituyendo los valores correspondientes, se obtiene:

$$\Delta CT : 184.354,25 Bs$$

APÉNDICE B
TABLAS DE DATOS

A continuación se presentan de forma tabulada los datos correspondientes al desarrollo de la fase experimental.

Tabla B.1. Variación de la concentración para alcohol polivinílico PVOH-A

Muestra	Tara ($T \pm 0,0001$)g	M1 ($M1 \pm 0,0001$)g	M2 ($M2 \pm 0,0001$)g
M1	0,2984	0,5289	0,3829
	0,3021	0,5289	0,3865
M2	0,3139	0,5094	0,3905
	0,2836	0,5094	0,3603
M3	0,2921	0,5347	0,3670
	0,2986	0,5347	0,3736
M4	0,2931	0,5118	0,3599
	0,3012	0,5118	0,3679
M5	0,2937	0,5083	0,3549
	0,3102	0,5083	0,3713
M6	0,2836	0,5287	0,3416
	0,2984	0,5287	0,3563
M7	0,2928	0,5141	0,3445
	0,3076	0,5141	0,3591
M8	0,2934	0,5223	0,3405
	0,2895	0,5223	0,3364
M9	0,2909	0,5221	0,3329
	0,3256	0,5221	0,3674

Tabla B.2. Variación de la concentración para alcohol polivinílico PVOH-M

Muestra	Tara (T\pm0,0001)g	M1 (M1\pm0,0001)g	M2 (M2\pm0,0001)g
M1	0,2853	0,5051	0,3662
	0,2930	0,5051	0,3740
M2	0,3075	0,5162	0,3850
	0,2986	0,5162	0,3762
M3	0,2911	0,5193	0,3636
	0,2994	0,5193	0,3721
M4	0,2933	0,5173	0,3607
	0,2963	0,5173	0,3635
M5	0,3011	0,5182	0,3635
	0,2973	0,5182	0,3596
M6	0,3128	0,5037	0,3683
	0,2931	0,5037	0,3487
M7	0,2834	0,5038	0,3337
	0,3012	0,5038	0,3516
M8	0,3113	0,5053	0,3569
	0,3025	0,5053	0,3482
M9	0,3028	0,5328	0,3456
	0,3012	0,5328	0,3441

Tabla B.3. Variación de la concentración para alcohol polivinílico PVOH-B

Muestra	Tara ($T \pm 0,0001$)g	M1 ($M1 \pm 0,0001$)g	M2 ($M2 \pm 0,0001$)g
M1	0,2971	0,5264	0,3836
	0,3274	0,5264	0,4137
M2	0,2929	0,5313	0,3738
	0,3112	0,5313	0,3921
M3	0,2886	0,5361	0,3643
	0,2734	0,5361	0,3490
M4	0,2844	0,5410	0,3545
	0,2934	0,5410	0,3637
M5	0,2801	0,5458	0,3457
	0,2984	0,5458	0,3641
M6	0,2759	0,5507	0,3364
	0,2935	0,5507	0,3541
M7	0,2716	0,5556	0,3275
	0,3093	0,5556	0,3651
M8	0,2674	0,5604	0,3180
	0,3010	0,5604	0,3515
M9	0,2631	0,5653	0,3081
	0,3028	0,5135	0,3436

Tabla B.4. Variación de la viscosidad en función de la concentración en cada alcohol polivinílico.

Muestra	Viscosidad Brookfield (cP)		
	PVOH-A ($V_{\pm 1}$)cP	PVOH-M ($V_{\pm 1}$)cP	PVOH-B ($V_{\pm 1}$)cP
M1	6440	3670	880
	6400	3630	840
M2	6220	3220	704
	6180	3180	664
M3	5820	2895	598
	5780	2855	558
M4	5320	2440	448
	5280	2400	408
M5	5020	2260	368
	4980	2220	328
M6	4660	2000	284
	4620	1960	244
M7	4230	1520	206
	4190	1480	166
M8	3410	1170	152
	3370	1130	112
M9	2900	980	80
	2860	940	40

Tabla B.5. Material no volátil obtenido experimentalmente para la fórmula
con PVOH-A

Muestra	Tara ($T_{\pm 0,0001}$)g	M1 ($M1_{\pm 0,0001}$)g	M2 ($M2_{\pm 0,0001}$)g
1.A	0,3021	0,5103	0,4710
	0,3023	0,5184	0,4734
2.A	0,2941	0,5070	0,4614
	0,2937	0,5083	0,4615
3.A	0,2836	0,5287	0,4581
	0,2903	0,5251	0,4637
4.A	0,2943	0,5251	0,4677
	0,3096	0,5012	0,4750

Tabla B.6. Material no volátil obtenido experimentalmente para la fórmula
con PVOH-M

Muestra	Tara ($T_{\pm 0,0001}$)g	M1 ($M1_{\pm 0,0001}$)g	M2 ($M2_{\pm 0,0001}$)g
1.M	0,2931	0,5172	0,4639
	0,2953	0,5467	0,4758
2.M	0,2973	0,5387	0,4752
	0,2965	0,5095	0,4647
3.M	0,2953	0,5467	0,4758
	0,3055	0,5080	0,4732
4.M	0,3157	0,5180	0,4867
	0,2940	0,5069	0,4610

Tabla B.7. Material no volátil obtenido experimentalmente para la fórmula con PVOH-B

Muestra	Tara ($T_{\pm 0,0001}$)g	M1 ($M1_{\pm 0,0001}$)g	M2 ($M2_{\pm 0,0001}$)g
1.B	0,2970	0,5386	0,4751
	0,2966	0,5093	0,4648
2.B	0,3020	0,5100	0,4709
	0,3021	0,5183	0,4732

Tabla B.8. Viscosidad Brookfield obtenida experimentalmente para la fórmula con cada alcohol polivinílico.

Muestra	Viscosidad Brookfield (cP)		
	PVOH-A ($V_{\pm 1}$)cP	PVOH-M ($V_{\pm 1}$)cP	PVOH-B ($V_{\pm 1}$)cP
1.A	1520	730	318
	1490	672	257
2.A	1702	880	110
	1660	852	100
3.A	1875	1011	N/A
	1856	990	N/A
4.A	1942	1100	N/A
	1952	1020	N/A

Tabla B.9. Potencial de hidrógeno obtenido experimentalmente para la fórmula con cada alcohol polivinílico.

Muestra	pH (Adim)		
	PVOH-A (pH \pm 0,001)	PVOH-M (pH \pm 0,001)	PVOH-B (pH \pm 0,001)
1.A	5,410	5,450	5,305
	5,351	5,392	5,245
2.A	5,225	5,201	5,250
	5,195	5,176	5,221
3.A	5,445	5,244	N/A
	5,405	5,221	N/A
4.A	5,345	5,185	N/A
	5,145	4,985	N/A

Tabla B.10. Gravedad específica obtenida experimentalmente para la fórmula con PVOH-A

Muestra	Gravedad específica (g/mL)		
	PPM (PPM \pm 0,0001)g	PPV (PPV \pm 0,0001)g	K (K \pm 1)mL
1.A	61,5201	35,2101	25
	61,5552	35,2102	25
2.A	61,5301	35,2101	25
	61,5651	35,2101	25
3.A	61,5550	35,2100	25
	61,5326	35,2101	25
4.A	61,2801	35,2101	25
	61,3502	35,2102	25

Tabla B.11. Gravedad específica obtenida experimentalmente para la fórmula con PVOH-M

Muestra	Gravedad específica (g/mL)		
	PPM (PPM \pm 0,0001)g	PPV (PPV \pm 0,0001)g	K (K \pm 1)mL
1.A	60,8451	35,2101	25
	60,8152	35,2101	25
2.A	60,8576	35,2100	25
	60,7826	35,2101	25
3.A	60,7925	35,2101	25
	60,7876	35,2102	25
4.A	60,7801	35,2101	25
	60,7827	35,2101	25

Tabla B.12. Gravedad específica obtenida experimentalmente para la fórmula con PVOH-B

Muestra	Gravedad específica (g/mL)		
	PPM (PPM \pm 0,0001)g	PPV (PPV \pm 0,0001)g	K (K \pm 1)mL
1.A	60,5951	35,2101	25
	60,59	35,21	25
2.A	60,5851	35,2101	25
	60,5951	35,2101	25

Tabla B.13. Tiempo de secado experimentalmente para la fórmula con cada alcohol polivinílico.

Muestra	Tiempo de secado (TS+0,01)seg		
	PVOH-A	PVOH-M	PVOH-B
1.A	3'20"	3'44"	5'49"
	3'20"	3'45"	5'51"
2.A	3'22"	3'48"	5'58"
	3'21"	3'48"	5'58"
3.A	3'28"	3'50"	N/A
	3'29"	3'51"	N/A
4.A	3'30"	3'54"	N/A
	3'31"	3'54	N/A

Tabla B.14. Tiempo de desgarre experimentalmente para la fórmula con cada alcohol polivinílico.

Muestra	Tiempo de desgarre (TD+0,01)seg		
	PVOH-A	PVOH-M	PVOH-B
1.A	0'44"	0'48"	1'35"
	0'44"	0'48"	1'34"
2.A	0'43"	0'47"	1'32"
	0'44"	0'48"	1'32"
3.A	0'40"	0'48"	N/A
	0'40"	0'48"	N/A
4.A	0'40"	0'47"	N/A
	0'40"	0'47"	N/A

Tabla B.15. Material no volátil obtenido experimentalmente en laboratorio con la fórmula 3.A de PVOH-A

Muestra	Tara ($T_{\pm 0,0001}$)g	M1 ($M1_{\pm 0,0001}$)g	M2 ($M2_{\pm 0,0001}$)g
Ensayo 1	0,2965	0,5243	0,4697
	0,2937	0,5083	0,4616
Ensayo 2	0,3096	0,5012	0,4745
	0,2986	0,5053	0,465
Ensayo 3	0,2953	0,5467	0,4763
	0,3055	0,508	0,4737

Tabla B.16. Viscosidad Brookfield obtenida experimentalmente en laboratorio con la fórmula 3.A de PVOH-A

Muestra	Viscosidad Brookfield ($V_{\pm 1}$)cP
Ensayo 1	1660
	1648
Ensayo 2	1505
	1500
Ensayo 3	1708
	1695

Tabla B.17. Potencial de hidrógeno obtenido experimentalmente en laboratorio con la fórmula 3.A de PVOH-A

Muestra	pH (pH \pm 0,001)Adim
Ensayo 1	4,932
	4,930
Ensayo 2	5,021
	5,018
Ensayo 3	4,973
	4,990

Tabla B.18. Gravedad específica obtenida experimentalmente en laboratorio con la fórmula 3.A de PVOH-A

Muestra	Gravedad específica (g/mL)		
	PPM (PPM \pm 0,0001)g	PPV (PPV \pm 0,0001)g	K (K \pm 1)mL
Ensayo 1	61,1351	35,2100	25
	61,1602	35,2101	25
Ensayo 2	61,0351	35,2101	25
	60,9601	35,2101	25
Ensayo 3	61,21	35,2101	25
	61,2601	35,2102	25

Tabla B.19. Tiempo de secamiento obtenido experimentalmente en laboratorio con la fórmula 3.A de PVOH-A

Muestra	Tiempo de secamiento (TS_{±1})seg
Ensayo 1	3'27"
	3'28"
Ensayo 2	3'33"
	3'32"
Ensayo 3	3'32"
	3'32"

Tabla B.20. Tiempo de desgarre obtenido experimentalmente en laboratorio con la fórmula 3.A de PVOH-A

Muestra	Tiempo de desgarre (TD_{±1})seg
Ensayo 1	0'40"
	0'40"
Ensayo 2	0'41"
	0'41"
Ensayo 3	0'40"
	0'40"

Tabla B.21. Variación de la viscosidad en función de la concentración obtenida experimentalmente en laboratorio con la fórmula 3.A de PVOH-A

Viscosidad (P+10)cP	MNV (P±0,17)%
3200	34,92
2800	34,63
2600	34,33
2520	34,18
2100	33,58
1900	33,28
1750	33,09
1450	32,72
1100	32,41
900	32,27
520	32,04
280	31,97

Tabla B.22. Material no volátil obtenido experimentalmente en planta piloto con la fórmula 3.A de PVOH-A

Muestra	Tara ($T_{\pm 0,0001}$)g	M1 ($M1_{\pm 0,0001}$)g	M2 ($M2_{\pm 0,0001}$)g
Ensayo 1	0,2941	0,5070	0,4622
	0,2965	0,5243	0,4699
Ensayo 2	0,2836	0,5287	0,4599
	0,2903	0,5251	0,4662
Ensayo 3	0,2937	0,5083	0,4615
	0,2836	0,5287	0,4581

Tabla B.23. Viscosidad Brookfield obtenida experimentalmente en planta piloto con la fórmula 3.A de PVOH-A

Muestra	Viscosidad Brookfield ($V_{\pm 1}$)cP
Ensayo 1	1608
	1597
Ensayo 2	1808
	1800
Ensayo 3	1545
	1552

Tabla B.24. Potencial de hidrógeno obtenido experimentalmente en planta piloto con la fórmula 3.A de PVOH-A

Muestra	pH (pH \pm 0,001)Adim
Ensayo 1	4,951
	4,949
Ensayo 2	5,022
	5,001
Ensayo 3	4,941
	4,942

Tabla B.25. Gravedad específica obtenida experimentalmente en planta piloto con la fórmula 3.A de PVOH-A

Muestra	Gravedad específica (g/mL)		
	PPM (PPM \pm 0,0001)g	PPV (PPV \pm 0,0001)g	K (K \pm 1)mL
Ensayo 1	61,2101	35,2101	25
	61,2102	35,2101	25
Ensayo 2	61,2601	35,2100	25
	61,2351	35,2102	25
Ensayo 3	61,0601	35,2101	25
	61,0601	35,2101	25

Tabla B.26. Tiempo de secamiento obtenido experimentalmente en planta piloto con la fórmula 3.A de PVOH-A

Muestra	Tiempo de secamiento (TS+1)seg
Ensayo 1	3'31''
	3'32''
Ensayo 2	3'30''
	3'30''
Ensayo 3	3'29''
	3'30''

Tabla B.27. Tiempo de desgarre obtenido experimentalmente en planta piloto con la fórmula 3.A de PVOH-A

Muestra	Tiempo de desgarre (TD+1)seg
Ensayo 1	0'41''
	0'41''
Ensayo 2	0'41''
	0'41''
Ensayo 3	0'40''
	0'40''

Tabla B.28. Variación de la viscosidad en función de la concentración obtenida experimentalmente en planta piloto con la fórmula 3.A de PVOH-A

Viscosidad (P+10)cP	MNV (P±0,17)%
3480	35,04
2900	34,71
2720	34,27
2650	34,18
2400	33,81
2000	33,21
1900	33,07
1740	32,88
1400	32,63
980	32,35
710	32,11
400	32,02

Tabla B.29. Perfil de temperatura obtenido experimentalmente en planta piloto con la fórmula 3.A de PVOH-A

Tiempo (min)	Temperatura ($T_{\pm 1}$)°C		
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
10	40	38	38
20	47	45	42
30	52	51	49
40	55	55	55
50	62	60	61
60	74	72	70
70	80	80	80
80	80	80	80
90	81	80	80
100	80	80	81
110	80	78	80
120	75	72	77
130	60	58	61
140	58	56	58
150	55	48	52
160	45	44	46
170	45	44	43
180	45	44	43
190	44	43	43
200	44	42	42
210	43	41	42
220	43	40	42
230	43	40	41
240	42	40	41
250	42	38	40
260	42	38	40
270	41	38	39
280	41	38	39
290	41	37	38
300	40	36	37
310	40	36	37
320	39	35	36
330	39	35	36
340	36	35	35
350	32	34	35
360	32	34	34

APÉNDICE C
FIGURAS Y TABLAS DE RESULTADOS

A continuación se presentan de forma gráfica y tabulada los resultados correspondientes al desarrollo de la fase experimental.

Tabla C.1. Variación de la concentración en PVOH-A

Muestra	MNV (P\pm0,02)% - PVOH-A
M1	15,97
	15,95
M2	15,03
	15,05
M3	14,00
	14,02
M4	13,05
	13,03
M5	12,04
	12,02
M6	10,97
	10,95
M7	10,05
	10,01
M8	9,01
	8,97
M9	8,04
	8,01

Tabla C.2. Variación de la concentración en PVOH-M

Muestra	MNV ($P_{\pm 0,02}$)% - PVOH-M
M1	16,01
	16,03
M2	15,01
	15,03
M3	13,96
	13,99
M4	13,02
	12,99
M5	12,04
	12,02
M6	11,01
	11,03
M7	9,98
	10,00
M8	9,02
	9,04
M9	8,03
	8,05

Tabla C.3. Variación de la concentración en PVOH-B

Muestra	MNV (P\pm0,02)% - PVOH-B
M1	16,43
	16,39
M2	15,22
	15,22
M3	14,12
	14,10
M4	12,95
	12,99
M5	12,01
	12,03
M6	10,98
	11,00
M7	10,06
	10,04
M8	9,02
	9,01
M9	7,96
	7,94

Tabla C.4. Variación de la viscosidad en función de la concentración en cada alcohol polivinílico.

Muestra	Viscosidad Brookfield ($V_{\pm 1}$)cP		
	PVOH-A	PVOH-M	PVOH-B
M1	6420	3650	860
M2	6200	3200	684
M3	5800	2875	578
M4	5300	2420	428
M5	5000	2240	348
M6	4640	1980	264
M7	4210	1500	186
M8	3390	1150	132
M9	2880	960	60

Tabla C.5. Características de base adhesiva 2519 utilizada para formulación

Propiedad	Especificación
Material no volátil ($C_{\pm 0,01}$)%	55,00%
Viscosidad ($V_{\pm 1}$)%	6000cP
pH ($pH_{\pm 0,001}$)	6,0(Adim)
Secamiento ($s_{\pm 1}$)seg	4'00''
Desgarre ($s_{\pm 1}$)seg	0'30''

ANEXOS

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD
de acuerdo al Reglamento (CE) No. 1907/2006



BYK-W 980

Código del producto: 000000000000100343

Versión 5.3 SDB_ES

Fecha de revisión 08.11.2017

Fecha de impresión
13.11.2017

SECCIÓN 1. Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa

1.1 Identificador del producto

Nombre comercial : BYK-W 980

1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

Uso de la sustancia/mezcla : Aditivo humectante y dispersante

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Compañía : BYK-Chemie GmbH
Abelstrasse 45
46483 Wesel

SECCIÓN 2. Identificación de los peligros

2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla

Clasificación (REGLAMENTO (CE) No 1272/2008)

Irritación cutáneas, Categoría 2

H315: Provoca irritación cutánea.

SECCIÓN 3. Composición/información sobre los componentes

3.2 Mezclas

Naturaleza química : Solución de una sal de poliaminamidas no saturadas y poliésteres ácido

Componentes peligrosos

Nombre químico	No. CAS No. CE Número de registro	Clasificación (REGLAMENTO (CE) No 1272/2008)	Concentración (%)
Sal de poliaminamidas (72243/00/2008.0023, Germany)	-	Skin Irrit. 2; H315	>= 50 - < 100
2-butoxietanol	111-76-2 203-905-0 01-2119475108-36	Acute Tox. 4; H302 Acute Tox. 4; H332 Acute Tox. 4; H312 Skin Irrit. 2; H315 Eye Irrit. 2; H319	>= 12,5 - < 20

Anexo 1. Información técnica del aditivo humectante (ADH) utilizado en la investigación

ACTICIDE® LA 1206



Información Técnica

Producto indicado para la protección en envase de formulaciones acuosas sensibles a formaldehído y sales metálicas bivalentes. El ACTICIDE® LA 1206 presenta estabilización de tipo monovalente y no contiene solventes orgánicos ni formaldehído.

Características físicas y químicas

Composición:	Combinación de 5-cloro-2-metil-4-isotiazolin-3-ona (CIT), 2-metil-4-isotiazolin-3-ona (MIT) y bromonitropropanodiol (Bronopol)
Apariencia:	Líquido de incoloro a amarillo pálido
Olor:	Suave
Densidad (20°C):	1.035 - 1.055 g/cm ³
Índice refracción (20°C):	1.3430 - 1.3470
MIT:	0.27 - 0.33%
CIT:	0.80 - 0.90%
Bronopol:	5.30 - 5.80%
Solubilidad:	Totalmente soluble en agua, y en alcoholes y glicoles de bajo peso molecular.
Estabilidad en aplicación:*	Estable en presencia de luz, en un rango de pH de 2-9 y hasta valores de temperatura de 60 °C.

Propiedades como biocida

El ACTICIDE® LA 1206 tiene un espectro de actividad muy amplio contra bacterias, hongos y levaduras responsables de la contaminación y degradación de formulaciones en base acuosa. Algunos de los organismos implicados son los siguientes:

Organismos responsables de contaminación

Bacterias	Hongos	Levaduras
Achromobacter sp. Aeromonas sp. Alcaligenes sp. Bacillus sp. Escherichia coli Flavobacterium sp. Klebsiella sp. Proteus sp. Pseudomonas aeruginosa Streptomyces sp.	Aspergillus sp. Cephalosporium sp. Cladosporium sp. Fusarium sp. Paecilomyces variotii Penicillium funiculosum	Candida albicans Rhodotorula sp. Saccharomyces cerevisiae

Aplicaciones / Dosis de empleo

El ACTICIDE® LA 1206 es eficaz en la protección en envase de la mayoría de productos acuosos tales como pinturas, emulsiones, adhesivos, esmaltes, masillas y sellantes, así como para ser utilizado como dosis de choque en aceites de corte diluidos.

La dosis de aplicación habitual se encuentra entre 0.05 - 0.40%, dependiendo del producto a proteger y de las condiciones ambientales a las que será expuesto. La concentración exacta requerida para una formulación específica puede ser determinada por cada Laboratorio Microbiológico Thor.

Anexo 2. Información técnica del biocida utilizado en la investigación