

**OBTENCIÓN DE LA FORMULACIÓN DE UNA EMULSIÓN POLIVINÍLICA PARA
ADHESIVOS DE MADERA Y PAPEL EN LA EMPRESA DE PINTURAS
TONNER**

**NATALIA CASTRO HIGUERA
STEFFANY ALEJANDRA HERREÑO GALLEGO**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C
2020**

**OBTENCIÓN DE LA FORMULACIÓN DE UNA EMULSIÓN POLIVINÍLICA PARA
ADHESIVOS DE MADERA Y PAPEL EN LA EMPRESA DE PINTURAS
TONNER.**

**NATALIA CASTRO HIGUERA
STEFFANY ALEJANDRA HERREÑO GALLEGO**

**Proyecto integral de grado para optar por el título de:
INGENIERO QUÍMICO**

**Director:
ALFREDO ACEVEDO MOLINA
Químico**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C
2020**

Nota de aceptación

Ing. Dany José Cárdenas Romay

Ing. Juan Camilo Cely Garzón

Bogotá, D.C. febrero de 2020

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. MARIO POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrector de Desarrollo y Recurso Humanos

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrectora Académica y de Posgrados (E)

Dra. ALEXANDRA MEJÍA GUZMÁN

Secretaría General

Dra. ALEXANDRA MEJÍA GUZMÁN

Decano Facultad de Ingenierías

Dr. JULIO CÉSAR FUENTES ARISMENDI

Director Programa Ingeniería Química

Dr. LEONARDO DE JESÚS HERRERA GUTIÉRREZ

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a la autora.

DEDICATORIA

Le dedico esta tesis a mi mamá que siempre estuvo para mí con cada madrugada y con cada traspasada, que cada día me dio una palabra de aliento demostrándome todo su amor y su apoyo.

A mi hermana, que desde pequeña fomentó en mí las ganas de aprender y de descubrir un mundo nuevo, por ser mi primera profesora y por ser mi cómplice en cada etapa de mi vida.

A mi compañera de tesis y mi gran amiga Alejandra Herreño, porque desde primer semestre estamos destinadas a realizar esta tesis juntas.

Y por último quisiera dedicarme esta tesis, por nunca rendirme y por siempre luchar, aunque las cosas se vieran difíciles. Porque con esta tesis cierro un capítulo de mi vida y comienzo uno nuevo.

- Natalia Castro Higuera.

DEDICATORIA

A Dios por ser mi guía, por darme fortaleza en mi día a día y cada cosa bella de mi vida.

A mi mamá y a mi papá por apoyarme, aconsejarme y ayudarme en cada etapa de la vida; por ser mi fortaleza y mi compañía, aquellas personas que me escuchan y me guían.

A Sebastian y Joey, por ser mi compañía tanto de día como de noche a lo largo de mi carrera, por ayudarme y apoyarme en las metas que me propongo.

A Paola, mi abuela, mi abuelo, mis tías y primos, por darme su aliento y su amor.

A mi compañera y amiga, Natalia Castro, por acompañarme a lo largo de la carrera y lograr esta meta conmigo.

A mí por la fortaleza en cada tropiezo.

- Steffany Alejandra Herreño Gallego

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al propietario de la empresa Pinturas Tonner, SAMUEL DAVILA NAVARRO, por brindarnos las instalaciones de la empresa para la ejecución de este proyecto y ofrecernos un apoyo.

Al químico y gerente de planta de Pinturas Tonner, ALFREDO ACEVEDO, por darnos la oportunidad de realizar este proyecto, por guiarnos en el camino del conocimiento de la industria y por siempre apoyarnos en cada paso de la realización de este proyecto.

A la empresa Pinturas Tonner y a todos sus trabajadores, en especial a MAURICIO BONILLA ARIAS y a JEFFERSON SOSA GARCÍA, que estuvieron apoyándonos en la realización de este trabajo y por siempre estar dispuestos a enseñarnos.

Agradecemos a FERNANDO DUQUE por abrirnos la puerta de esta maravillosa empresa.

A nuestras familias, que siempre creyeron en nosotras y que fueron un apoyo incondicional durante toda la carrera.

A los profesores de la Universidad de América, quienes nos enseñaron a amar esta carrera con cada una de sus materias a lo largo de estos años.

En general a todos los que se vieron involucrados con este trabajo, les agradecemos profundamente su apoyo y su dedicación

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	22
OBJETIVOS	23
1. GENERALIDADES	24
1.1 GENERALIDADES DE LA EMPRESA	24
1.1.1 Misión	24
1.1.2 Visión.	25
1.1.4 Observaciones Financieras	26
1.2 GENERALIDADES DEL ADHESIVO EN PINTURAS TONNER	26
2. MARCO TEÓRICO	28
2.1 POLÍMEROS	28
2.1.1 Polimerización.	29
2.1.1.1 Procesos de polimerización.	30
2.1.1.2 Etapas de la polimerización por adición.	31
2.1.1.3 Síntesis de polímeros.	34
2.2 EMULSIONES.	36
2.2.1 Polimerización en emulsión.	36
2.2.2 Procesos de polimerización en emulsión.	.37
2.2.2.1 Batch.	.37
2.2.2.2 Continuo.	.37
2.2.2.3 Semicontinua o semibatch.	.37
2.2.3.1 Fase Continua.	38
2.2.3.2 Monómero.	.39
2.2.3.3 Coloide protector.	.39
2.2.3.4 Regulador de pH.	.41
2.2.3.5 Iniciador.	42
2.2.3.6 Biocida.	43
2.2.3.7 Antiespumante.	43
2.2.4 Aplicaciones industriales de las emulsiones de acetato de polivinilo.	44
2.3 ADHESIVOS	. 45
2.3.1 Clasificación según el origen.	46
2.3.2 Tipos de adhesivos según su funcionamiento.	46
2.3.3 Aplicaciones industriales.	.48
3. SELECCIÓN DE MATERIAS PRIMAS	49
3.1 FASE CONTINUA	49
3.2 MONÓMERO	.51
3.2.1 Emulsiones de acetato de vinilo.	56
3.3 COLOIDE PROTECTOR	.57
3.4 REGULADOR DE pH	61

3.5	BIOCIDA	.61
3.6	ANTIESPUMANTE	63
3.7	INICIADORES	64
3.8	SEMILLA	66
3.9	CALIDAD DE LAS MATERIAS PRIMAS	67
3.9.1	Caracterización de las materias primas.	67
3.9.1.1	Viscosidad.	67
3.9.1.2	pH	69
3.9.1.3	Índice de refracción.	70
3.9.1.4	Porcentaje de sólidos totales.	.71
3.9.2	Análisis experimental de las materias primas.	72
3.9.2.1	Caracterización del vinil acetato.	.72
3.9.2.2	Caracterización del regulador de pH.	74
3.9.2.3	Caracterización del biocida.	75
3.9.2.4	Caracterización del antiespumante.	76
3.9.2.5	Caracterización de la semilla.	77
4.	DESARROLLO EXPERIMENTAL DE EMULSIONES POLIVINÍLICAS	79
4.1	TEMPERATURA	79
4.1.1	Temperatura óptima para la emulsión.	81
4.2	FORMULACIONES DE EMULSIONES POLIVINÍLICAS	81
4.2.1	Ruptura térmica.	84
4.2.2	Óxido-reducción.	86
4.2.3	Óxido-reducción con semilla obtenida a partir de una emulsión polivinílica.	89
4.2.4	Polimerización en masa.	.92
4.3	CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LA EMULSIÓN	94
4.3.1	Cantidad de sólidos no volátiles.	94
4.3.2	Viscosidad.	95
4.3.3	pH.	96
4.3.4	Tamaño de partícula.	.97
4.3.5	Flexibilidad.	97
4.4	METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DE LOS EXPERIMENTOS	98
4.4.1	Reactor	99
4.4.2.1	Análisis de los resultados.	102
4.4.3	Comparación de la emulsión comprada con la emulsión elaborada.	.108
5.	PRODUCCIÓN DEL ADHESIVO CON LA MEJOR EMULSIÓN	109
5.1	MATERIAS PRIMAS DEL ADHESIVO	.109
5.2	PROCESO DE ELABORACIÓN DEL ADHESIVO	110
5.3	COMPARACIÓN DEL ADHESIVO REALIZADO EXPERIMENTALMENTE CON EL ADHESIVO INDUSTRIAL	113

5.3.1	Caracterización del adhesivo.	113
5.3.1.1	Viscosidad.	.113
5.3.1.2	Contenidos de sólidos totales.	113
5.3.1.3	pH.	113
5.3.1.4	Tiempo de fraguado.	114
5.3.1.5	Formación y apariencia de película.	115
5.3.1.6	Poder de adhesión o pegajosidad.	116
5.3.2	Comparación de los adhesivos.	.117
6.	CONCLUSIONES	121
7.	RECOMENDACIONES	123
	BIBLIOGRAFÍA	124
	ANEXOS	132

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Productos elaborados en Pinturas Tonner	25
Tabla 2. Etapas de polimerización	31
Tabla 3. Principales características de los coloides	41
Tabla 4. IRCA mensual del acueducto y alcantarilla de Bogotá de enero hasta junio del año 2019	50
Tabla 5. Clasificación del nivel de riesgo de salud según el IRCA	51
Tabla 6. Tipos de monómero según su solubilidad.	52
Tabla 7. Propiedades específicas de los principales monómeros libres utilizados para la polimerización	54
Tabla 8. Propiedades Físicas y Químicas de los Alcoholes polivinílicos.	61
Tabla 9. Diferentes tipos de sitios activos para un biocida.	62
Tabla 10. Tipos de antiespumantes según la composición	63
Tabla 11. Propiedades Físicas de referencia del Vinil Acetato	73
Tabla 12. Comprobación de los valores Teóricos	73
Tabla 13. Propiedades Físicas y Químicas del regulador de pH.	75
Tabla 14. Comprobación de los valores Teóricos	75
Tabla 15. Propiedades Físicas y químicas del Biocida	75
Tabla 16. Comprobación de los valores Teóricos	76
Tabla 17. Propiedades Físicas y Químicas del antiespumante	76
Tabla 18. Comprobación de los valores Teóricos	76
Tabla 19. Propiedades Físicas y Químicas de la semilla comercial	77
Tabla 20. Comprobación de los valores Teóricos	77
Tabla 20. Propiedades de semilla comercial modificados.	78
Tabla 21. Porcentajes de la formulación.	82
Tabla 22. Porcentajes de fórmula, ruptura térmica	86
Tabla 23. Porcentajes de fórmula, óxido reducción	89
Tabla 24. Porcentajes de fórmula, óxido reducción con semilla obtenida a partir de una emulsión polivinílica	92
Tabla 25. Porcentajes de fórmula, Polimerización en masa	94
Tabla 26. Requisitos de una emulsión realizada con polivinilo acetato según la Norma Técnica Colombiana NTC 1703	99
Tabla 27. Resultados de contenido de sólidos, teniendo en cuenta los factores de temperatura y método de emulsiones.	102
Tabla 28. Comparación de la emulsión realizada con la comprada.	108
Tabla 29. Porcentajes para la elaboración de adhesivo	112
Tabla 30. Comparación de los adhesivos	118
Tabla 31. Comparación del poder de adhesión de los adhesivos por medio del peso inicial y final de las maderas.	119

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Ilustración 1. Ubicación geográfica de la empresa Pinturas Tonner en el municipio de Soacha	24
Ilustración 2. Comparación de empresas de Fabricación de Pinturas y Recubrimientos.	26
Ilustración 3. Mapa materias primas para la elaboración del adhesivo	27
Ilustración 4. Ejemplo estructural de polímero con ramificación.	29
Ilustración 5. Ejemplos estructurales de polímeros	30
Ilustración 6. Reacción en la polimerización.	33
Ilustración 7. Propagación del polímero	39
Ilustración 8. Representación de una estructura de una molécula surfactante	40
Ilustración 9. Acción del antiespumante	43
Ilustración 10. Como entra la burbuja al antiespumante	44
Ilustración 11. Función de un adhesivo, adhesión y cohesión.	46
Ilustración 12. Comportamiento de un monómero en la Temperatura de transición vítrea	53
Ilustración 13. Materia prima, vinil acetato.	55
Ilustración 14. Materia prima, alcohol polivinílico	57
Ilustración 15. Estructura general del Alcohol Poli Vinílico	58
Ilustración 16. Materia prima, biocida	62
Ilustración 17. Materia prima, antiespumante orgánico a base mineral	64
Ilustración 18. Iniciadores	64
Ilustración 19. Emulsión polivinílica finalizada	67
Ilustración 20. Viscosímetro Brookfield	68
Ilustración 21. Diagrama de flujo del proceso para usar el viscosímetro Brookfield	69
Ilustración 22. Equipo de potenciómetro OAKION(ION 700)	70
Ilustración 23. Refractómetro ABBE	71
Ilustración 24. Analizador de humedad marca OHAUS 2017	71
Ilustración 25. Prueba de hidroquinona	74
Ilustración 26. Diagrama de flujo del Mecanismo general para la obtención de una emulsión polimérica.	83
Ilustración 27. Diagrama del proceso del proceso para la emulsión realizada por ruptura térmica	85
Ilustración 28. Diagrama del proceso del proceso para la emulsión realizada por óxido-reducción	88
Ilustración 29. Diagrama del proceso del proceso para la emulsión realizada por óxido-reducción con semilla obtenida a partir de emulsión polivinílica.	91

Ilustración 30. Diagrama del proceso del proceso para la polimerización en masa	93
Ilustración 31. Foto final de sólidos totales.	95
Ilustración 32. Flexibilidad de la emulsión	97
Ilustración 33. Partes del reactor piloto	100
Ilustración 34. Balanzas Tipo CAS, digital	101
Ilustración 35. Comparación de la apariencia entre las emulsiones	106
Ilustración 36. Realización del adhesivo.	110
Ilustración 37. Diagrama de flujo del proceso para la obtención del adhesivo	111
Ilustración 38. Diagrama de flujo del proceso para la obtención del adhesivo.	112
Ilustración 39. Comparación del tiempo del secado del adhesivo realizado con el adhesivo de la empresa por medio	114
Ilustración 40. Formación y apariencia de película	115
Ilustración 41. Representación del poder de adhesión y cohesión en un bloque	116
Ilustración 42. Prueba de pegajosidad por medio de la aplicación de una fuerza externa.	117

LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Cambios de viscosidad de los diferentes tipos de alcohol polivinílico y el porcentaje de sólidos para grado de hidrólisis (%MNV)	60
Gráfica 2. Curvas cinéticas experimentales de la polimerización de vinil acetato	80
Gráfica 3. Resultado de la viscosidad del acetato de polivinilo según su concentración	96
Gráfica 4. Variación del contenido de sólidos con respecto al cambio de temperatura para cada una de las formulaciones.	103
Gráfica 5. Resultado de pH de cada una de las 4 formulaciones con respecto al cambio de temperatura	104
Gráfica 6. Resultado de la viscosidad de cada una de las 4 formulaciones con respecto al cambio de temperatura	105
Gráfica 7. Cantidad de sólidos totales según su temperatura.	107

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Velocidad de polimerización.	33
Ecuación 2. Velocidad de polimerización teniendo en cuenta las partículas	34
Ecuación 3. Reacción de polimerización de acetato de vinilo	56
Ecuación 4. Disociación del Persulfato de Potasio en fase acuosa	65

LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO A. FICHAS TÉCNICAS DE MATERIAS PRIMAS	133
ANEXO B. NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 1703	136
ANEXO C. RÉPLICAS DE LAS MEDICIONES DE LOS RESULTADOS	140

LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

ABREVIATURAS

Abreviatura	Término
ASTM	American Society for Testing and Materials
CC	Centímetro cúbico
CM	Centímetro
CPS	Centipoises
°C	Grados Celsius
EMIS	Emerging markets research, data and news
°F	Grados Fahrenheit
G	Gramos
J	Joule
KG	Kilogramo
L	Litro
M	Metros
MPA	Mega pascal
NTC	Norma Técnica Colombiana
PPM	Partes por millón
S	Segundos
VAM	Vinil Acetato

SÍMBOLOS

SÍMBOLO	TÉRMINO	UNIDAD
C_p	Capacidad calorífica	$J/g^{\circ}C$
k_p	Constante cinética de propagación	$L/mol\ s$
k_d	Constante de descomposición del iniciador	$1/s$
\bar{n}	Número de radicales promedio por partículas	mol/L
$[M]^p$	Concentración de monómero en las partículas	mol/L
N_p	Número total de partículas	Adimensional
N_{av}	Número de Avogadro	mol^{-1}
$[R]^p$	Concentración total de radicales en la partícula	mol/L
R_p^*	Velocidad de polimerización	mol/s
V^{ac}	Volumen de la fase acuosa	L

GLOSARIO

ACETATO DE POLIVINILO (PVA): polímero obtenido a partir de la polimerización del acetato de vinilo.¹

ADHESIÓN: propiedad que otorga una sustancia, o capacidad de una materia a unirse a otra materia por medio de sus superficies.²

ADHESIVO: sustancia encargada de mantener ensamblados dos organismos por medio del contacto superficial³

ANFIPÁTICAS: moléculas que poseen un extremo hidrofílico (soluble en agua) y el otro hidrófobo (insoluble en agua).⁴

COALESCENCIA: unión de la fase dispersa y fase continua en una emulsión⁵

COHESIÓN: es la unión entre las moléculas de una misma sustancia, surge de la atracción molecular.⁶

COLOIDE PROTECTOR: surfactante. Sustancia tensa activa que impide la coalescencia de una fase dispersa, generando estabilidad en la emulsión.⁷

EMULSIÓN: mezcla entre dos líquidos inmiscibles⁸.

EMULSIONANTE: sustancia que ayuda a la formación de la emulsión

FUERZAS INTERMOLECULARES: fuerza de valencia ejercida entre dos o más moléculas.

HIDRÓLISIS: es un proceso de carácter catabólico, en el cual se rompen moléculas de grandes tamaños en fase acuosa.

INHIBIDOR: sustancia que ocurra una reacción química, en este trabajo de grado evita la auto polimerización del vinil acetato

INICIADOR: sustancia química que activa y provoca la reacción.

¹ FRED, Wallace; BILLMEYER, J. R. Ciencia de los polímeros. Barcelona: Editorial Reverté SA, 2004, vol. 2, 10-30p.

² Ibid, p. 20

³ Ibid, p. 25

⁴ Ibid, p. 25

⁵ Ibid, p. 30

⁶ Ibid, p. 35

⁷ Ibid, p. 35

⁸ Ibid, p. 40

MAQUINABILIDAD: propiedad del adhesivo que mide la solubilidad en agua, resistencia a cambios ambientales y óptimas propiedades adhesivas.

MONÓMERO: molécula simple, cuya característica principal es tener bajo peso molecular.⁹

POLÍMERO: macromolécula constituidas por varias unidades repetidas, como la celulosa, las cuales se unen por medio de enlaces covalente; sustancia obtenida de la reacción química conocida como polimerización.¹⁰

REVESTIMIENTO: capa del adhesivo que cubre una superficie¹¹

VELOCIDAD DE FRAGUADO: rapidez de endurecimiento o pérdida de agua.¹²

⁹ Fred, op. cit. p. 34

¹⁰ Fred, op. cit. p. 34

¹¹ RUBIO CRUZ, ERNESTO FRANCISCO, et al. Estudio comparativo de materiales biocompatibles sintetizados a partir de goma vegetales, goma biosintética e hidroxietilcelulosa. 2009.

¹² Fred, op. cit. p. 45

RESUMEN

Este trabajo de grado se desarrolló en la empresa Pinturas Tonner, la cual cuenta con 29 años de trayectoria, esta se dedica a la producción, comercialización y distribución de pinturas y adhesivos; con respecto a los adhesivos se produce aproximadamente 30 toneladas al mes. Las materias primas para su elaboración son: emulsión polivinílica, plastificante, biocida, alcohol polivinílico, antiespumante y agua.

La emulsión polivinílica como materia prima del adhesivo para madera y papel constituye en un aproximado del 30%, la cual le otorga la propiedad de adhesión y cohesión entre el sustrato y este, y, por esta razón, el objetivo general de este proyecto de grado fue obtener la formulación de una emulsión polivinílica para adhesivos de madera y papel en la empresa Pinturas Tonner, con el fin de contribuir con en el mejoramiento e innovación de este producto, y minimizar los costos de la producción.

Para su elaboración, se realizó un desarrollo experimental, el cual constituyó de 16 ensayos a nivel laboratorio cada uno con cuatro réplicas, usando 4 fórmulas distintas de elaboración de emulsión polivinílica y a tres temperaturas diferentes que permitieron el desarrollo óptimo de la polimerización, con el fin de determinar el procedimiento el cual permitió adquirir las mejores propiedades adhesivas.

Culminada la revisión documental y el desarrollo experimental, se eligió la emulsión polivinílica realizada con la denominada fórmula 3, la cual corresponde a óxido-reducción con semilla obtenida, con una temperatura de polimerización de 75°C, ya que, en sus resultados de contenido de sólidos, tiempo de secado, fuerza de adhesión y flexibilidad presentaban una variación del 2% con respecto al adhesivo realizado actualmente en la empresa.

Finalmente se realizó una comparación entre el adhesivo producido actualmente en la empresa con el adhesivo que se elaboró con la mejor emulsión polivinílica obtenida a partir de la fórmula 3, la cual obtuvo un contenido de sólidos totales de 53.4, comprobando que la selección hecha cumple con todas las características para realizar el adhesivo ya que esta propiedad le otorga al adhesivo la fuerza de adhesión y cohesión entre el sustrato y este.

Palabras Claves: Emulsión polivinílica, adhesivos, madera, formulación, Acetato de Polivinilo (PVA), Polimerización en emulsión, Pinturas Tonner, vinil acetato (VAM)

INTRODUCCIÓN

El proyecto tuvo el respaldo de la empresa Pinturas Tonner S.A, la cual tenía a su disposición las materias primas requeridas para el proceso de obtención de la emulsión polivinílica y la realización del adhesivo, al igual se contó con los laboratorios de la misma necesarios para la caracterización de estos dos productos. Para la fabricación de adhesivos, se utiliza una emulsión polivinílica, la cual, se desarrolla por medio de un proceso de polimerización en emulsión; el polímero resultante garantizará la fuerza de cohesión entre los materiales que se quieran unir; facilitando así la calidad del producto, el bajo costo de producción y la sostenibilidad del proceso.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, el objetivo de este proyecto fue obtener la formulación de una emulsión polivinílica para adhesivos de madera y papel en la empresa Pinturas Tonner; para cumplir este objetivo se desarrolló una serie de experimentos, los cuales tenían como variables la selección de la formulación de las materias primas y la selección de la temperatura respecto a un rango de temperatura de polimerización. Después de terminado este proceso de experimentación se determinó la mejor fórmula para el desarrollo de la emulsión polivinílica la cual se utilizó para la fabricación de un adhesivo de madera y papel.

A las emulsiones finales se les determinó el porcentaje de sólidos, viscosidad y pH. Posteriormente se formuló el adhesivo y para su selección se tuvo en cuenta la viscosidad, porcentaje de sólidos totales, pH, tiempo de fraguado, pegajosidad, formación y apariencia de película.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Obtener la formulación de una emulsión polivinílica para adhesivos de madera y papel en la empresa Pinturas Tonner.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Seleccionar las materias primas para la elaboración de la emulsión polivinílica.
- Determinar la mejor alternativa de emulsión polivinílica a través de un desarrollo de experimentos.
- Evaluar la emulsión polivinílica producida a nivel laboratorio con la emulsión polivinílica comercial.
- Comparar el adhesivo producido con la emulsión polivinílica desarrollada a nivel laboratorio con la producida actualmente.

1. GENERALIDADES

A continuación, se da a conocer la empresa en la cual se realizó la experimentación de este proyecto, elaborando una corta descripción de sus políticas, objetivos, y productos. Además, se muestra un panorama general del adhesivo dentro de la empresa, explicando brevemente el proceso del adhesivo y las generalidades de este.

1.1 GENERALIDADES DE LA EMPRESA

La empresa Pinturas Tonner cuenta con 29 años de experiencia y se dedica a la fabricación, venta y distribución de pinturas, barnices, semielaborados para pintura y adhesivos para papel y para madera. Es una empresa colombiana, ubicada en el municipio de Soacha en la dirección Calle 53 # 3-41 Entrada 3 Cazuca, como se muestra en la ilustración 1:

Ilustración 1. Ubicación geográfica de la empresa Pinturas Tonner en el municipio de Soacha



Fuente. Google maps. {En línea.} {6 de febrero de 2020} disponible en: <https://goo.gl/maps/bSA8qyiCj4BcHEPJ6>

El objetivo principal de esta empresa es ser un soporte en las metas y proyectos de sus clientes, dando productos regidos por un estricto control de calidad y una estricta logística de distribución.

1.1.1 Misión. La empresa Pinturas Tonner fue fundada con el fin de brindar a sus clientes la mejor opción para la protección y embellecimientos de superficies, con una amplia variedad de productos, ofreciéndoles nuevas alternativas para satisfacer

las necesidades del mercado enfocados en la rentabilidad de sus clientes y la generación de empleo del país.

1.1.2 Visión. La empresa tiene como meta, poder ser reconocidos en el mercado nacional e internacional por la excelente calidad y variedad de sus productos de embellecimiento y protección de superficies, estando a la vanguardia en tecnología, necesidades cambiantes del mercado y desarrollo sostenible.

1.1.3 Productos. Dado a que la empresa Pinturas Tonner elabora, vende y distribuye pinturas, barnices, semielaborados para pintura para otros fabricantes de pintura, y adhesivos para papel y para madera, se puede observar en la tabla 1 los productos y sus respectivas clasificaciones por área:

Tabla 1. Productos elaborados en Pinturas Tonner

Pinturas	Arquitectónica	Vinilos Esmaltes	Anticorrosivos Barnices
	Madera	Poliuretano Nitro celulósico	Catalizador Tintes
	Industrial	Esmalte martillado Tráfico	Epóxidos
	Automotriz	Poliuretano Acrílico Nitro celulósico	Poliéster automotriz
Semielaborados para pinturas	Pastas		
	Resinas	Alquílica corta de palmiste, tofa y soya Alquílica media en soya y tofa. Resina maléica Resina de palmiste Pentaresina	
	Chips		
	Pegantes	Madera e industria de libros	

Fuente: elaboración propia, con base en EMPRESA PINTURAS TONNER

1.1.4 Observaciones Financieras. La empresa Pinturas Tonner está posesionada en el mercado de pinturas de sexto lugar según EMIS (Emerging Markets Research, Data And News)¹³, como se muestra en la ilustración 2.

Ilustración 2. Comparación de empresas de Fabricación de Pinturas y Recubrimientos.

Compañías similares		COP ▼ Millones ▼
Compañía	Total Ingreso Operativo	
Ppg Industries Colombia Ltda	108,819 (2017)	
Quimica Cosmos S A	99,923 (2018)	
Cerescos Sas	65,858 (2018)	
Pinturas Tito Pabon Y Cia S En C	59,064 (2018)	
Hexion Quimica S.A.	57,837 (2018)	
Pinturas Tonner Y Cia Ltda	49,778 (2018)	

Fuente: EMERGING MARKETS RESEARCH, DATA AND NEWS (EMIS) University. 2018 {en línea}. {20 agosto de 2019} disponible en: (<https://ezproxy.uamerica.edu.co:2088/php/companies/index/competitors?pc=CO&cmpy=1209285>)

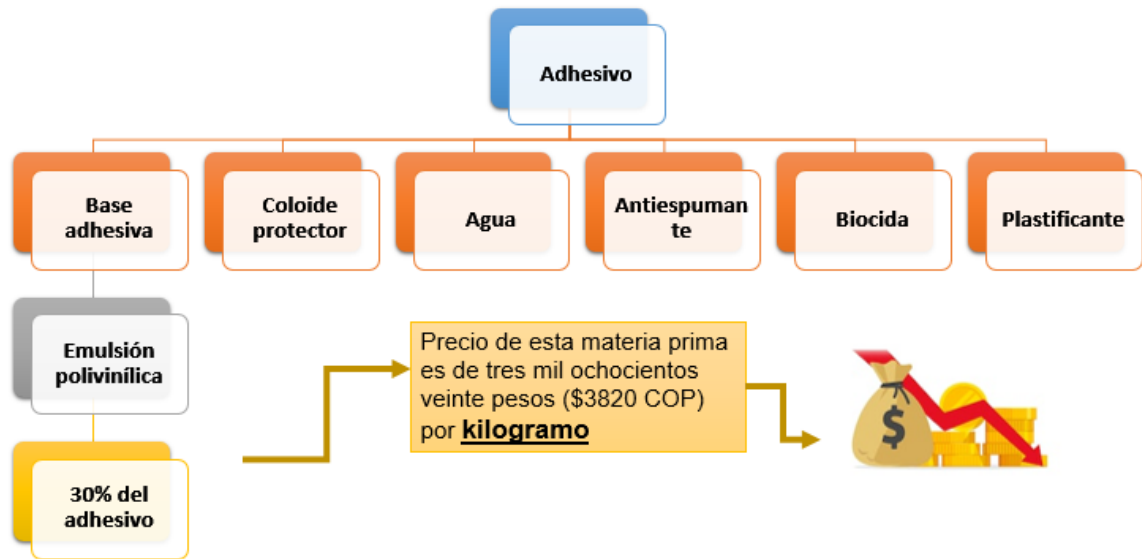
Su utilidad bruta en el 2018 fue de 10894 millones de pesos colombianos. La empresa importó en el 2018 49350 millones de pesos colombianos y exportó en este mismo año 710 millones de pesos colombianos.

1.2 GENERALIDADES DEL ADHESIVO EN PINTURAS TONNER

Uno de los productos principales en la empresa Pinturas Tonner, son los adhesivos para papel y madera, dado a que mensualmente los clientes piden un aproximado de treinta toneladas. Para el desarrollo de los adhesivos, la empresa cuenta con proveedores de base adhesiva (emulsión polivinílica), coloide protector, y aditivos como plastificantes, biocidas y antiespumantes como se muestra en la siguiente ilustración 3.

¹³ EMERGING MARKETS RESEARCH, DATA AND NEWS EMIS University. 2018 {en línea}. {20 agosto de 2019} disponible en: (<https://ezproxy.uamerica.edu.co:2088/php/companies/index/competitors?pc=CO&cmpy=1209285>)

Ilustración 3. Mapa materias primas para la elaboración del adhesivo



Fuente: elaboración propia

Como se da a conocer en la ilustración 3, los adhesivos base acuosa están constituidos en un 30% de base adhesiva, la cual le otorga la propiedad de adhesión y cohesión entre el sustrato y este. El precio de compra de esta materia prima es de tres mil ochocientos veinte pesos (\$3820 COP) por kilogramo, cifra que suministro el gerente de planta de la empresa Pinturas Tonner. Por esta razón el propietario y el gerente de la empresa ven como oportunidad económica su fabricación, el uso y la distribución de dicho componente.

2. MARCO TEÓRICO

Este capítulo tiene como finalidad exponer los conceptos y fundamentos principales para la elaboración de este proyecto, el cual consiste en obtener la formulación de una emulsión polivinílica para adhesivos de madera y papel en la empresa Pinturas Tonner. Dichos conceptos son necesarios como una base para comprender los términos generales y las características de un polímero, el proceso de polimerización, las emulsiones polivinílicas y los adhesivos. Además, da a conocer las funciones de cada una de las materias primas para la elaboración de esta emulsión polivinílica (fase continua, monómero, coloide protector, biocida, regulador de pH, y antiespumante) y su importancia en el proceso.

Para comprender que es una emulsión polivinílica primero hay que entender la definición de polímero y polimerización.

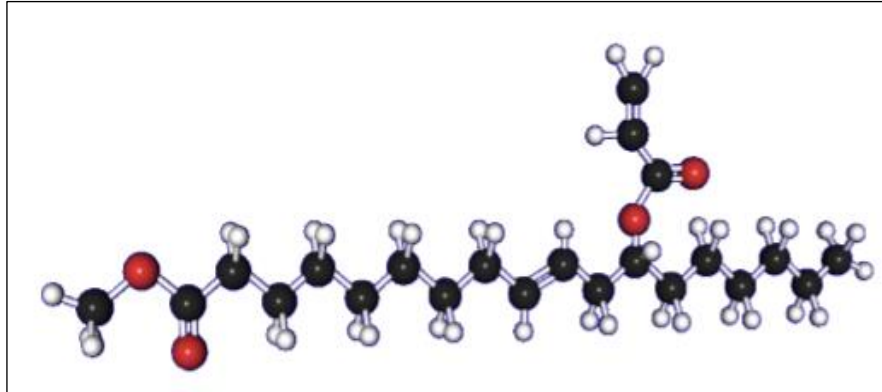
2.1 POLÍMEROS

Fred y Billmeyer, definen a los polímeros como macromoléculas compuestas por monómeros, los cuales se agrupan linealmente por medio de enlaces covalentes; la longitud del polímero se especifica por medio del número de unidades repetidas en la cadena.¹⁴ Dicha cadena puede ser lineal, ramificada o formando retículos tridimensionales.¹⁵ Un claro ejemplo de una estructura de un polímero con ramificación se observa en la ilustración 4:

¹⁴FRED, Wallace; BILLMEYER, J. R. Ibid, p. 20 polímeros. Barcelona: Editorial Reverté SA, 2004, vol. 2, 10-30p.

¹⁵ Ibid., p.25

Ilustración 4. Ejemplo estructural de polímero con ramificación.



Fuente: GALLARDO RODRÍGUEZ, Andrés Eduardo. Desarrollo de una emulsión adhesiva de acetato de polivinilo de baja viscosidad a partir de una base de alcoholes polivinílicos. Valencia, 2018, 107p. Trabajo de grado (magíster en Ingeniería de Procesos). Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería.

Los polímeros pueden ser tanto de origen natural como sintético; un ejemplo del origen del polímero natural son la celulosa, el caucho natural y las proteínas. Y de origen del polímero sintético son poliésteres, poliamidas, poli acrilatos y poliuretanos. Y se clasifican en¹⁶:

- Homopolímero: Es aquel polímero que posee el mismo monómero a lo largo de toda su cadena.
- Copolímero: Es aquel polímero que está formado por al menos 2 monómeros diferentes a lo largo de toda su cadena.

Para desarrollar un polímero de forma sintética se realiza un proceso de polimerización el cual será explicado a continuación.

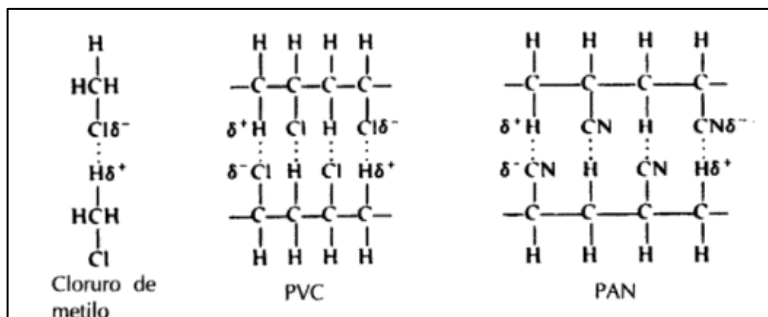
2.1.1 Polimerización. La polimerización es una reacción química, por medio de la cual se forma un polímero a partir de un monómero; la estructura de dicho polímero, depende del grado de polimerización, el cual cambia según la temperatura, el tiempo de reacción, y la reactividad del monómero, ya que las propiedades como la masa molecular, hacen que cada monómero sea distinto, y por tanto el polímero también.¹⁷

¹⁶ FRED, op. Cit. p. 30

¹⁷ ODIAN, George. Principles of polymerization. Nueva York: John Wiley & Sons, 2004. 100p.

Las estructuras de algunos polímeros se pueden observar a continuación en la ilustración 5:

Ilustración 5. Ejemplos estructurales de polímeros



Fuente: SEYMOUR, Raimond B.; CARRAHER, Charles E. Introducción a la química de los polímeros. Florida: Reverté, 1995, 31 p.

Existen diferentes procesos para realizar una polimerización, los cuales serán mencionados a continuación:

2.1.1.1 Procesos de polimerización. Los procesos de polimerización fueron agrupados por Flory y Carothers, los cuales tienen en cuenta el tipo de reacción o mecanismos que forma los polímeros¹⁸. Estos son:

- Polimerización por reacción en etapas (condensación): En este tipo de polimerización, a medida que ocurre la reacción, se pierde una molécula pequeña (por ejemplo, agua o ácido clorhídrico), y, por tanto, el polímero deja de ser un múltiplo exacto de la masa molecular del monómero.¹⁹
- Polimerización por adición: Este proceso ocurre en una reacción en cadena, es decir, el monómero disminuye de modo continuo en el transcurso de la reacción generando un polímero, el cual es, un múltiplo exacto de la masa molecular del monómero²⁰; un ejemplo de este proceso es la formación de polímeros a través de radicales libres, los cuales, por medio de un iniciador, reacciona para abrir el doble enlace de un monómero de vinilo y adicionarse

¹⁸ FRED, op. Cit. p. 30

¹⁹ ROSALES, Abigail de los Ángeles. Obtención de biopolímero plástico a partir del almidón de malanga (Colocasia esculenta), por el método de polimerización por condensación en el laboratorio 110 de la UNAN-Managua, Mayo-abril 2016. Nicaragua, 2016. 79 p. Monografía (Licenciada en Química Industrial). Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua.

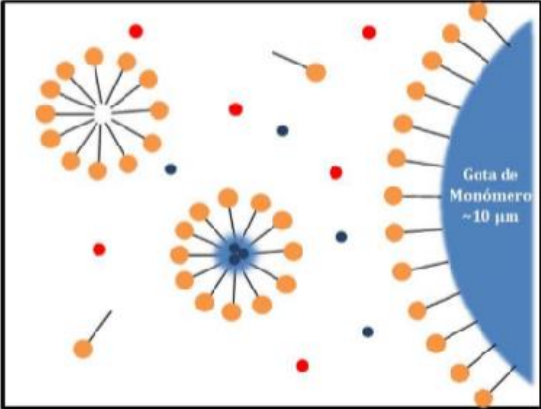
²⁰ FRED, op. Cit. p. 30

a este, generando así más radicales libres y provocando que ocurran más reacciones.²¹

Para la realización de la emulsión polivinílica se tuvo en cuenta el libro de adhesivos industriales de Liesa, Alter y Bilurbina, el cual da a conocer que los adhesivos que tienen como base adhesiva una emulsión polivinílica, esta se realiza por medio de la polimerización por adición²². Este proceso va a tener las siguientes etapas:

2.1.1.2 Etapas de la polimerización por adición. En esta polimerización se puede dar principalmente en tres etapas, en las cuales se inicia con la descomposición del doble enlace, generando así radicales libres, para luego seguir con la polimerización; estas etapas se pueden observar en la siguiente tabla 2:

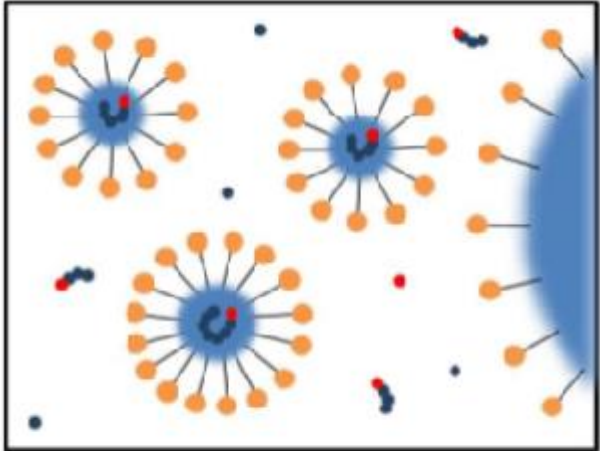
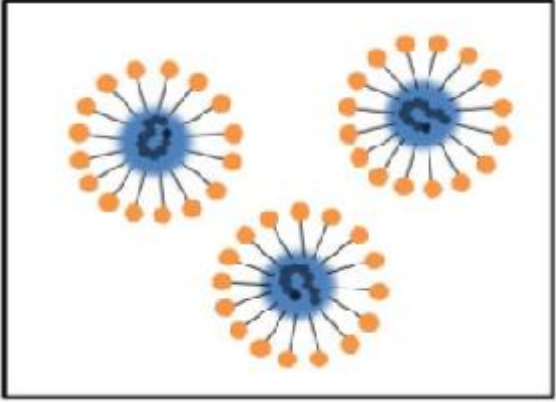
Tabla 2. Etapas de polimerización

Etapas	Imagen	Descripción
Etapa inicial de la polimerización	 <p data-bbox="1063 1039 1153 1102">Gota de Monómero ~10 µm</p> <p data-bbox="738 1297 1015 1396"> ● Molécula de monómero ● Molécula de iniciador —● Molécula de surfactante </p>	Se ingresa el iniciador, generado radicales libres, los cuales se comienzan a unir con otros radicales libres.

²¹ ROSALES op. Cit. p. 25

²² LIESA, Francisco; ALTER, Luis Bilurbina; BILURBINA, Luis. *Adhesivos industriales*. Marcombo, Boixareu, 1990. 124p.

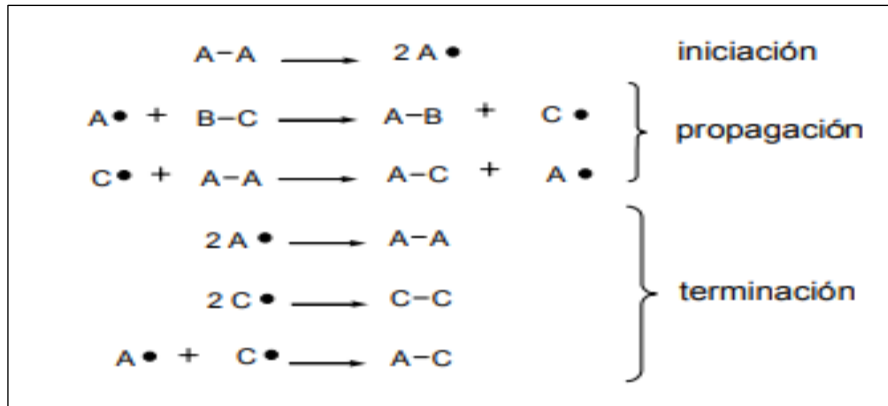
Tabla 2. (Continuación)

Etapas	Imagen	Descripción
<p>Etapa intermedia de la polimerización</p>	 <ul style="list-style-type: none"> ● Molécula de monómero ● Molécula de iniciador — Molécula de surfactante ⌘ Radical ⌘ Cadena de polímero viva 	<p>Aquí es donde ocurre la mayor parte de la polimerización, ya que se comienzan a unir mayor número de radicales libres, aumentando de tamaño el polímero; mientras a su vez absorben el surfactante.</p>
<p>Etapa final de la polimerización.</p>	 <ul style="list-style-type: none"> ● Molécula de monómero ● Molécula de iniciador — Molécula de surfactante ⌘ Radical ⌘ Cadena de polímero viva ⌘ Cadena de polímero muerta 	<p>La velocidad de reacción disminuye mientras se agota el poco monómero que quedo, dando a conocer al polímero.</p>

Fuente: ARBELÁEZ RUIZ, Nathalia Cecilia. Modelamiento, simulación y propuesta de un esquema de control regulatorio de un reactor semibatch para la producción de poli vinil acetato. Bogotá, 2014, 131 p. Tesis Doctoral (magíster en Ingeniería Química) Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingenierías.

La reacción de la polimerización se puede ver en mayor detalle en la siguiente ilustración:

Ilustración 6. Reacción en la polimerización.



Fuente: CORTÉS HERNÁNDEZ, Mayra. Síntesis y caracterización de polímeros vía radicales libres usando xantatos. Pachuca de Soto, 2006, 100 p. Trabajo de grado (licenciado en Química) Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

La velocidad de polimerización (R_p^*) es²³:

Ecuación 1. Velocidad de polimerización.

$$R_p^* = k_p [M]^P [R]^P$$

Fuente: ARBELÁEZ RUIZ, Nathalia Cecilia. Modelamiento, simulación y propuesta de un esquema de control regulatorio de un reactor semibatch para la producción de poli vinil acetato. Bogotá, 2014, 131 p. Tesis Doctoral (magíster en Ingeniería Química) Universidad Nacional de Colombia.

²³ ARBELÁEZ RUIZ, Nathalia Cecilia. Modelamiento, simulación y propuesta de un esquema de control regulatorio de un reactor semibatch para la producción de poli vinil acetato. Bogotá, 2014, 131 p. Tesis Doctoral (magíster en Ingeniería Química) Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingenierías.

Donde k_p es la constante cinética de propagación, $[M]^p$ es la concentración de monómero y $[R]^p$ es la concentración total de radicales en la partícula.

Como en la polimerización la cantidad de partículas que hay en esta son de diferentes tamaños, se ha de suponer un sistema que se encuentra representado por una población de partículas de un tamaño promedio y $[R]^p$ puede expresarse en términos del número de radicales promedio por partícula $[\bar{n}]$.

En la siguiente ecuación, 2, se puede observar la velocidad de polimerización teniendo en cuenta las partículas.

Ecuación 2. Velocidad de polimerización teniendo en cuenta las partículas

$$R_p = \frac{k_p [M]^p \bar{n} N_p}{N_{av} V^{ac}}$$

Fuente: ARBELÁEZ RUIZ, Nathalia Cecilia. Modelamiento, simulación y propuesta de un esquema de control regulatorio de un reactor semibatch para la producción de poli vinil acetato. Bogotá, 2014, 131 p. Tesis Doctoral (magíster en Ingeniería Química) Universidad Nacional de Colombia.

Donde k_p corresponde a la constante cinética de polimerización, \bar{n} es el número de radicales promedio por partícula, N_p equivale al número total de partículas, $[M]^p$ es la concentración de monómero en la fase polimérica, N_{av} es el número de Avogadro y V^{ac} el volumen del monómero en fase acuosa.

Además de los procesos de polimerización, se pueden evaluar los procesos de síntesis de los polímeros, los cuales se muestran a continuación:

2.1.1.3 Síntesis de polímeros. Según López²⁴, el proceso de la síntesis permite que se mejoren las propiedades finales del polímero, y, a su vez, facilita el

²⁴ LÓPEZ, Camilo. Modelo de estabilidad de emulsiones poliméricas. Bogotá, 2011, 180 p. Tesis Doctoral (magíster en Ingeniería Química). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingenierías.

proceso industrial de la polimerización; para obtener una emulsión polivinílica se puede preparar por polimerización en masa, polimerización en solución, polimerización por precipitación, polimerización por dispersión, polimerización por suspensión o gota o por polimerización por emulsión. A continuación, serán explicadas brevemente cada de una de estas polimerizaciones homogéneas y heterogéneas; las siguientes son polimerizaciones homogéneas²⁵:

- Polimerización en masa: Produce polímeros de alta pureza, pero la reacción dentro del reactor a nivel laboratorio no se puede controlar fácilmente las variables de temperatura y viscosidad.
- Polimerización en solución: Se usa un solvente en el cual tanto el monómero como el polímero son solubles. El uso de solventes elimina el inconveniente de manejar una alta viscosidad y permite manejar una mejor disipación de calor.

Las siguientes polimerizaciones son en fase heterogénea:

- Polimerización por precipitación: Aunque el monómero es soluble en el solvente, el polímero no lo es. El polímero es precipitado a medida que se va formando. Tiene el inconveniente que, al irse precipitando las cadenas de polímeros, estas tendrán una menor oportunidad de seguir creciendo, produciendo polímeros de bajos pesos moleculares.
- Polimerización por dispersión: El monómero es soluble en el solvente, el polímero no lo es. En este método se le añade estabilizadores de partícula, evitando que haya precipitación.
- Polimerización por suspensión o gota: El monómero ni el polímero son solubles en el solvente. La polimerización se da directamente en las gotas de monómero, hasta formar las partículas de polímero. El iniciador usado es insoluble en agua y soluble en las gotas de monómero.
- Polimerización por emulsión: El monómero es insoluble en el solvente y es suspendido para formar gotas de emulsión estabilizadas usando surfactantes. Los iniciadores usados son solubles en el solvente, de forma que la polimerización se da en forma de micelas, que son alimentadas por el monómero que viaja por difusión a través del medio.

²⁵ LÓPEZ, op. cit. p. 52

Teniendo en cuenta que el producto de la polimerización en emulsión es la que se denomina látex, y que el látex es el adhesivo para papel y madera, se va a seguir dicha síntesis para la generación de la formulación de la emulsión polivinílica.²⁶

Por tanto, a continuación, se explicará más a fondo las emulsiones y el proceso de polimerización en emulsión.

2.2 EMULSIONES

Según Bailey²⁷, una emulsión es sistema el cual contiene dos fases líquidas inmiscibles; contiene una fase dispersa y una fase continua. La fase dispersa se encuentra en forma de gotas pequeñas y la fase continua es la que contiene la fase dispersa. Las gotas de la fase dispersa tiene un diámetro entre un rango de 0.1 a 20 μ m.²⁸

Dado a que las emulsiones están conformadas por dos fases inmiscibles, las cuales son termodinámicamente inestables, estas pueden llegar a ser cinéticamente estables por la presencia de agentes tenso activos, los cuales permiten una capacidad por parte de la fase continua de absorber las gotas de la parte dispersa.²⁹

Es necesario tener en cuenta que para la formación de emulsiones no solo son necesarios los agentes tenso activos, sino también una gran energía mecánica (agitación).

2.2.1 Polimerización en emulsión. Teniendo en cuenta que se realiza una polimerización en emulsión, se procede a profundizar en esta. La polimerización en una emulsión, es una reacción en la cual participan los radicales libres de un monómero hidrofóbico, por medio de su propagación y unión, generando liberación de energía, exotermia, y polímeros. Dicha polimerización requiere principalmente de un monómero, un medio dispersante, un emulsionante y un iniciador (como el per sulfato de sodio o potasio); pero debido a que los monómeros tienen una solubilidad finita en el agua, es necesario la presencia de aditivos, como lo son coloides protectores, buffers, etcétera.³⁰

²⁶ ARBELÁEZ, op. cit. 29p.

²⁷ BAILEY, Alton Edward. Aceites y grasas industriales. Tennessee: Reverté, 2001. p. 266

²⁸Ibid, p. 33.

²⁹ ARANBERRI, I. Elaboración y caracterización de emulsiones estabilizadas por polímeros y agentes tensioactivos. En: Revista iberoamericana de polímeros. Vol. 7, No 3 (ago. 2006), p. 211-231.

³⁰ ARBELÁEZ, op. cit, p. 30

Las partículas del polímero obtenido suelen tener un diámetro de entre 50 a 1000nm; y un contenido de sólidos de 40-60%, dependiendo el proceso por el cual se realizó la polimerización y los resultados que se deseen.

Los procesos de la polimerización en emulsión son:

2.2.2 Procesos de polimerización en emulsión. Para la obtención de emulsiones se realizan principalmente 3 tipos de procesos³¹:

- Batch o por lotes.
- Continuo.
- Semicontinua o semibatch.

Para cada uno de los procesos, se ha de tener en cuenta que la temperatura se ha de mantener controlada, por medio de una chaqueta de calentamiento o enfriamiento; la temperatura de la chaqueta se cambia según las necesidades de la reacción.

2.2.2.1 Batch. Este proceso consiste en adicionar todos los ingredientes al reactor desde el inicio del proceso, pero adicionando continuamente el iniciador es alimentado. Las restricciones de este proceso surgen con el poco control que se puede ejercer sobre la reacción.

2.2.2.2 Continuo. Este proceso consiste en alimentar continuamente y lentamente el monómero, causando que el polímero se genere de manera constante. Para este proceso se pueden usar dos tipos de reactores CSTR y tubular (PFR).

2.2.2.3 Semicontinua o semibatch. Este proceso da a conocer mayor variabilidad que los anteriores, ya que se controla la dosificación de algunos de los ingredientes necesarios en la emulsión, como lo son los monómeros o los iniciadores; gracias a dicha variabilidad, se puede obtener un mayor control en la generación de calor, y la reacción, y por tanto es el proceso más usado industrialmente³². Existen tres etapas en el proceso:

³¹ ARBELÁEZ, op. cit, p. 40

³² SAJJADI, Shahrar. Particle formation under monomer-starved conditions in the semibatch emulsion polymerization of styrene. Part II. Mathematical modelling. En: Polymer. Vol. 44. No 1 (Jun. 2003); p. 223-237.

a) Formación de semilla (nucleación): Etapa inicial, hay una cantidad mínima de monómero.

b) Periodo de alimentación: Cuando se ingresa al reactor lentamente mayor cantidad de monómero y otros ingredientes como lo son los iniciadores; además existe agitación constante y mayor control de temperatura.

c) Terminación en operación batch: Cuando se incrementa la temperatura al sistema para que se consuma todo el monómero.

Para este proceso en el cual el flujo de la alimentación del monómero es bajo, y permite que la reacción ocurra antes de que suceda una acumulación del monómero en el reactor, se le da el nombre de “starved feed reactor” (SFR); durante este proceso es importante tener en cuenta el flujo de la alimentación del monómero, ya que cuando este se agrega a una velocidad mayor que el de la reacción, se comienza a generar una acumulación de monómero provocando a su vez un aumento en el tamaño del polímero.

Para el ingreso lento del monómero al reactor existen dos métodos:

- Se adiciona al reactor lentamente el monómero en su estado puro.
- Se comienza con una pre-emulsión al inicio, y en el proceso de reacción se adiciona más lentamente el monómero.

2.2.3 Materias primas para la polimerización en emulsión. Para realizar una emulsión polivinílica las principales materias primas son monómero, iniciador y fase continua, pero, además es necesario incluir ciertos componentes que agregan características especiales a la emulsión como son coloide protector, regulador de pH, biocida y antiespumante.³³

2.2.3.1 Fase Continua. Para la obtención de la emulsión polimérica es necesario tener una fase polar y apolar, ya que la emulsión está compuesta por dos sustancias inmiscibles, en la cual una fase está dispersa en la otra.³⁴

Su función dentro de la emulsión polimérica es la de funcionar como el medio dispersante, además de ser el solvente para el coloide protector y los iniciadores.³⁵

³³ MERCADO ORTEGA, Mirna Luz. Obtención y caracterización de una emulsión acrílica para su uso en la fabricación de recubrimientos para madera. Bogotá, 2015, 77p. Tesis Doctoral (magíster en Ingeniería Química). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería.

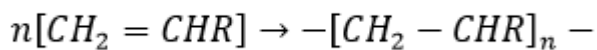
³⁴ MERCADO, op. cit, p. 10

³⁵ ARBELÁEZ, op. cit, p.30.

2.2.3.2 Monómero. El monómero es una molécula con doble enlace, que permite que la reacción de polimerización suceda, esta es parcialmente soluble o insoluble en agua, esto dependerá de la selección de la fase continua dentro de la polimerización³⁶. La polimerización se da por el rompimiento de este doble enlace contenido, este rompimiento de enlace lo genera iniciadores.

En la polimerización, esta molécula reacciona con el iniciador, que es un radical libre que contiene un solo electrón no apareado; dicho electrón provoca un rompimiento en el doble enlace del monómero, generando así un nuevo radical libre, que, a su vez, reacciona con otro monómero libre. Este proceso genera una propagación en la cadena polimérica y se muestra en la siguiente ilustración 7:

Ilustración 7. Propagación del polímero



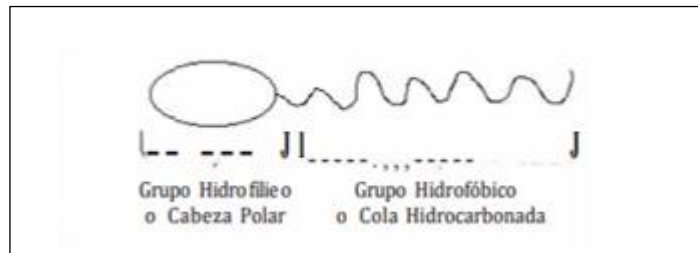
Fuente: ERBIL, Yildirim H. Vinyl acetate emulsion polymerization and copolymerization with acrylic monomers. Boca Raton; CRC press, 2000. 336p.

Donde n son las veces que se repite esta molécula dentro de la polimerización y R es el grupo funcional

2.2.3.3 Coloide protector. Es una macromolécula surfactante, que sirve como un tenso activo en la emulsión por sus características químicas de contener un lado hidrófobo (la cola) polar, es decir, que no tiene atracción con el agua; y otro lado hidrófilo (la cabeza) apolar, que tiene fuerte atracción con el agua como se muestra a continuación:

³⁶ MERCADO, op. cit, p. 10

Ilustración 8. Representación de una estructura de una molécula surfactante



Fuente: RESENDIZ, Juan Roberto Herrera. Polimerización del acetato de vinilo en microemulsiones aniónicas pseudoternarias estabilizadas con un alcohol de bajo peso molecular como cosurfactante. Saltillo, Coahuila, 2002, 137 p. Trabajo de grado (doctorado en polímeros). Centro de Investigación en Química Aplicada.

Debido a sus características anfipáticas, el coloide protector le otorga a la emulsión estabilidad, tensión superficial y resistencia a la deformación³⁷, por las fuerzas de repulsión de las cadenas de polímeros, las cuales evitan coalescencia y aglomeración³⁸. La función principal del coloide protector en la polimerización es la de dar paso a la reacción, ya que por medio de esta, se disminuye la tensión superficial de la emulsión causada por el agua y el monómero libre; además, el coloide protector otorga a la emulsión propiedades como el de la obtención de una película con capacidad adhesiva, es decir, que la película puede soportar tensiones fuertes.³⁹

Los coloides protectores se clasifican en⁴⁰:

- Coloides Liófbos: Cuando las micelas se cargan eléctricamente; dichas micelas son las que se forman a partir de la concentración del tenso activo.
- Coloides Liófilo: Cuando permanecen sin adquirir ninguna carga

³⁷ PEREIRA, Juan. Estado del arte sobre efecto de los alcoholes en las propiedades interfaciales de los surfactantes. En: *Revista INGENIERÍA UC*, Vol. 19. No 2 (may - ago 2012), p. 76-85.

³⁸ REYES PALMA, Agustin. Formulaciones y condiciones de operación para la preparación de látices vinil-acrílicos. Saltillo, Coahuila: 2007, 70 p. Tesis Doctoral (ingeniería de procesos de polimerización). Centro De Investigación En Química Aplicada.

³⁹ PAULÍN, Fausto Miranda. Diseño de un reactor para polimerizar en emulsión acetato de vinilo. México, 1960, 79 p. Tesis Doctoral (Ingeniero Químico Industrial). Instituto Politécnico Nacional.

⁴⁰Ibíd., p. 14.

En la siguiente tabla 3, se dan a conocer las principales características de estos dos coloides:

Tabla 3. Principales características de los coloides

Coloides Liófilos	Coloides liófilos
Son de baja viscosidad	Son de alta viscosidad
No son estables, y fácilmente precipitan por la acción de electrolitos, en forma irreversible	Son muy estables, no se precipitan por la acción de electrolitos. Son reversibles y protegen a los coloides liófilos de la acción de los electrolitos
No se gelatinizan	Se gelatinizan
Las micelas muestran atracción por campos eléctricos de signo contrario a su carga	Las micelas no se presentan electroforesis.
No cambian la tensión superficial del vehículo que los soporta.	Bajan la tensión superficial del vehículo, por lo cual forman espuma.

Fuente: PAULÍN, Fausto Miranda. Diseño de un reactor para polimerizar en emulsión acetato de vinilo. México, 1960, 79 p. Tesis Doctoral (Ingeniero Químico Industrial). Instituto Politécnico Nacional.

2.2.3.4 Regulador de pH. Son aquellas sustancias que controlan o alteran la acidez o la alcalinidad de una sustancia.

Son necesarios en la emulsión polivinílica, dado a que es importante que mantener un rango de pH entre 4.5 y 5⁴¹, ya que, de no cumplir este rango, se forman alteraciones en la estabilidad de la emulsión y en la conversión optima final del polímero, generando un cambio en las interacciones de la reacción, afectando así mismo el polímero⁴². También puede afectar la descomposición de los iniciadores ya que en condiciones acidas los iniciadores que contienen persulfato aceleran la descomposición generando que se reduzca el número de radicales libres en el sistema de polimerización y así mismo reduciendo la conversión final⁴³.

⁴¹ GALLARDO RODRÍGUEZ, Andrés Eduardo. Desarrollo de una emulsión adhesiva de acetato de polivinilo de baja viscosidad a partir de una base de alcoholes polivinílicos. Valencia, 2018, 107p. Trabajo de grado (magíster en Ingeniería de Procesos). Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. p. 45

⁴² KOSEGARTEN-CONDE, C. E.; JIMÉNEZ-MUNGUÍA, M. T. Factores principales que intervienen en la estabilidad de una emulsión doble. Revista: *Temas selectos de Ingeniería de alimentos*, vol. 6, No. 2 (2012), p. 1-18.

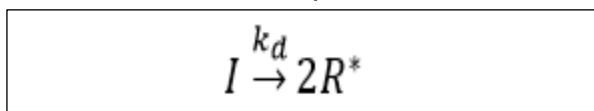
⁴³ ERBIL, Yildirim H. Vinyl acetate emulsion polymerization and copolymerization with acrylic monomers. Boca Raton; CRC press, 2000. 336p.

En relación con el pH, también se debe mantener controlada la hidrólisis del monómero, ya que, por el exceso de acidez que se puede producir en la reacción, junto con la hidrólisis del monómero se genera ácido acético y acetaldehído. Por tanto, para mantener la hidrólisis del monómero al mínimo es mejor mantener los rangos anteriormente mencionados⁴⁴

2.2.3.5 Iniciador. Para iniciar una polimerización en cadena se necesitan agentes químicos o por calor; en este trabajo se van a usar agentes químicos llamados iniciadores.

La función de los iniciadores en la emulsión es causar la formación de los radicales, lo que a su vez conduce a la propagación de las moléculas de polímero. Los centros activos están ubicados en la fase acuosa y están aislados unos de otros. El mecanismo general de polimerización usando iniciador se muestra a continuación en la ecuación 9:

Ecuación 9. Etapa de iniciación



Fuente: JANICES, Amaia Butrón; KATIME, Issa. Cinética de polimerización de sistemas componentes. En: Revista Iberoamericana de Polímeros, Vol. 15, No 6 (nov, 2014), p. 346-375.

Siendo

$R^* = \text{Radical libre}$ ⁴⁵

$k_d = \text{constante de descomposición del iniciador}$

La velocidad de descomposición de los iniciadores normalmente sigue una cinética de primer orden y depende del disolvente y de la temperatura de polimerización.⁴⁶

⁴⁴ REYES, op. cit. 30p.

⁴⁵ JANICES, Amaia Butrón; KATIME, Issa. Cinética de polimerización de sistemas componentes. En: Revista Iberoamericana de Polímeros, Vol. 15, No 6 (nov, 2014), p. 346-375.

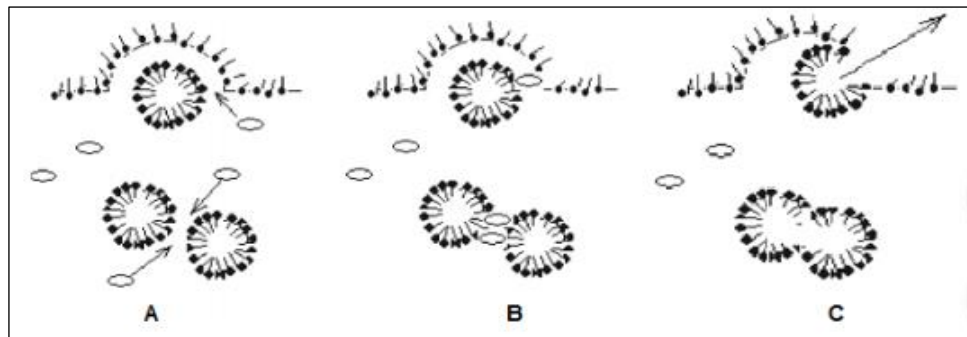
⁴⁶ THICKETT, Stuart, & GILBERT, Robert (2007). Emulsion polymerization: State of the art in kinetics and mechanisms. En: Polymer, vol, 48 No. 24, (Noviembre, 2007) p. 6965-6991.

2.2.3.6 Biocida. Los biocidas son aditivos de uso esencial para el almacenamiento de las emulsiones polivinílicas debido a que están constituidas por materias primas, las cuales, cuando entran en contacto con materia orgánica provocan la proliferación de microorganismos. El biocida tiene como función principal inhibir, contrarrestar y destruir el crecimiento de microorganismos. El biocida funciona atacando la membrana celular del microorganismo, penetrándola y destruyéndola⁴⁷.

2.2.3.7 Antiespumante. Los antiespumantes son agentes tenso activos que actúan por medio de tensiones superficiales intermedias logran desestabilizar la espuma y liberar el aire retenido en la emulsión; dicho aire entra al producto que se está realizando por la agitación⁴⁸.

La desestabilización nombrada anteriormente la logran por medio de micelas que se forman alrededor de las burbujas de aire, como se muestra en la siguiente ilustración:

Ilustración 9. Acción del antiespumante, donde A es la etapa de iniciación del antiespumante en las burbujas, B es la ruptura de la burbuja por medio del antiespumante y C es la liberación de la burbuja.



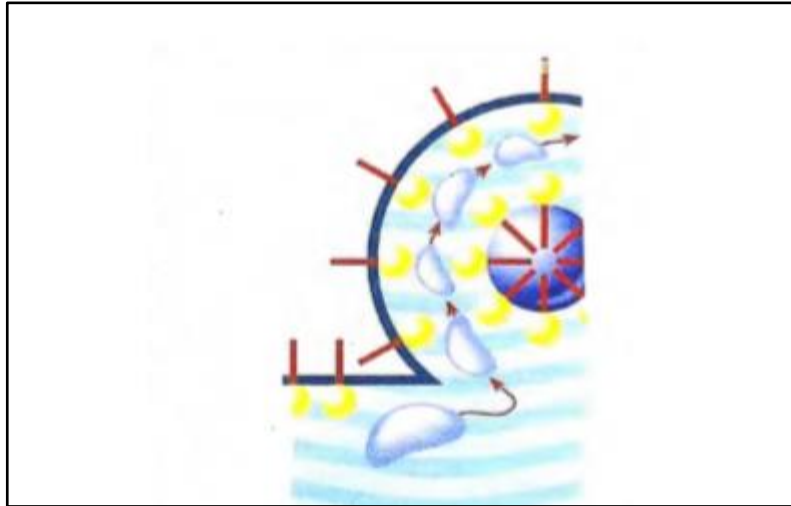
Fuente: CRUZ ALCALDE, Alberto. Optimización de pinturas decorativas base agua mediante aditivos dispersantes y espesantes. España, 2014, 125 p. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona.

⁴⁷ HERNÁNDEZ DEL MORAL, Andrea. Germinación y crecimiento vegetativo al aplicar extracto de hoja de gobernadora (*Larrea tridentata*)/Hernández del Moral, Andrea. México, 2012, 48p. Trabajo de grado (Ingeniero Agrónomo Especialista en Zootecnia). Universidad Austral de Chile. Facultad de ciencias de Ingeniería.

⁴⁸ CRUZ ALCALDE, Alberto. Optimización de pinturas decorativas base agua mediante aditivos dispersantes y espesantes. España, 2014, 125 p. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona.

Como se observa en la siguiente ilustración 10, de forma de que así entran las micelas del antiespumante a la burbuja:

Ilustración 10. Como entra la burbuja al antiespumante



Fuente: VILLANUEVA, Yahuana; FFER, Yenny. Elaboración de pinturas látex vinil-acríticas. Lima, 2006, 83 p. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Química y Textil.

2.2.4 Aplicaciones industriales de las emulsiones de acetato de polivinilo. Las emulsiones de acetato de polivinilo forman una película al secarse; dicha película es resistente a la acción de los ácidos y bases diluidos, estas propiedades tienen una gran ventaja en la industria textil.⁴⁹

Además, son muy estables al almacenamiento, y por tanto pueden durar años y contener las mismas propiedades. También contiene la característica de resistir la agitación constante a velocidades muy rápidas⁵⁰.

Dichas características hacen que las emulsiones de acetato de polivinilo tengan las siguientes aplicaciones industriales:

- Aplicación en la industria textil: Se emplean para la aplicación de acabados versátiles y económicos de las telas. Esto genera que las telas se vuelvan más resistentes al lavado continuo ya que presentan mayor adherencia sobre

⁴⁹ FRED, op. Cit. p. 30.

⁵⁰ FRED, op. Cit. p. 35.

cualquier tipo de fibra. Como mencionamos anteriormente las emulsiones no absorben el cloro que contiene el agua, por esto la emulsión hace que se alargue la vida útil de la tela.

- Pinturas
- Adhesivos

2.3 ADHESIVOS

Un adhesivo es un material que se aplica a diferentes superficies con el fin de unirlos permanentemente a través de la formación de enlaces⁵¹, teniendo en cuenta que cuando se realiza la aplicación de estos deben estar en forma líquida y después de un tiempo pasan a forma sólida cuando realizan un proceso de secado; dicho secado ocurre por la condensación, polimerización, oxidación, vulcanización, congelación, hidratación, o evaporación del solvente volátil.

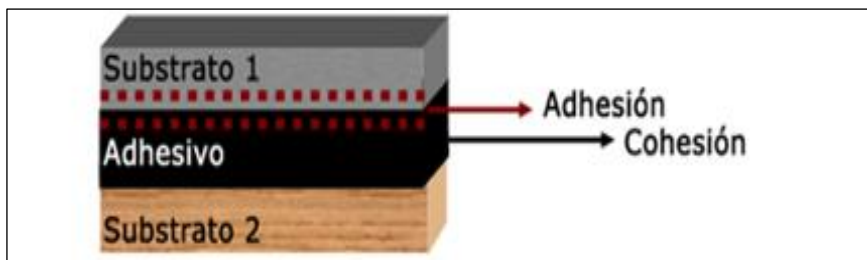
Las materias primas de un adhesivo son:

- Una base de resina sintética, como un polímero.
- Polímero secundario, ya que con este se mejora las características del adhesivo
- Aditivos como plastificantes, antiespumantes, antioxidantes y biocidas.
- Vehículo, el cual sirve para mezclar, como agua.

Para entender más el concepto de los adhesivos, es necesario tener en cuenta a su vez los conceptos de cohesión y adhesión, ya que gracias a estos se puede dar a conocer los enlaces químicos (las cuales ocurren a través de los enlaces químicos covalentes, como lo son las cadenas poliméricas) y las fuerzas intermoleculares (las cuales dan elasticidad y deformabilidad al adhesivo). La cohesión es aquella fuerza que ejerce el propio adhesivo, y la adhesión es la fuerza que ejerce el adhesivo al objeto que mantiene unido y ejerce fuerza entre el adhesivo y el sustrato (u objeto), un ejemplo de esta función se muestra en la siguiente ilustración 11.

⁵¹ EBNESAJJAD, Sina; LANDROCK, Arthur H. Adhesives technology handbook. Third Edition. William Andrew, 2014. 2 p.

Ilustración 11. Función de un adhesivo, adhesión y cohesión.



Fuente: GALLARDO RODRÍGUEZ, Andrés Eduardo. Desarrollo de una emulsión adhesiva de acetato de polivinilo de baja viscosidad a partir de una base de alcoholes polivinílicos. Valencia, 2018, 107p. Trabajo de grado (magíster en Ingeniería de Procesos). Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería.

2.3.1 Clasificación según el origen. Los adhesivos se pueden clasificar según su naturaleza, de la siguiente manera⁵².

- Colas animales: Se realizan por medio del colágeno producido por los animales, como el de los huesos.
- Vegetales: Se realizan por medio de materias primas naturales como los almidones; son solubles en agua.
- Sintéticos: Contiene polímeros y son fabricados industrialmente.

2.3.2 Tipos de adhesivos según su funcionamiento. Según Ramachandran⁵³ existen dos tipos principales de adhesivos, los cuales son estructurales y no estructurales: A continuación serán explicadas brevemente cada de uno de estos tipos de adhesivos⁵⁴:

- Estructurales: Son aquellos adhesivos que permite una cohesión estructural entre el adhesivo y el sustrato, por esta razón este adhesivo

⁵² ALVARADO AYALA, Álvaro Miguel; AGUAS ACERO, Alejandra. Desarrollo de una propuesta para la producción y evaluación de un adhesivo a partir de almidón de papa a nivel de laboratorio. Bogotá, 2018, 144 p. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Fundación Universidad de América. Facultad de Ingenierías.

⁵³ RAMACHANDRAN, Vangipuram Seshachar. Handbook of thermal analysis of construction materials. William Andrew, 2002. 680 p.

⁵⁴ *Ibíd.*, p. 65

tiene un alto rendimiento y alta resistencia tanto de fuerza como de temperatura. Las materias primas para realizar este adhesivo están basadas en fenólico, epoxi o polímeros acrílicos antes que en el curado de un adhesivo altamente reticulado.

- No estructurales: También llamados “adhesivos de sujeción”, realizan la función de ser adhesivos que soportan la unión de materiales ligeros

Además de los adhesivos anteriormente mencionados, también se pueden dar a conocer:⁵⁵

- Adhesivos termoplásticos: Los cuales son aquellos que cuando están a temperaturas elevadas se encuentran en forma líquida y a medida que ocurre una evaporación del disolvente o agua que este contiene se endurecen. Es caracterizado por el uso en materiales no metálicos ya que su resistencia es pobre, y no se usan para aplicaciones mayores a 66°C. Entre estos se encuentran el acetato de celulosa, la celulosa acetato butirato, el nitrato de celulosa, acetato de polivinilo, vinilo vinilideno, polivinilo acetales, alcohol de polivinilo poliamida, acrílico y fenoxi
- Adhesivos termoendurecibles: Su función se basa en la reacción química que ocurre cuando su temperatura es elevada, ya que se endurecen cuando se calientan debido a la curación, y se necesita una mezcla antes de su aplicación, dado a que la vida útil de este adhesivo no es grande; entre los cuales pueden mencionarse los cianoacrilatos, poliésteres, urea-formaldehído, resinas epoxi, poliimidadas y diésteres del ácido de acrílico
- Adhesivos elastoméricos: se consideran adhesivos no estructurales ya que se usa para la unión de materiales ligeros, por su baja adherencia y gran flexibilidad. Están conformados por polímeros naturales o sintéticos. La mayoría son disolventes dispersiones o emulsiones de agua. La temperatura de servicio es hasta 204° C (400° F). Derrita, tiene flexibilidad excelente, pero baja adherencia. La principal aplicación de adhesivos elastoméricos es en juntar los materiales ligeros (por ejemplo, las articulaciones en flexión). Por lo tanto, no se consideran adhesivos estructurales.⁵⁶
- Adhesivos de aleación: Estos se obtienen por medio de la combinación de resinas termoplásticos, termoestables y elastómeros grupos. Este tipo de

⁵⁵ LIESA, op cit. p. 35

⁵⁶ EBNESAJJAD, op. cit, p. 3

adhesivo incluye epoxi (fenólicas, poli sulfuro, nylon), nitrilo fenólico, neopreno-fenólico, vinilo-fenólico, y acetal polivinilo-fenólico.

2.3.3 Aplicaciones industriales. Dentro de las aplicaciones industriales de los adhesivos se encuentran los sectores de envase y embalaje, textil, muebles, vehículos, electrodomésticos, cintas adhesivas, encuadernación, desechables, calzados, ensamblaje de productos, alfombras y demás.⁵⁷

El origen de los adhesivos no determina el uso que se le dé; pero industrialmente se usan más el adhesivo de origen sintético, dado a que se usan para pegar materiales poco porosos.

⁵⁷ GORDILLO VINUEZA, Gilda Graciela. Caracterización y comparación de adhesivos a base del vinil acetato PVA-3025 y EA-8319 de la planta Akzonobel Ecuador. Quito, 2015, 343p. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Universidad Central de Ecuador. Facultad de Ingeniería Química.

3. SELECCIÓN DE MATERIAS PRIMAS

En este capítulo se procede a seleccionar las materias primas necesarias para realizar la emulsión polivinílica, las cuales fueron mencionadas anteriormente; además, también se analizaron teórica y experimentalmente algunas características de las materias primas necesarias para el desarrollo de los experimentos, el cual, tiene como objetivo la elaboración de una polimerización que dé como resultado una emulsión polivinílica que cumpla con las características necesarias para la elaboración del adhesivo.

En general, para la obtención de una emulsión poli vinílica las materias primas son⁵⁸:

- Fase continua
- Monómero libre
- Coloide protector (Surfactante)
- Regulador de pH
- Iniciador
- Biocida
- Antiespumante

Para realizar la polimerización en emulsión hay que seleccionar el tipo de fase continua, la cual tendrá como función ser la fase dispersante en la cual el monómero se dispersa dentro de la reacción.

3.1 FASE CONTINUA

Según Generalova y Zubov, la fase continua de la emulsión debe ser químicamente inerte, libre de solventes orgánicos y debe poseer baja capacidad calorífica, ya que esta propiedad permite que esta fase continua pueda absorber una gran cantidad de energía sin variar su temperatura, disipando el calor generado por la reacción exotérmica de la polimerización.⁵⁹

Según Arbeláez⁶⁰, el agua es usada como fase continua ya que actúa como medio dispersante entre el monómero y la reacción. Para la polimerización en emulsión es importante que la fase continua sea el solvente del iniciador, coloide protector y

⁵⁸ MERCADO, op. cit. p. 18.

⁵⁹ GENERALOVA, Alla. ZUBOV, Vitalii. Design of polymer particle dispersions (latexes) in the course of radical heterophase polymerization for biomedical applications. En: Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, vol. 166, (jun. 2018) p. 303-322.

⁶⁰ ARBELÁEZ, op. cit. 29

algunas especies de carácter iónico, como las sales y buffers; por tal razón también esto fue un parámetro de selección ya que el agua es el solvente de las materias primas mencionadas anteriormente.

Para el desarrollo de esta polimerización el agua tiene que ser potable (bajo contenido de: coliformes, sólidos en suspensión, detergentes, y plaguicidas), ya que la presencia de contaminantes puede generar problemas de estabilidad de la emulsión⁶¹ por medio de la generación de subproductos. Por facilidad de obtención, y teniendo en cuenta que el agua suministrada por el acueducto cumple con los requerimientos mencionados anteriormente, teniendo un índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano (IRCA) menor al 1%, como se muestra en la tabla 4, por lo tanto, se usó para este proyecto de grado el agua disponible en la empresa ya que es la misma que suministra el acueducto

Tabla 4. IRCA mensual del acueducto y alcantarilla de Bogotá de enero hasta junio del año 2019, donde X es el resultado de la suma de los índices de: riesgo de calidad de agua, riesgo por abastecimiento y buenas practicas sanitarias de la persona prestadora, IRCA es el índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano y SIVICAP es el sistema de vigilancia de calidad del agua potable

Mes	# Muestras de Vigilancia -1	IRCA % SIVICAP -2	Nivel de Riesgo (SIVICAP)	Resultado (1) X (2) -3
Enero	206	0,18	SIN RIESGO	37,08
Febrero	196	0,1	SIN RIESGO	19,6
Marzo	199	0,47	SIN RIESGO	93,53
Abril	193	0,49	SIN RIESGO	94,57
Mayo	207	0,81	SIN RIESGO	167,67
Junio	180	0,52	SIN RIESGO	93,6
Σ Valores	1181	IRCA_{app} = Σ(3)/Σ(1)		506,05
		IRCA_{app} = 0,4285		

Fuente: Secretaria Distrital de Salud – Sistema de Vigilancia de la Calidad del agua Potable SIVICAP.

Fuente. EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ EAAB: ES.P. Certificación Sanitaria de la calidad del agua para consumo humano de la EAAB - E.S.P. - Enero - Junio 2019 {en línea}{6 de febrero de 2020} disponible en: https://www.acueducto.com.co/wps/html/resources/2019L/calidad_del_agua/19_09_19/CERTIFICACION_SANITARIA_CALIDAD_DEL_AGUA_EAAB-ESP_BOGOTA_Ene-Jun_2019.pdf

Cabe resaltar que la clasificación del índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano se caracteriza por las propiedades de esta, en donde se contemplan las características físicas, químicas y microbiológicas para decidir si el agua es apta para consumo humano; según el ministerio de la protección social

⁶¹ MERCADO, op. cit. p.25

ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial el agua se clasifica según el valor del IRCA, como lo muestra la tabla 5:

Tabla 5. Clasificación del nivel de riesgo de salud según el IRCA

Clasificación IRCA (%)	Nivel de Riesgo	IRCA por muestra (Notificaciones que adelantará la autoridad sanitaria de manera inmediata)	IRCA mensual (Acciones)
80.1 -100	INVIABLE SANITARIA MENTE	Informar a la persona prestadora, al COVE, Alcalde, Gobernador, SSPD, MPS, INS, MAVDT, Contraloría General y Procuraduría General.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo a su competencia de la persona prestadora, alcaldes, gobernadores y entidades del orden nacional.
35.1 - 80	ALTO	Informar a la persona prestadora, COVE, Alcalde, Gobernador y a la SSPD.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo a su competencia de la persona prestadora y de los alcaldes y gobernadores respectivos.
14.1 – 35	MEDIO	Informar a la persona prestadora, COVE, Alcalde y Gobernador.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de la persona prestadora.
5.1 - 14	BAJO	Informar a la persona prestadora y al COVE.	Agua no apta para consumo humano, susceptible de mejoramiento.
0 - 5	SIN RIESGO	Continuar el control y la vigilancia.	Agua apta para consumo humano. Continuar la vigilancia.

Fuente. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución Número 2115. {en línea}{6 de febrero de 2020} disponible en: https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Res_2115_de_2007.pdf

3.2 MONÓMERO

Para la selección del monómero en la emulsión, se tiene en cuenta la solubilidad y la temperatura de transición vítrea⁶², ya que, estas dos propiedades de los monómeros son los que van a facilitar el proceso de la polimerización y, a su vez, van a definir las características finales de la emulsión.

Los monómeros se dividen en tres tipos, según su solubilidad, como se muestra a continuación en la tabla 6:

⁶² SANTIANA AVILA, Jessica Mishelle. Desarrollo de una emulsión polimérica vinil-acrílica con características hidrofóbicas. Quito, 2017, 142p. Trabajo de grado (Ingeniera Química). Escuela Politécnica Nacional.

Tabla 6. Tipos de monómero según su solubilidad.

Grupo de monómero	Solubilidad
1	Solubilidad alta en agua; en presencia de un iniciador soluble en agua se realiza una polimerización en solución acuosa dentro de micelas del emulsificante.
2	Tienen una solubilidad entre el 1% y el 3%. La polimerización se realiza por medio de la adición de partículas de monómero
3	Parcialmente insolubles en el agua. La polimerización se realiza dentro de las micelas del emulsificante sin importar la naturaleza del iniciador.

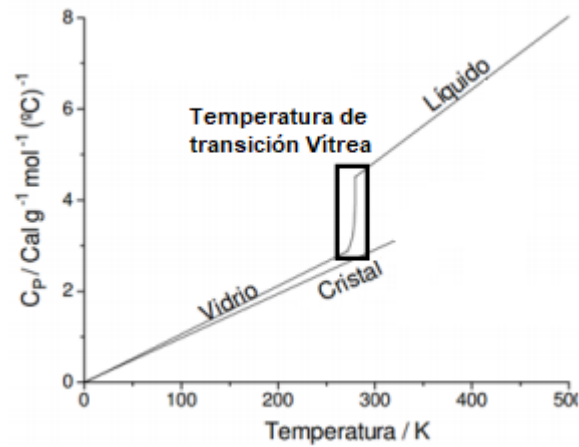
Fuente. SANTIANA AVILA, Jessica Mishelle. Desarrollo de una emulsión polimérica vinil-acrítica con características hidrofóbicas. Quito, 2017, 142p. Trabajo de grado (Ingeniera Química). Escuela Politécnica Nacional. p. 3

La temperatura de transición vítrea determina la temperatura mínima de formación de película y las características finales del recubrimiento en cuanto a dureza y resistencia al rayado⁶³, además, es la temperatura en la cual el material polimérico pierde sus características, como lo es la flexibilidad en los enlaces C-C, tornándose en un material rígido y quebradizo, como se muestra en la ilustración 12; se divide en monómeros duros, como podrían ser, por ejemplo, el estireno, metilmetacrilato, vinil acetato; o monómeros blandos, como podrían ser, por ejemplo, el butil acrilato, 2-etilhexilo.⁶⁴

⁶³ CALLISTER W.D (ED)(1996) Características, aplicaciones y conformación de los polímeros. Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales (pp. 499-500) Barcelona, España: reverté

⁶⁴ SANTIANA, op. cit. p.53

Ilustración 12. Comportamiento de un monómero en la Temperatura de transición vítrea



Fuente. Modificado de MOSQUERA, Luis Fernando Gutiérrez, et al. Transición vítrea en alimentos: sistemas binarios agua-carbohidratos. 2014 {en línea}. {11 de febrero de 2020} Disponible en (http://vector.ucaldas.edu.co/downloads/Vector9_4.pdf)

En la industria de pinturas la selección del monómero según esta propiedad es de vital importancia, ya que las pinturas para exteriores tienen que resistir temperaturas muy bajas o sino esta pintura se convierte en quebradiza, debilitando su funcionamiento de recubrimiento. En cambio, para la industria de adhesivos esta propiedad no es decisiva para la selección del monómero ya que como tal este producto no está en contacto directo con el exterior, por tal razón se utilizan monómeros duros para la polimerización, un claro ejemplo son el estireno, metilmetacrilato y el vinil acetato.

Teniendo en cuenta, que para la selección del monómero libre se necesita un monómero que sea parcialmente soluble en agua, para facilitar la polimerización de la emulsión, y, a su vez, sea un monómero duro el cual tenga características buenas de resistencia, dureza y adherencia se tuvo en cuenta la tabla 7, en donde Carbonell da a conocer propiedades de algunos monómeros que se usan para la polimerización:

Tabla 7. Propiedades específicas de los principales monómeros libres utilizados para la polimerización

Monómero	Dureza	Flexibilidad	Resistencia a			Brillo	Adherencia
			Álcalis	Luz UV	Agua		
α metil estireno	Regular	Mala	Buena	Mala	Buena		
Estireno	Regular	Mala	Buena	Mala	Buena		
Vinil tolueno	Regular	Mala	Buena	Mala	Buena		
Acilonitrilo	Regular	Mala	Buena	Mala	Buena		
Metil Metacrilato	Regular	Mala	Regular	Regular	Regular		
Etil Metacrilato	Regular	Mala	Buena	Regular	Regular		
Butil Metacrilato	Regular	Mala	Buena				
Ácido metacrílico	Regular	Mala	Regular		Regular		
2-Hidroxietyl metacrilato	Regular	Mala	Buena		Buena	Mala	
2-Hidroxietyl acrilato	Regular	Mala	Buena		Buena	Mala	Mala
Metil acrilato	Mala	Regular	Regular		Mala	Regular	Mala
Etil acrilato	Mala	Regular	Regular		Regular	Regular	Regular
Butil acrilato	Mala	Buena	Regular		Buena	Regular	Buena
Vinil acetato	Regular	Regular	Mala	Buena	Buena	Regular	Buena
2-Etil Hexil acrilato	Mala	Buena	Mala	Regular	Regular	Regular	
Ácido acrílico	Regular	Mala			Buena		Regular
Acrilamida	Regular	Mala	Mala				

Convenciones

	Mala
	Regular
	Buena

Fuente. CARBONELL, Jordi Calvo. Pinturas y barnices: Tecnología básica. España: Editorial liesa

El parámetro de selección para escoger este monómero fue la propiedad de adherencia, ya que esta propiedad es la más importante para un adhesivo; y, siguiendo las características mostradas en la tabla número 6, se puede destacar los monómeros: el Vinil Acetato, el butil acrilato y el estireno, ya que estos cumplen con el parámetro de buena adherencia según la tabla.

Se debe tener en cuenta que el butil acrilato se usa para para emulsiones acrílicas, las cuales se usan principalmente para la fabricación de pinturas debido a la flexibilidad que este monómero posee⁶⁵, y, por esta razón no se va a tener en cuenta este monómero; y, que el monómero estireno tiene la cualidad de ser muy quebradizo, y esto afectaría el adhesivo cuando se finalice su tiempo de curado.⁶⁶

Por tal razón, se seleccionó el monómero el Vinil Acetato, el cual además de tener una buena adherencia, tiene una dureza y flexibilidad regular; y una resistencia a la luz y al agua buena. Cabe resaltar que el Vinil Acetato tiene facilidad de polimerización, gracias a la solubilidad parcial en el agua, la cual es de 2.5g/100g⁶⁷

⁶⁵ ANDERSON, Christopher D.; DANIELS, Eric S. *Emulsion polymerisation and latex applications*. iSmithers Rapra Publishing, 2003.

⁶⁶ LIESA, op. cit. p. 56

⁶⁷ SANTIANA, op. Cit. p. 16.

de agua a 20°C, y, es un monómero universal, económico, y de fácil acceso, ya que, se estima que el mercado global alcanzará aproximadamente 7,175 mil toneladas para fines de 2023⁶⁸.

Las propiedades que le otorgan al adhesivo son la facilidad de formación de película, y resistencia a aceites, grasas y disolventes.

Ilustración 13. Materia prima, vinil acetato.



Fuente: elaboración propia

El Vinil Acetato, es un líquido incoloro, parcialmente soluble en agua, inflamable, el cual tiene la fórmula molecular de $\text{CH}_2\text{CHOOCC}_2\text{H}_5$; fue nombrado por primera vez en 1912 como un subproducto obtenido en la preparación del diacetato de etilideno ($\text{CH}_3\text{CH}(\text{OOCH}_3)_2$), por combinación de ácido acético y acetileno en presencia de sal mercúrica.

Dado a que el Vinil Acetato es altamente exotérmico, es decir que, tiene una liberación rápida de calor, es probable que se comience a polimerizar por sí solo,

⁶⁸ PRENEWIRE. Global Vinyl Acetate Market Report 2013-2018 & 2023: Polyvinyl Acetate Accounts for Approx 46% of the Total in Volume Terms. 2018 {en línea}. {1 octubre de 2019} Disponible en (<https://www.prnewswire.com/news-releases/global-vinyl-acetate-market-report-2013-2018--2023-polyvinyl-acetate-accounts-for-approx-46-of-the-total-in-volume-terms-300778512.html>)

produciendo una emisión descontrolada cuando se polimeriza generando así una posible ruptura en el tanque en que se transporte; por tanto, para garantizar que dicha reacción no suceda, se tiene que agregar hidroquinona, siendo esta un inhibidor⁶⁹.

3.2.1 Emulsiones de acetato de vinilo. Teniendo en cuenta que se va realizar la polimerización con acetato de vinilo, se puede observar dicha reacción en la ecuación 3:

Ecuación 3. Reacción de polimerización de acetato de vinilo



Fuente: PADILLA CALUÑA, Alex Patricio. Diseño de un reactor para la fabricación de resinas vinílicas utilizadas en la elaboración de colas blancas en la Empresa Pintuglobal del cantón Mocha.Riobamba, 2017, 86p. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Las emulsiones de acetato polivinílico son utilizadas para la fabricación de adhesivos, ya que, el porcentaje de sólidos totales dan como propiedad la cohesión y adhesión entre el sustrato y este adhesivo.⁷⁰

⁶⁹ INDUSTRY, Vam. Planta de producción de acetato de vinilo. 2016. {en línea} {4 mayo 2019} disponible en (https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/148700/TFG_VamIndustry_v01.pdf)

⁷⁰ MERCADO, op. cit, p.34

3.3 COLOIDE PROTECTOR

Según Mazo, Ríos y Restrepo⁷¹ los coloides protectores solubles en agua más utilizados dentro de una polimerización en emulsión son el alcohol polivinílico y la hidroxietilcelulosa; teniendo en cuenta que la hidroxietilcelulosa está compuesta entre un 80-90% de agua, se puede concluir que se puede generar inestabilidad en la polimerización generando espuma y una susceptibilidad del agua en el revestimiento⁷², lo que no es conveniente teniendo en cuenta que se necesitan cubrir superficies de madera, las cuales tienen un alto contenido en agua.

Por tanto, se escogió como coloide protector, el alcohol polivinílico (ilustración 13) el cual según Arbeláez⁷³ aumenta la estabilidad en la emulsión, y da resistencia a la deformación al adhesivo.

Ilustración 14. Materia prima, alcohol polivinílico



Fuente: Elaboración propia

⁷¹ MAZO, Paula; RIOS, Luis A.; RESTREPO, Gloria. Síntesis de microcápsulas de poli urea a partir de aminas renovables, mediante doble emulsificación. En: *Polímeros*, Vol. 21. No 2 (sep. 2011), p. 123-130.

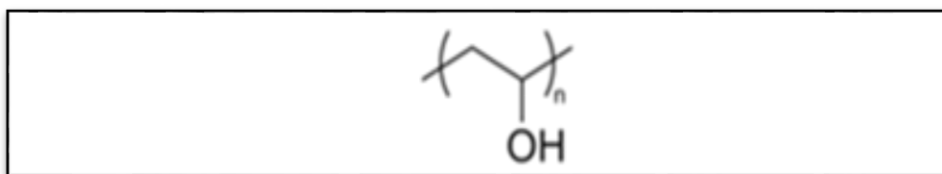
⁷² RUBIO CRUZ, ERNESTO FRANCISCO, et al. Estudio comparativo de materiales biocompatibles sintetizados a partir de goma vegetales, goma biosintética e hidroxietilcelulosa. 2009.

⁷³ ARBELÁEZ, op. cit. 30

El alcohol polivinílico, según Álvarez⁷⁴, es el coloide recomendado como plastificante, lo cual es ideal para la emulsión ya que está dirigida para hacer parte del desarrollo de un adhesivo, además tiene buenas propiedades mecánicas y es muy estable durante largos periodos de tiempo en diferentes condiciones de temperatura y pH⁷⁵.

La estructura general del Alcohol Poli Vinílico se muestra a continuación en la ilustración 14:

Ilustración 15. Estructura general del Alcohol Poli Vinílico



Fuente: GALLARDO RODRÍGUEZ, Andrés Eduardo. Desarrollo de una emulsión adhesiva de acetato de polivinilo de baja viscosidad a partir de una base de alcoholes polivinílicos. Valencia, 2018, 107p. Trabajo de grado (magíster en Ingeniería de Procesos). Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería

Las propiedades del Alcohol Poli Vinílico dependen de su peso molecular y de su grado de hidrólisis; el grado de hidrólisis puede clasificarse en tres⁷⁶:

- Baja hidrólisis: 87%
- Total hidrólisis: 98%
- Full hidrólisis: 99%

El grado de hidrólisis, es la cantidad de OH que este alcohol polivinílico contenga, como tal estos OH son los que reaccionan con el agua permitiendo que se realice una polimerización en emulsión. Este grado hidrólisis dependerá de la selección del fabricante o el cliente; teniendo en cuenta que se requiere un adhesivo con

⁷⁴ ÁLVAREZ, Ruth. Alternativa ecológica en la obtención de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca dulce. En: Agrollanía. Vol. 14, No 12 (ene-dic, 2017); Pág. 37-44

⁷⁵ ECHEVERRI, Claudia Elena; VALLEJO, Catalina; LONDONO, Marta Elena. Síntesis y caracterización de hidrogeles de alcohol polivinílico por la técnica de congelamiento/descongelamiento para aplicaciones médicas. Revista: EIA, vol. 6, No 12 (jul-dic, 2009), p. 59-66.

⁷⁶ THONG, Chiachia, LEE TEO, Delsye, NG, Chee Khoon. Application of polyvinyl alcohol (PVA) in cement-based composite materials: A review of its engineering properties and microstructure behavior. Revista: Construction and Building Materials, Vol. 107, (Mar 2016) p. 172-180.

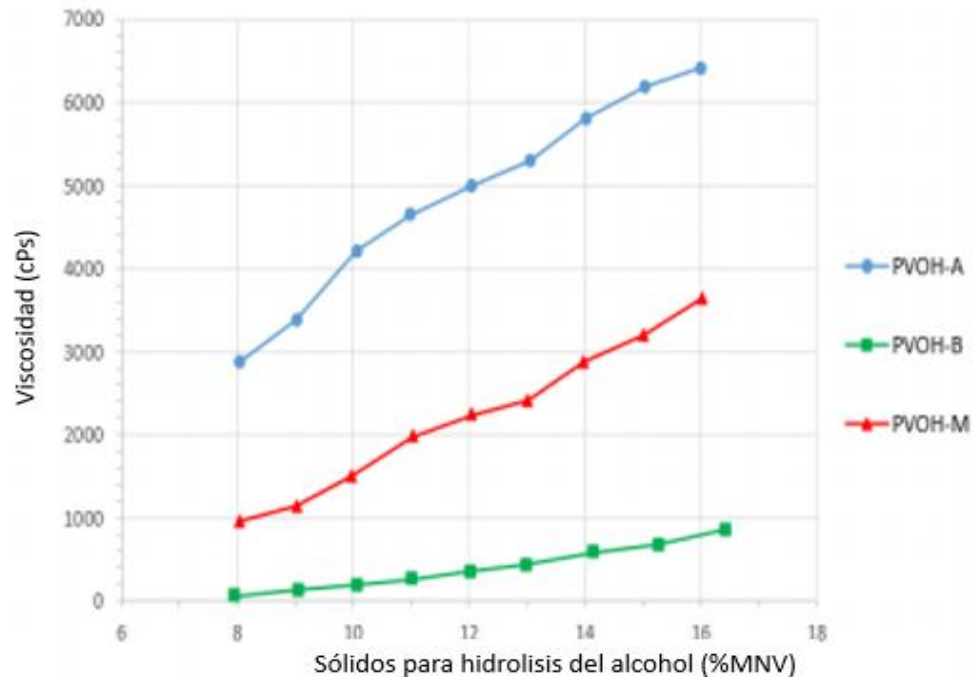
propiedades de resistencia, se escoge un alcohol polivinílico de total hidrólisis, lo que quiere decir que un 2% del contenido de OH de este va a reaccionar con el agua, y, a comparación de la hidroxetilcelulosa, este alcohol polivinílico no va a tener problemas de revestimiento.

Siguiendo con la dependencia del alcohol con el peso molecular, se puede clasificar el coloide por viscosidad: Alta viscosidad (170000-220000 g/mol), Media Viscosidad (120000-150000 g/mol) y Baja viscosidad (25000-35000 g/mol);⁷⁷ en donde el peso molecular del polímero también afecta algunas propiedades físicas como la resistencia al agua y la resistencia de la película.

Como lo muestra Gallardo en la gráfica 1, estas dos características dependen una de la otra, ya que, la disminución de los sólidos para hidrólisis del polímero también contribuye a reducir las viscosidades; en dicha gráfica se pueden observar los tres tipos de alcohol polivinílico, donde PVOH-A, es alcohol polivinílico de alta viscosidad, PVOH-B, es alcohol polivinílico de baja viscosidad, y PVOH-M, es alcohol polivinílico de media viscosidad, y el cambio de las viscosidades de estos alcoholes según su porcentaje de sólidos para grado de hidrólisis (%MNV) de una solución de alcohol con agua elaborada por él:

⁷⁷ GALLARDO, op. cit, p. 9

Gráfica 1. Cambios de viscosidad de los diferentes tipos de alcohol polivinílico y el porcentaje de sólidos para grado de hidrólisis (%MNV)



Fuente: GALLARDO RODRÍGUEZ, Andrés Eduardo. Desarrollo de una emulsión adhesiva de acetato de polivinilo de baja viscosidad a partir de una base de alcoholes polivinílicos. Valencia, 2018, 107p. Trabajo de grado (magíster en Ingeniería de Procesos). Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería

Como se puede observar en esta gráfica, la solución de cada uno de los alcoholes en el agua a diferentes grados de hidrólisis le otorga rangos de viscosidades, como, por ejemplo, el alcohol polivinílico de media viscosidad tiene viscosidades entre 1000 cPs – 3700 cPs aproximadamente. Teniendo en cuenta que es necesario tener bajas viscosidades para la facilidad de la elaboración, aplicación y uso de la emulsión polivinílica y el adhesivo según Paulín⁷⁸, se escogió el alcohol polivinílico de media viscosidad.

Las propiedades físicas y químicas del Alcohol Polivinílico comercial son las siguientes mostradas en tabla 8:

⁷⁸ PAULÍN, op. cit, p. 11

Tabla 8. Propiedades Físicas y Químicas de los Alcoholes polivinílicos.

Propiedad	Descripción/Valor
Aspecto	Polvo / Gránulos
Color	Blanco
Olor	Inodoro
Punto de ebullición	644°F
Punto de fusión	175°F
pH	5 – 6.5

Fuente: HERNÁNDEZ, Efrén, et al. Caracterización del alcohol polivinílico usado en recubrimientos de base acuosa. En: *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, vol. 38, No 2 (Ene.- dic. 2007), p. 15-25.

3.4 REGULADOR DE pH

Para mantener el rango de pH entre 4.5 y 5⁷⁹, se escogió como buffer aquellas sustancias que tuvieran un pH mayor a 7, ya que, la emulsión tiende a tener un rango entre 3 y 4, y un pH mayor ayuda a estabilizar esta característica en la emulsión⁸⁰. Como ejemplo de estos regulados de pH está el bicarbonato de Sodio, el acetato de sodio, bórax y amoniaco.

Por privacidad de la empresa Pinturas Tonner se reservó la selección de este regulador de pH, pero puede ser cualquiera de los ejemplos mencionados anteriormente.

3.5 BIOCIDA

Su aplicación es de uso vital debido a que la fase dispersante de la emulsión es el agua, la cual con la presencia de materia orgánica y rayos ultravioleta hacen parte de los principios de proliferación de estos microorganismos.

Hay diferentes tipos de biocidas y estas se clasifican según su sitio activo, como se puede observar en la siguiente tabla 9:

⁷⁹ GALLARDO, op. cit. p. 45

⁸⁰ *Ibid.*, p.46

Tabla 9. Diferentes tipos de sitios activos para un biocida.

Físicos	Químicos	Biológicos
Fuentes de radiación de alta energía que oxidan la pared proteica y prácticamente queman el microorganismo.	Son los creados por síntesis química	Sustancias creadas por organismos para su autodefensa, estas pueden ser las enzimas.

Fuente: PUERTO, Marta Sameño; SÁNCHEZ, Rosario Villegas; ROWE, Jorge García. Inventario de la vegetación y estudio de la interferencia biocida con los materiales pétreos del yacimiento del Cerro de la Plaza de Armas de Puente Tablas (Jaén). Revista: *PH: Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*. Vol. 4, No 14 (mar, 1996), p. 67-74.

Se tuvo en cuenta un biocida cuyo principio activo es el etileno-bis-ditiocarbamato de sodio⁸¹, el cual es considerado un efectivo fungicida y bactericida de uso industrial, y presenta una inhibición competitiva en el desarrollo celular, ya que remueve el ion férrico de la emulsión e impide el crecimiento de otros hongos⁸². Este es de color claro, tiene un pH de 2.30 y se muestra en la ilustración 16.

Ilustración 16. Materia prima, biocida



Fuente: elaboración propia

⁸¹ CASTILLO SAAVEDRA, Silvia; PELÁEZ ESPINAL, Cristian Franklin. Efecto biocida de Bactol Q, Proquat DDAC 52 y Procide BC 80030H sobre microorganismos del jugo de *Saccharum officinarum* “caña de azúcar” de la Agroindustria San Jacinto SAA. Trujillo, Perú, 2018, 71p. Trabajo de grado (Biólogo-Microbiólogo). Universidad Nacional de Trujillo. Facultad de ciencias biológicas.

⁸² CREMLYN, Richard James William. *Agrochemicals: Preparation and mode of action*. Gran Bretaña: Wiley, 1991. 406 p.

3.6 ANTIESPUMANTE

Hay diferentes tipos de antiespumantes según la composición, como se muestra a continuación en la tabla 10:

Tabla 10. Tipos de antiespumantes según la composición

Antiespumante	Característica
Orgánicos	Son a base de aceite minerales, que proporcionan excelente desempeño y son de bajo costo.
Siliconados	Que son altamente efectivos a bajos niveles de dosificación.
Moleculares	Ofrecen una excelente compatibilidad con la mayoría de los sistemas.

Fuente: VILLANUEVA, Yahuana; FFER, Yenny. Elaboración de pinturas látex vinil-acrílicas. Lima, 2006, 83 p. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Química y Textil.

Para el desarrollo de los experimentos, en este trabajo, se escogió un antiespumante orgánico, el cual se muestra en la ilustración 17, y, tiene mezcla de compuestos tipo vegetal, mineral y sintético; ya que, según Rojas, dichos compuestos son los recomendados para adhesivos con Poli Vinil Acetato⁸³.

⁸³ ROJAS, M., Mecanismos de acción de los aditivos utilizados en cementación de pozos. {en línea} {20 agosto de 2019} disponible en: https://www.researchgate.net/profile/George_Quercia_Bianchi/publication/269692092_Mecanismos_de_accion_de_los_aditivos_utilizados_en_cementacion_de_pozos/links/5491d7e70cf2484a3f3e0603.pdf

Ilustración 17. Materia prima, antiespumante orgánico a base mineral



Fuente: elaboración propia

3.7 INICIADORES

Ilustración 18. Iniciadores



Fuente: elaboración propia

Por conceptos de privacidad de la empresa Pinturas Tonner se reservó la selección de estos iniciadores, pero entre la selección de estos iniciadores se encuentran compuestos oxidantes y reductores. Se seleccionaron varios iniciadores, los cuales poseen una velocidad de generación de radicales libres a una temperatura no excesivamente alta (<150°C)⁸⁴.

⁸⁴ RAMIS JUAN, Xavier. Estudio de la eficiencia de sistemas químicos del curado de resinas de poliéster insaturado. Barcelona, 1994, 338p. Tesis doctoral (doctor en ciencias químicas) Universitat Politècnica de Catalunya.

Entre la selección de estos iniciadores se encuentran compuestos oxidantes y reductores. Estos compuestos varían según la formulación de la emulsión.

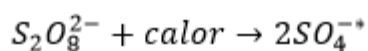
Los iniciadores oxidantes son aquellas sustancias encargas de generar los radicales libres en la polimerización, es decir, promueven o activan la reacción; un ejemplo de estos compuestos son los peróxidos ya que son utilizados habitualmente como fuente de radicales libres. Algunos de los peróxidos más comunes son⁸⁵:

- Peróxidos de acilo: Peróxido de Acetilo y Peróxido de Benzoilo
- Peróxidos de alquilo: Peróxido de Cumilo y Peróxido de t-butilo
- Persulfato de sodio, persulfato de potasio, persulfato de amonio y peróxido de hidrógeno

Cuando solo se usan iniciadores oxidantes, según Agustín,⁸⁶ la polimerización necesita una energía térmica aproximadamente de entre 30-35 kcal/mol⁸⁷; por esta razón en los experimentos en donde se usó solo agentes oxidantes, se buscó que dicho oxidante generara radicales libres muy estables, ya que a veces se descomponen en moléculas sencillas.⁸⁸

Un ejemplo de la formación de radicales libres a partir de iniciadores oxidantes se muestra en la siguiente ecuación, en donde se puede observar en la siguiente ecuación 4 la disociación de un persulfato en fase acuosa

Ecuación 4. Disociación del Persulfato de Potasio en fase acuosa



Fuente: LORENZO-PARAGUAY, S. A. N. Remediación de suelos contaminados con fenantreno por oxidación química. 2013. Trabajo de grado (Maestría en Fisicoquímica). Universidad Nacional de Asunción. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.

⁸⁵ *Ibíd.*, p.113

⁸⁶ REYES, *óp. cit.*, p. 50

⁸⁷ REYES, *óp. cit.*, p. 54

⁸⁸ SEYMOUR, Raimond B.; CARRAHER, Charles E. Introducción a la química de los polímeros. Florida: Reverté, 1995, 31 p

Para los iniciadores reductores, es necesario combinar los iniciadores oxidantes y reductores, ya que el iniciador oxidante va a ser la fuente de radicales, y el iniciador reductor, el promotor. Esta iniciación suele llamarse redox y tiene las ventajas de que la producción de radicales libres ocurre a una velocidad razonable y en un ancho rango de temperaturas⁸⁹, es decir que no necesita temperaturas tan altas como lo necesita el mecanismo utilizando solo iniciadores oxidantes, y según Agustín, necesita una energía térmica aproximadamente de 10 kcal/mol⁹⁰.

Existen múltiples sistemas de iniciación redox, como son⁹¹:

- La combinación de un reductor inorgánico con un oxidante inorgánico, por ejemplo, SO_3^{-2} y Fe^{+2}
- La combinación de un compuesto orgánico con uno inorgánico. Habitualmente, el compuesto orgánico se oxida y el inorgánico se reduce, por ejemplo, la oxidación de un alcohol con Ce^{+4}
- El sistema más típico de iniciación redox es la combinación de un peróxido orgánico con un agente reductor.

3.8 SEMILLA

Dentro de la etapa de iniciación de la reacción es necesario que existan dentro del proceso moléculas de monómero activas, es decir, que tengan radicales libres, por esta razón al inicio del proceso de polimerización se realiza una semilla, la cual va a ser la encargada de tener las moléculas activas.⁹²

La obtención de esta semilla va a depender del método con el cual se realice la polimerización, ya que puede ser preparada durante el proceso de polimerización o, preparadas por separado⁹³.

En uno de estos métodos se va a usar una emulsión polivinílica hecha como semilla (ilustración 19) con el fin de evaluar las propiedades finales de la emulsión, como, por ejemplo, la capacidad de adhesión, la rapidez de secado de la emulsión polivinílica y la viscosidad final.

⁸⁹ RAMIS, óp cit p. 115

⁹⁰ REYES, óp. cit, p. 55

⁹¹ RAMIS, óp cit p. 115

⁹² PAULÍN, op. cit. p. 27

⁹³ REYES, op. cit. p.42

Ilustración 19. Emulsión polivinílica finalizada



Fuente: elaboración propia.

3.9 CALIDAD DE LAS MATERIAS PRIMAS

Es necesario realizar un análisis experimental de las materias primas más importantes dentro de la polimerización, con el fin de comprobar que los rangos establecidos en las fichas técnicas se cumplan para verificar que las materias primas no estén contaminadas, y garantizar así que las características finales de la emulsión polivinílica se cumplan.

3.9.1 Caracterización de las materias primas. Las propiedades medidas de las materias primas son la viscosidad, el pH, índice de refracción y el porcentaje de sólidos totales, ya que, la viscosidad, el porcentaje de sólidos totales y el pH afectan durante el proceso de polimerización, y el índice de refracción permite conocer la pureza del vinil acetato; dichas propiedades se miden de la siguiente manera:

3.9.1.1 Viscosidad. Se procedió a seguir la Norma Técnica Colombiana NTC 5861⁹⁴, en donde se indica el uso de un viscosímetro Brookfield como se muestra en la siguiente ilustración 20.

⁹⁴ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Norma Técnica Colombiana 5861. Resinas en estado líquido o como emulsiones o dispersiones. Determinación de la viscosidad aparente mediante el método de ensayo Brookfield. Bogotá D.C. ICONTEC. 2011

Ilustración 20.

Viscosímetro Brookfield



Fuente: elaboración propia

El principio para el funcionamiento del viscosímetro Brookfield se basa en la viscosimetría rotacional, la cual se mide captando el par de torsión necesario para hacer girar a velocidad constante un huesillo inmerso en muestra del fluido a estudiar⁹⁵.

Para medir la viscosidad, es necesario primeramente seleccionar e instalar una de las 7 agujas de las que consta el equipo. La selección de estas agujas dependerá de la viscosidad aproximada que tendrá la muestra y se seguirá el diagrama descrito en la norma.

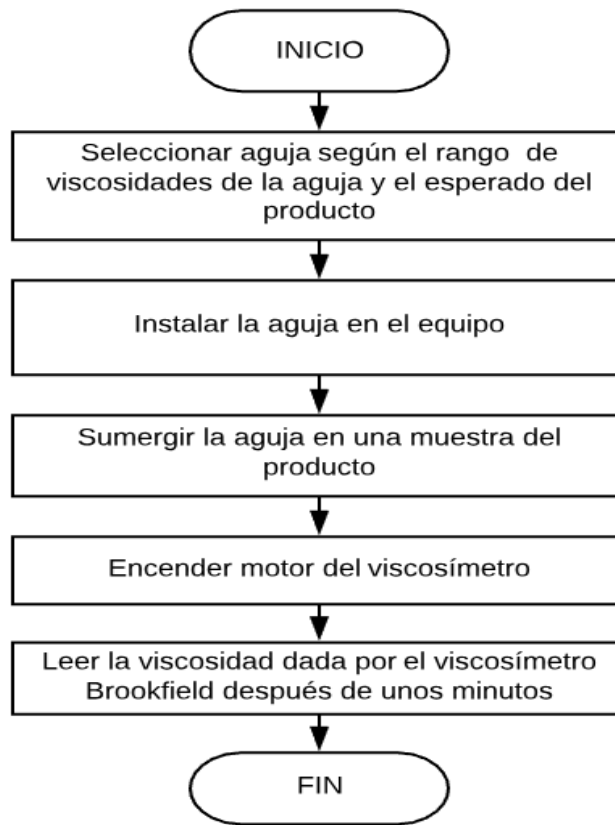
Después se procederá a sacar una muestra de la materia prima y situarla debajo de la aguja, se tiene que garantizar que la aguja este totalmente sumergida en la muestra.

Luego, se enciende el motor del viscosímetro, permitiendo que la aguja rote sin ningún impedimento. La lectura de esta viscosidad se leerá cuando no cambie la medida después de algunos minutos.

Este proceso se puede observar con mayor facilidad en el diagrama de flujo presentado en la ilustración 21:

⁹⁵CARBONELL, op. cit. p. 55

Ilustración 21. Diagrama de flujo del proceso para usar el viscosímetro Brookfield



Fuente. Elaboración propia

3.9.1.2 pH: Para comprobar la propiedad de pH de algunas de las materias primas, se procedió a usar con un potenciómetro como lo determina la ASTM E70-07⁹⁶ como se muestra en la siguiente ilustración:

⁹⁶ AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Test Method for pH of Aqueous Solutions with the Glass Electrode. ASTM International, 2015, 6 p. (ASTM E70-07)

Ilustración 22. Equipo de potenciómetro OAKION(ION 700)



Fuente: elaboración propia

Este potenciómetro funciona de manera digital, en donde por medio de pulsadores y sensores, este puede determinar el pH de la sustancia⁹⁷. Para el uso de este equipo, se debe asegurar que este calibrado, esta comprobación consta de sumergir el potenciómetro en agua, si la lectura en la pantalla es de 7, se dice que el equipo esta calibrado

Una vez calibrado, se toma el pH de la muestra sumergiendo el potenciómetro (lado derecho de la ilustración) en la muestra a la que se le va a medir el pH, y se procede a esperar a que no cambie la lectura que se muestra en el equipo.

3.9.1.3 Índice de refracción. Para determinar el índice de refracción, se siguió la Norma Técnica Colombiana NTC 3305⁹⁸, usando un refractómetro, el cual se muestra en la siguiente ilustración:

⁹⁷ EUTECH INSTRUMENTS. Guía de Inicio rápido de la serie 2700. 2019 {en línea} {7 de febrero de 2020} disponible en: <http://www.4oakton.com/Manuals/pHORPlon/Bench%202700%20Quick%20Guide%20-%20Spanish.pdf>

⁹⁸ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Norma Técnica Colombiana 3305. Plásticos. Muestreo y evaluación de los plastificantes utilizados en los plásticos Bogotá D.C. ICONTEC. 2011

Ilustración 23. Refractómetro ABBE



Fuente: elaboración propia

En el cual, se ha de agregar una gota de la muestra, y se observa por medio de un lente la curva que se produce de luz; esta curva contiene una escala que permite determinar el ángulo de la luz, la cual es el índice de refracción. Esta propiedad determina el estado de pureza del Vinil Acetato.

3.9.1.4 Porcentaje de sólidos totales. Para analizar el contenido de sólidos totales, se siguió la Norma Técnica Colombiana NTC 1774, la cual indica que se necesita pesar inicialmente una muestra de la sustancia, se introduce en un horno durante 30 minutos a una temperatura de 105°C, y al finalizar el tiempo se pesa nuevamente la muestra. Teniendo en cuenta que Pinturas Tonner proporciono un analizador de contenido de humedad, se siguió esta norma por medio de dicho equipo, el cual se muestra en la siguiente ilustración:

Ilustración 24. Analizador de humedad marca OHAUS 2017



Fuente: elaboración propia

Este analizador de humedad analiza automáticamente una muestra y crea un método, eliminando así las conjeturas de la configuración inicial. Contiene

calefacción halógena y la doble calibración del peso-temperatura proporcionan resultados rápidos y fiables⁹⁹.

Su funcionamiento es evaluar el porcentaje de contenido de sólidos no volátiles y funciona con la variación de pesos de la muestra antes de iniciar el proceso y después de la evaporación de toda el agua contenida en la muestra.

Para realizar esta variación de pesos se necesita anexar un recipiente metálico, con aspecto similar al de una tapa, y tararla, ya que la muestra inicial se necesita pesar antes de que el equipo realice la lectura del contenido de sólidos no volátiles. Después, se procede a encender el equipo, generando que en toda la muestra se evaporen el contenido de sólidos volátiles, como lo son las partículas de agua de la muestra, por medio del calor que este desprende generando así una lectura digital final de peso. Este procedimiento se realizó siguiendo en manual del analizador de humedad proporcionado por Ohaus¹⁰⁰.

3.9.2 Análisis experimental de las materias primas. Para este análisis, solo se tuvieron en cuenta las propiedades de las materias primas que podían afectar de manera drástica en el proceso de la experimentación, ya que, si no se cumplen con los rangos establecidos por las fichas técnicas, o descritos a lo largo del documento, es probable que la muestra escogida para realizar el experimento este dañado o contaminado. La materia prima estudiada con su respectiva observación se muestra a continuación:

3.9.2.1 Caracterización del vinil acetato. Las propiedades físicas del Vinil Acetato comercial se pueden observar en la siguiente tabla 11:

⁹⁹OHAUS. Analizadores de humedad. 2020. {en línea} {6 de febrero de 2020} disponible en: <https://mx.ohaus.com/es-mx/products/balances-scales/moisture-analyzers>

¹⁰⁰ OHAUS. Analizadores de humedad. 2020. {en línea} {6 de febrero de 2020} disponible en: <https://mx.ohaus.com/es-MX/MB120-2>

Tabla 11. Propiedades Físicas de referencia del Vinil Acetato

Propiedades del acetato de vinilo	Valor
Estado físico a temperatura ambiente	Líquido
Peso molecular	86.09 g/mol
Temperatura de ebullición	72°C
Temperatura de fusión	-92.8°C
Densidad (a 25°C)	0.925 g/cm ³
Punto de congelación	-93°C
Agua	Máximo 400 ppm
Contenido ácido (ácido acético)	Máximo 50 ppm
Acetaldehído	Máximo 100ppm
Contenido inhibidor	Máximo 3-5ppm

Fuente: INDUSTRY, VAM. Planta de producción de acetato de vinilo. 2016. {en línea} {4 mayo 2019} disponible en (https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/148700/TFG_VamIndustry_v01.pdf)

Para comprobar la viscosidad y el índice de refracción del vinil acetato, se evaluaron algunas de las propiedades físicas mencionadas anteriormente. Ya que, si alguno de estos rangos no se cumple es probable que el vinil acetato esté contaminado con otro elemento o no tenga el rango de cristalinidad apropiado para realizar la polimerización¹⁰¹. A continuación, en la tabla 12, se muestran los resultados de las pruebas mencionadas anteriormente:

Tabla 12. Comprobación de los valores Teóricos

Parámetro	Valor de la Ficha Técnica	Valor experimental	Cumple con la ficha técnica
Índice de Refracción	1.3955	1.394	Sí
Viscosidad	0.4 cPs	0.43672 cPs	Sí

Fuente: elaboración propia

Estos valores mencionados anteriormente en tabla 12 tuvieron 3 réplicas cada uno, con el fin de corroborar el valor medido. El valor de estas replicas están anexas en el anexo C, el cual se encuentra al final de este trabajo de grado.

¹⁰¹ SEYMOUR, op. cit, 148p.

Además de medir el rango de cristalinidad apropiado, es necesario verificar que el vinil acetato no este auto polimerizado por medio de una medida cualitativa que determina la presencia de hidroquinona en el Vinil Acetato; esta prueba se realizó según criterio de la empresa y consta de añadir en 100 ml de Vinil Acetato 10 gotas de metanol anhidro con agitación suave constante, si después de 10 minutos de agitación aparecen micelas en el monómero da como resultado que se está polimerizando, y que no tiene suficiente concentración de hidroquinona. Esta prueba se hizo a consideración de la empresa Pinturas Tonner.

Al realizar esta prueba, se dio a conocer que no apareció ninguna micela, lo cual indica que el Vinil Acetato es apto para la realización de los experimentos. El resultado final de este proceso se pueda observar en la siguiente ilustración 25:

Ilustración 25. Prueba de hidroquinona



Fuente: elaboración propia

3.9.2.2 Caracterización del regulador de pH. Las propiedades físicas y químicas del regulador del pH comercial se pueden observar en la siguiente tabla 13:

Tabla 13. Propiedades Físicas y Químicas del regulador de pH.

Propiedades	Valor/Descripción
Olor	Blanco
pH	Inodoro
Densidad	8.6
Punto de ebullición	50°C
Viscosidad	270°C

Fuente: GTM. Dicromato de sodio. {en línea}. {Consultado el 21 de agosto de 2019}. Disponible en: (<http://www.gtm.net/images/industrial/d/DICROMATO%20DE%20SODIO.pdf>)

Teniendo en cuenta que para el regulador de pH se debe cumplir un rango de pH mayor a 7, se procedió a medir esta propiedad. Culminada la medición, se obtuvieron los siguientes resultados expuestos en tabla 14:

Tabla 14. Comprobación de los valores Teóricos

Parámetro	Valor de la Ficha Técnica	Valor experimental	Cumple con la ficha técnica
pH	8.6	8.4	Sí

Fuente: elaboración propia

Este valor del pH mencionado anteriormente en tabla 14 tuvo 3 réplicas, con el fin de corroborar el valor medido. El valor de estas replicas están anexas en el anexo C, el cual se encuentra al final de este trabajo de grado.

3.9.2.3 Caracterización del biocida. Las propiedades físicas y químicas del Biocida comercial son las que se pueden observar en la siguiente tabla 15:

Tabla 15. Propiedades Físicas y químicas del Biocida

Propiedades	Valor/Descripción
Apariencia	Líquido claro
Ingrediente activo	1.83
pH directo	1.5 – 3

Fuente: Pinturas Tonner. Ficha Técnica (ANEXO A)

Para comprobar la propiedad física del pH propuesto por la ficha técnica, se dispuso a comprobar experimentalmente este dato. Los resultados de dicha medición se pueden observar en la tabla 16:

Tabla 16. Comprobación de los valores Teóricos

Parámetro	Valor de la Ficha Técnica	Valor experimental	Cumple con la ficha técnica
pH	1.5 – 3	2.03	Sí

Fuente: elaboración propia

Este valor del pH mencionado anteriormente en tabla 16 tuvo 3 réplicas, con el fin de corroborar el valor medido. El valor de estas replicas están anexas en el anexo C, el cual se encuentra al final de este trabajo de grado

3.9.2.4 Caracterización del antiespumante. Las propiedades físicas y químicas del antiespumante comercial son las que se pueden observar a continuación:

Tabla 17. Propiedades Físicas y Químicas del antiespumante

Propiedades	Valor/Descripción
Apariencia	Líquido viscoso
Color	Amarillo
pH	Max. 7
Viscosidad	Min. 400

Fuente: Pinturas Tonner. Ficha Técnica (ANEXO A)

Para comprobar algunas de las anteriores propiedades físicas propuestas por la ficha técnica del antiespumante, se dispuso a medir experimentalmente la viscosidad y el pH. Una vez realizadas dichas mediciones, se obtuvieron los siguientes resultados expuestos en la tabla 18:

Tabla 18. Comprobación de los valores Teóricos

Parámetro	Valor de la Ficha Técnica	Valor experimental	Cumple
pH	Máximo 7	6.89	Sí
Viscosidad	Mínimo 400 cPs	322000 cPs	Sí

Fuente: elaboración propia

El valor de pH y viscosidad mencionado anteriormente en tabla 18 tuvo 3 réplicas, con el fin de corroborar el valor medido. El valor de estas replicas están anexas en el anexo C, el cual se encuentra al final de este trabajo de grado.

3.9.2.5 Caracterización de la semilla. Teniendo en cuenta que una de las formulaciones propuestas en este trabajo, contempla el uso de una semilla compuesta de una emulsión polivinílica finalizada, a continuación, se le determinan las propiedades físicas y químicas de la semilla comercial son las que se pueden observar a continuación en tabla 19.

Tabla 19. Propiedades Físicas y Químicas de la semilla comercial

Propiedades	Valor/Descripción
Apariencia	Líquido
Color	Blanca
pH	4 – 5
Viscosidad	2500 – 4000 cPs
%Sólidos Totales	56 ±1%

Fuente: Pinturas Tonner. Ficha técnica (ANEXO A)

Es importante realizar una evaluación de las propiedades físicas y químicas de la semilla que se va a usar en la fórmula, no solo para verificar si las propiedades de este si cumplen con las expuestas en la tabla 19, sino también porque esto es un indicativo de que el producto final de la polimerización podrá tener las propiedades adecuadas. Esta valoración se hace midiendo la viscosidad, el pH y la cantidad de sólidos totales. Los resultados de las mediciones se muestran a continuación:

Tabla 20. Comprobación de los valores Teóricos

Parámetro	Valor de la Ficha Técnica	Valor experimental	Cumple con la ficha técnica
pH	4 – 5	4.18	Sí
Viscosidad	2500 – 4000 cPs	3350 cPs	Sí
%Sólidos Totales	56 ±1%	55	Sí

Fuente: elaboración propia

Los valores de pH, viscosidad y % sólidos totales mencionados anteriormente en tabla 20 tuvieron 3 réplicas, con el fin de corroborar el valor medido. El valor de estas replicas están en el anexo C, el cual se encuentra al final de este trabajo de grado.

Aunque la comprobación de la viscosidad, el pH y el contenido de sólidos en la semilla fue acertada, Pinturas Tonner usa rangos distintos en la semilla, los cuales constan de una viscosidad entre un rango de 800-900 cPs y un pH entre un rango entre 4.5 – 5, con el fin de obtener al final de la polimerización una emulsión polivinílica con una viscosidad, porcentaje de sólidos y un rango de pH apropiados para la realización del adhesivo. Para lograr estos rangos, se realizaron experimentalmente varias réplicas, las cuales arrojaron que añadiendo 40 gramos de agua y 0.23 gramos de regulador de pH a 500 gramos de semilla se obtenían las propiedades adecuadas. Los resultados finales fueron:

Tabla 21. Propiedades de semilla comercial modificados.

Parámetro	Resultados
pH	4.5
Viscosidad	800 cPs
%Sólidos Totales	55

Fuente: elaboración propia

4. DESARROLLO EXPERIMENTAL DE EMULSIONES POLIVINÍLICAS

Para elaborar una emulsión polivinílica que permita reemplazar la comprada actualmente en la empresa Pinturas Tonner, se tienen en cuenta las variables del proceso que afectan la polimerización, las cuales son según Leiza y Pinto, la temperatura, la conversión, la producción de monómero y los pesos moleculares; para controlar las tres últimas variables, es necesario manipular la dosificación del alimento de las materias primas al reactor¹⁰².

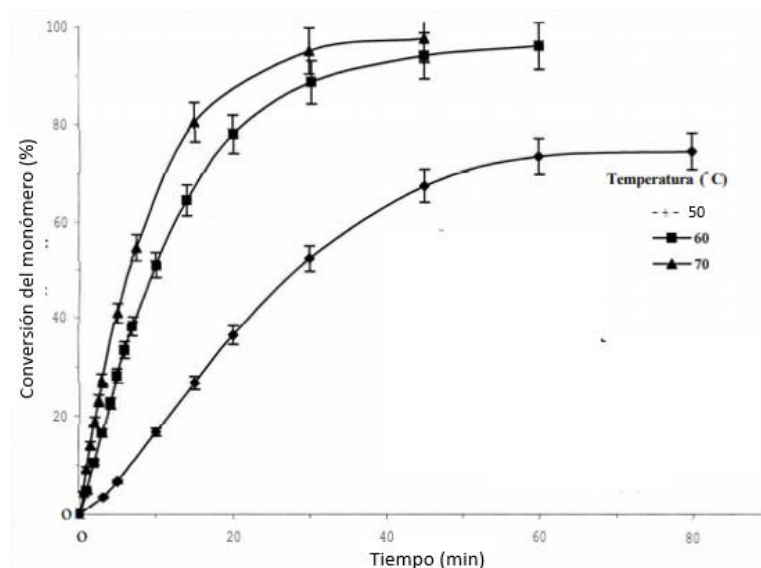
En este capítulo, se desarrollaron 48 experimentos por medio de cuatro fórmulas, en las cuales se manipularon la adición al reactor de las materias primas, por medio de la evaluación de los procesos de la polimerización en emulsión, semibatch y batch, junto con la evaluación de un rango de temperatura óptima; una vez finalizado el proceso, se evaluaron las propiedades de la emulsión las cuales son viscosidad, transparencia de la película seca y brillo, el pH, tamaño de partícula, flexibilidad y contenido de sólidos no volátiles, por medio de la Norma Técnica Colombiana NTC 1703 y la emulsión comprada actualmente.

4.1 TEMPERATURA

Cuando ocurre un cambio en la temperatura, se ve afectada la velocidad de reacción, como se muestra en la siguiente gráfica:

¹⁰² LEIZA, José R. PINTO, José C. Handbook of polymer reaction Engineering. Weinheim: *John Wiley & Sons*, 2008, p. 315-56.

Gráfica 2. Curvas cinéticas experimentales de la polimerización de vinil acetato



Fuente: RESENDIZ, Juan Roberto Herrera. Polimerización del acetato de vinilo en microemulsiones aniónicas pseudoternarias estabilizadas con un alcohol de bajo peso molecular como cosurfactante. Saltillo, Coahuila, 2002, 137 p. Trabajo de grado (doctorado en polímeros). Centro de Investigación en Química Aplicada.

Según Erbil¹⁰³, cuando la temperatura de la polimerización aumenta puede ocurrir que:

1. La velocidad de la reacción de iniciación aumenta y por lo tanto también aumenta la concentración de los radicales libres.
2. El número de micelas producidas por el emulsionante aumenta, así como el número de polímero producido.

Sin embargo al aumentar demasiado la temperatura de polimerización pueden ocurrir los siguientes posibles efectos secundarios¹⁰⁴:

1. El riesgo de inestabilidad del sistema de emulsión aumenta, lo que resulta en la ocurrencia de per floculación, coagulación o cambios en la viscosidad.

¹⁰³ ERBIL, op. cit, p. 35

¹⁰⁴ ERBIL, op. cit, p. 35

2. El riesgo de la producción del polímero reticulado, ramificado o gelificado aumenta.
3. La estructura del polímero y la distribución del peso molecular cambian.
4. Cuando se usan agentes de transferencia de cadena para controlar el grado de polimerización y el peso molecular del polímero, la eficiencia de estos agentes se altera.

4.1.1 Temperatura óptima para la emulsión. Para la selección de la temperatura óptima se tuvo en cuenta el trabajo de grado de Reséndiz¹⁰⁵, ya que, como se da a conocer en la gráfica 2, la temperatura de operación para el desarrollo de la emulsión polivinílica puede estar en un rango de 60°C hasta 70°C, ya que a dichas temperaturas la conversión del monómero aumenta. Pero, como solo se evalúa la temperatura hasta 70°C, también se realizaron más investigaciones bibliográficas, de las que se puede resaltar el trabajo de grado de Arbeláez¹⁰⁶, llamado “Modelamiento, simulación y propuesta de un esquema de control regulatorio de un reactor semi batch para la producción de poli vinil acetato”, en donde por medio del control de la temperatura del agua que circula a través de la chaqueta del reactor, mantuvo temperaturas dentro del reactor en un rango entre 75°C hasta 80°C.

Según lo anterior mencionado, se determinó que el rango de temperatura de polimerización más apropiado para el desarrollo de esta emulsión estuvo entre los 71°C hasta los 80°C¹⁰⁷; ya que las emulsiones poliméricas necesitan un mecanismo el cual rompa el doble enlace del monómero, para esto se utiliza un mecanismo de energía y de una concentración de iniciadores, los cuales contienen radicales libres. Esta energía está en forma de calor, y la unidad que mide este calor necesario es la temperatura, es importante que esta temperatura esté por encima de la temperatura de ebullición del monómero ya que dentro de este existe una molécula que funciona de inhibidor de polimerización. Al cumplir la temperatura de ebullición, este monómero se libera de este inhibidor.

4.2 FORMULACIONES DE EMULSIONES POLIVINÍLICAS

Para elaborar la emulsión polivinílica, se realizó una investigación con la ayuda de las sugerencias del área de investigación de la empresa Pinturas Tonner, y, se determinaron 4 métodos distintos, los cuales están basados en los procesos de polimerización que se explicaron en profundidad en el marco teórico; tres de las

¹⁰⁵ RESÉNDIZ, op. cit. 34

¹⁰⁶ ARBELÁEZ, op. cit. p. 54

¹⁰⁷ MERCADO, op. cit, p. 9

formulas ocurren por medio de una polimerización semicontinua o semibatch, y el cuarto y último método ocurre por medio de una polimerización Batch.

Para la formulación de cada uno de los diferentes métodos se tuvieron en cuenta las propuestas que plantean Santiana y Arbeláez; en donde, según Santiana, la cantidad de monómero que se debe usar para una polimerización en emulsión es del 30-60%v/v ¹⁰⁸, y, según Arbeláez¹⁰⁹, las concentraciones de Agua, monómero libre, coloide protector e iniciador oxidante, como se muestran a continuación, en la tabla 21:

Tabla 22. Porcentajes de la formulación.

Materia prima	Porcentajes (p/p%)
Agua	50.1
Monómero libre	43.2
Coloide protector	6.5
Iniciador	2

Fuente. ARBELÁEZ RUIZ, Nathalia Cecilia. Modelamiento, simulación y propuesta de un esquema de control regulatorio de un reactor semibatch para la producción de poli vinil acetato. Bogotá, 2014, 131 p. Tesis Doctoral (magíster en Ingeniería Química) Universidad Nacional.

El mecanismo general para la obtención de una emulsión polimérica se plantea en la ilustración 26, en donde, primero se adiciona al reactor agua y antiespumante mezclados, se lleva el reactor a 66°C y, una vez llegue a esta temperatura se le anexa el alcohol polivinílico y se lleva el reactor a 80°C durante 30 minutos; este proceso se realiza con el fin de obtener el alcohol disuelto en agua.

Posteriormente, se procede a anexar las materias primas al reactor, con el fin de realizar la polimerización del vinil acetato. El ingreso del monómero, iniciadores, semilla y alcohol polivinílico al reactor va a variar según el método con el cual se realice la reacción, ya que, en el caso del método de ruptura térmica y óxido reducción se van a ingresar al reactor el alcohol polivinílico obtenido en el primer proceso junto con el regulador de pH y se van a dosificar el monómero y los iniciadores, ya que, en ambos métodos se va a generar la semilla dentro del reactor, siguiendo la propuesta de Fred, en el libro ciencia de los polímeros, por medio de la

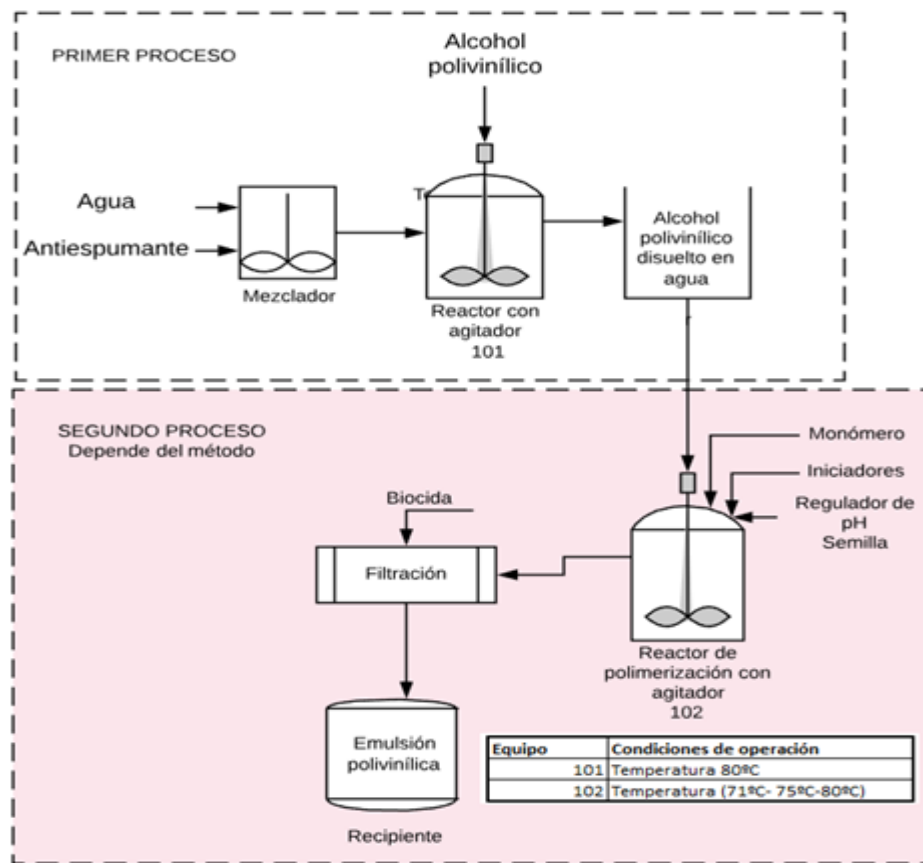
¹⁰⁸ SANTIANA, op. cit. p. 15.

¹⁰⁹ ARBELÁEZ, op. cit. p. 83

alimentación de la dosificación de un 10% de monómero junto con un 25-50% de iniciadores¹¹⁰; en el caso de óxido reducción con semilla, se va a ingresar al reactor la semilla, la cual es la semilla polivinílica ya finalizada y se van dosificar el alcohol polivinílico, los iniciadores y el vinil acetato; y, en el método de polimerización Batch, no se va a generar una semilla, ya que en este proceso las únicas materias primas que se van a dosificar serán los iniciadores oxidantes y reductor.

Se recomienda sella herméticamente el reactor para evitar errores a la hora de realizar cada uno de los experimentos.

Ilustración 26. Diagrama de flujo del Mecanismo general para la obtención de una emulsión polimérica.



Fuente: elaboración propia

¹¹⁰ FRED, op. cit. p. 32

A continuación, se puede observar los procesos y las formulaciones realizadas por el método de polimerización semicontinua:

4.2.1 Ruptura térmica. Esta fórmula consiste en el uso de un iniciador oxidante, siguiendo el trabajo de grado de Arbeláez, en donde se da a conocer que el objetivo de usar este iniciador es el de realizar la ruptura del doble enlace que contiene el monómero generando así radicales libres, obteniendo una reacción exotérmica; como se explicó en el capítulo de materias primas.¹¹¹

En primer lugar, se realizó la semilla, la cual está compuesta por agua, antiespumante, alcohol polivinílico, vinil acetato, iniciador oxidante y coloide protector; el proceso se realizó de la siguiente manera:¹¹²

Se cargó al reactor agua y antiespumante, seguidamente se procedió a calentar el reactor hasta llegar a una temperatura de 66°C, alcanzada esta temperatura se agregó el alcohol polivinílico.

Después se procedió a seguir calentando hasta llegar a una temperatura de 80°C manteniendo así esta temperatura durante 30 minutos, generando que la mezcla de agua, alcohol polivinílico y antiespumante estuviera homogénea.

Para garantizar que la viscosidad del alcohol polivinílico que se acabó de hacer cumpliera con los rangos de viscosidad esperados se procedió a agregar el agua de ajuste.

Luego se agregó el regulador de pH y el agente tenso activo. Después se procedió a dejar enfriar el reactor hasta alcanzar una temperatura de aproximadamente 62°C; alcanzada esta temperatura se añadió un 5% de Vinil Acetato y de iniciador, estos porcentajes de adición duraron 30 minutos.

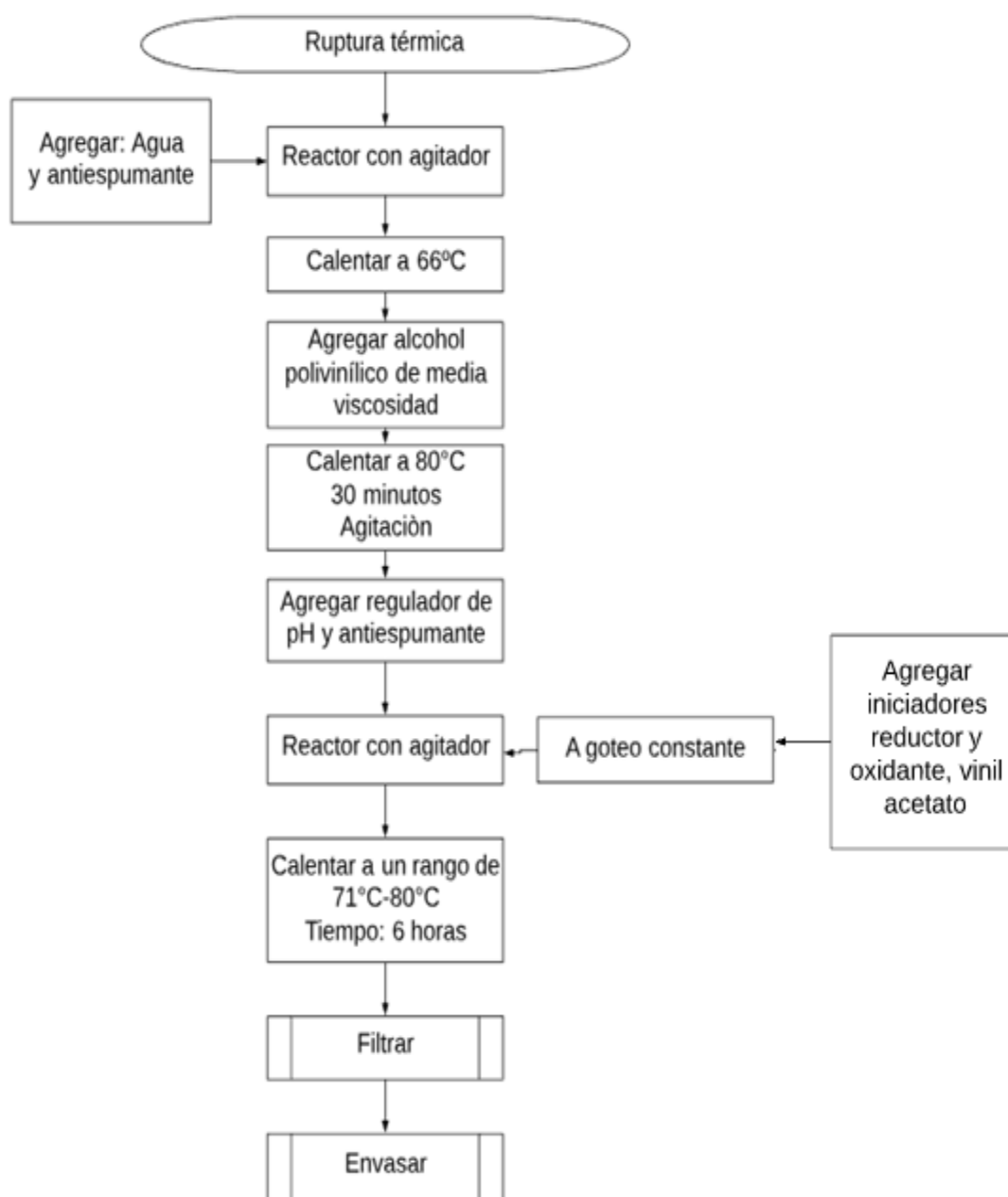
Una vez obtenida la semilla, se procedió a agregar el restante del Vinil Acetato en seis horas por medio de un goteo constante y con un rango de temperatura entre 71°C hasta 80°C. Al mismo tiempo se añadió una mezcla de iniciador oxidante y agua restante, por la misma cantidad de tiempo de adición que el Vinil Acetato. Al finalizar este tiempo de polimerización se añadió una cantidad de biocida.

Por último, se filtró por medio de una malla de filtración la emulsión lo cual garantiza que si en el proceso se formaron grumos se queden dentro de esta malla para no afectar así la transparencia de la película del adhesivo desarrollado, para terminar, esta emulsión final se envasa en un recipiente plástico.

¹¹¹ ARBELÁEZ, op. cit, p. 75-78

¹¹² ARBELÁEZ, op. cit, p. 75-78

Ilustración 27. Diagrama del proceso del proceso para la emulsión realizada por ruptura térmica



Fuente: elaboración propia

Los porcentajes de esta fórmula, se pueden observar en la siguiente tabla:

Tabla 23. Porcentajes de fórmula, ruptura térmica

Componente	Porcentaje (%p/p)
Agua	49.29
Antiespumante	0.03
Alcohol polivinílico de media	2.02
Regulador de pH	0.07
Tenso activo	0.26
Vinil acetato	48.19
Iniciador oxidante	0.09
Biocida	0.05
TOTAL	100

Fuente: elaboración propia, con base en EMPRESA PINTURAS TONNER

4.2.2 Óxido-reducción. Para la realización de esta fórmula, se tuvo en cuenta el trabajo de grado de Mercado, en donde se usó un iniciador oxidante y un iniciador reductor, cuyo objetivo es el de realizar la ruptura del doble enlace de monómero y generar radicales libres, para así obtener una reacción exotérmica. El objetivo del iniciador reductor es reducir la generación de radicales, respectivamente; como se explicó en el capítulo de materias primas¹¹³.

El primer proceso para la realización de esta fórmula, es la elaboración de la semilla, la cual está compuesta por agua, antiespumante, alcohol polivinílico, vinil acetato, iniciador oxidante e iniciador reductor; el proceso se realiza de la siguiente manera:

Se cargó al reactor agua y antiespumante, consecutivamente se procedió a calentar el reactor hasta llegar a una temperatura de 66°C, alcanzada esta temperatura se agregó el alcohol polivinílico.

Después de agregar el alcohol polivinílico se procedió a seguir calentando hasta llegar a una temperatura de 80°C manteniendo así esta temperatura durante 30 minutos, generando que la mezcla de agua, alcohol polivinílico y antiespumante estuviera perfectamente mezclada.

Para garantizar que la viscosidad del alcohol polivinílico que se acabó de hacer cumpliera con los rangos de viscosidad esperados se procedió a agregar el agua de ajuste. Luego se agregó el regulador de pH y el agente tenso activo. Después se

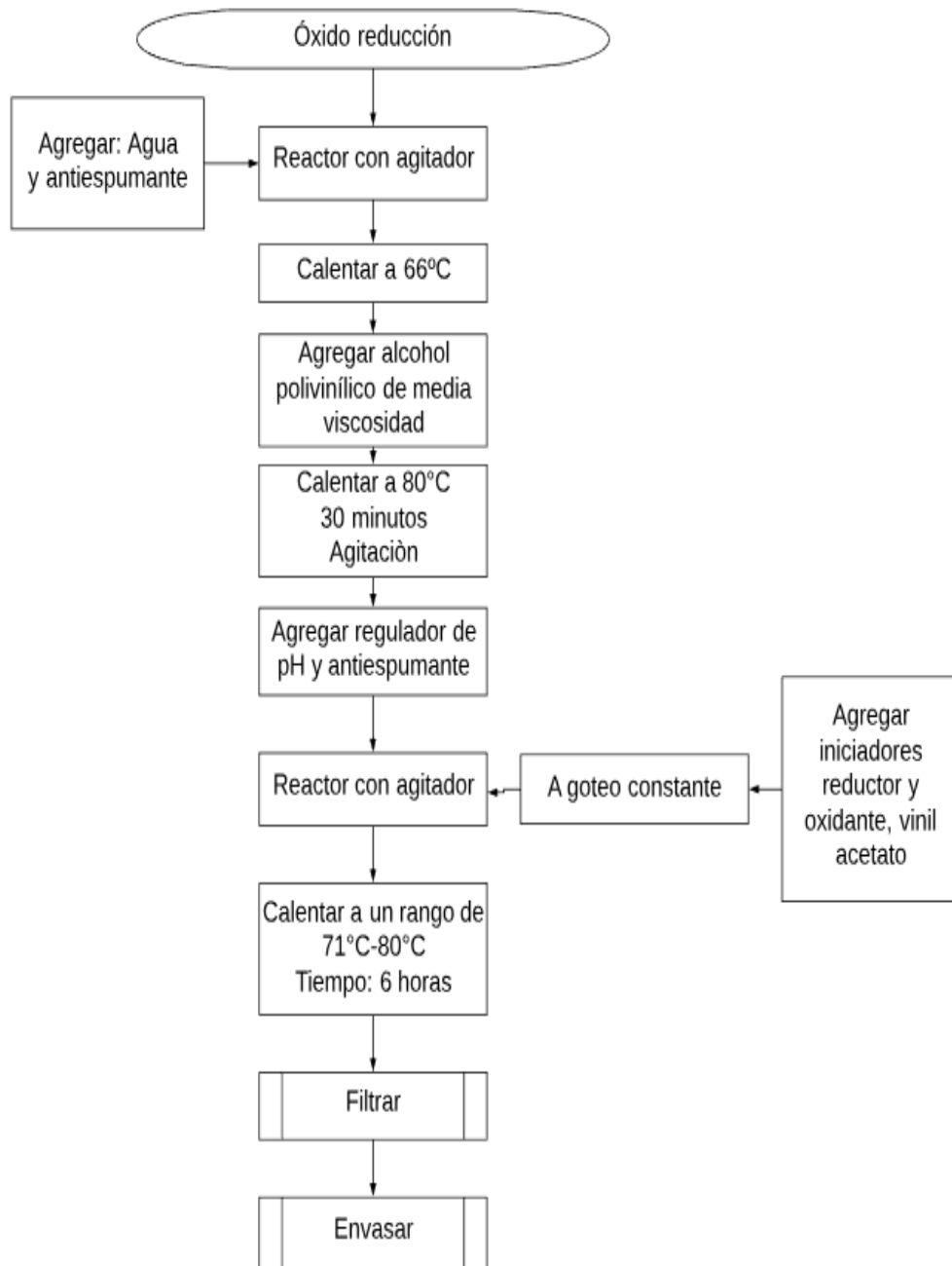
¹¹³ MERCADO, op. cit, p. 11

procedió a dejar enfriar el reactor hasta alcanzar una temperatura de aproximadamente de 62°C; alcanzada esta temperatura se añadió un 5% de Vinil Acetato y de iniciador, durante 30 minutos.

Una vez obtenida la semilla, se procedió a agregar el vinil acetato restante en seis horas por medio de un goteo constante y con un rango de temperatura entre 71°C hasta 80°C. Al mismo tiempo se añadió el restante de las mezclas de iniciador oxidante y agua, y la mezcla restante de indicador reductor con agua. Estos iniciadores se deben agregar al mismo tiempo que el tiempo adición del Vinil Acetato. Al finalizar este tiempo de polimerización se añadió una cantidad de biocida.

Para garantizar que la emulsión no contenga grumos productos del proceso, se filtró por medio de una malla la emulsión lo cual garantiza que, si en el proceso se formaron grumos para no afectar así la transparencia de la película del adhesivo desarrollado, para terminar, está emulsión final se envasa en un recipiente plástico.

Ilustración 28. Diagrama del proceso del proceso para la emulsión realizada por óxido-reducción



Fuente: elaboración propia

Los porcentajes de esta fórmula, se pueden observar en la siguiente tabla:

Tabla 24. Porcentajes de fórmula, óxido reducción

Componente	Porcentaje (%p/p)
Agua	32.63
Alcohol Polivinílico	18.55
Antiespumante	0.56
Biocida	0.13
Regulador de pH	0.06
Vinil acetato	47.86
Iniciador oxidante	0.12
Iniciador reductor	0.06
TOTAL	100

Fuente: elaboración propia, con base en EMPRESA PINTURAS TONNER

4.2.3 Óxido-reducción con semilla obtenida a partir de una emulsión polivinílica. Para elaborar esta fórmula se siguió el trabajo de grado de Reyes, el cuál uso como semilla una emulsión finalizada¹¹⁴; para seguir este proceso, primeramente, se cargó al reactor agua y antiespumante, seguidamente se procedió a calentar el reactor hasta llegar a una temperatura de 66°C, alcanzada está temperatura se agregó el alcohol polivinílico.

Después de agregar el alcohol polivinílico se procedió a seguir calentando hasta llegar a una temperatura de 80°C manteniendo así está temperatura durante 30 minutos, generando que la mezcla de agua, alcohol polivinílico y antiespumentante estuviera perfectamente mezclada; luego se agregó el agua de ajuste.

Una vez finalizado este proceso, se adiciono al reactor vacío la semilla comprada con las especificaciones modificadas mencionadas en el capítulo anterior y luego se calentó hasta 68°C con agitación constante, alcanzada esta temperatura se añadió un 5% de iniciadores oxidantes y reductores.

Luego se procedió a agregar el vinil acetato restante, el alcohol polivinílico restante y la mezcla restante de iniciadores oxidantes y reductores en forma de goteo constante durante cuatro horas con un rango de temperatura entre 71°C hasta 80°C.

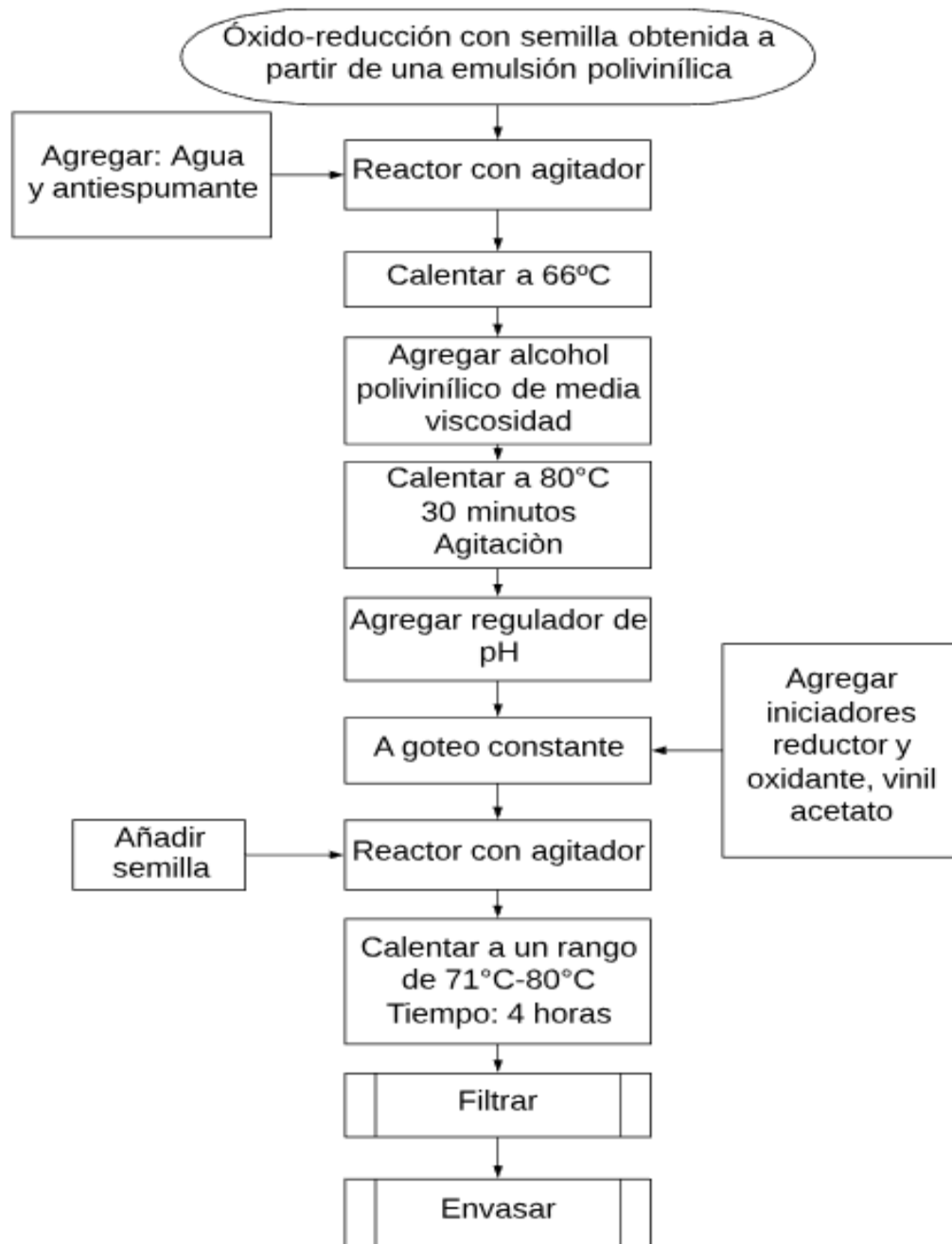
¹¹⁴ REYES, óp. cit, p. 60

Al finalizar este tiempo se procedió a bajar la temperatura hasta aproximadamente 67°C y luego se añadió una combinación de iniciador oxidante y agua cada 10 minutos durante media hora.

Al finalizar el proceso, se midió la viscosidad de la emulsión, y se ajustó con agua. Y se le agregó una cantidad de biocida.

Por último, se filtró por medio de una malla la emulsión lo cual garantiza que si en el proceso se formaron grumos se queden dentro de esta malla para no afectar así la transparencia de la película del adhesivo desarrollado, y, para terminar, esta emulsión final se envasa en un recipiente plástico.

Ilustración 29. Diagrama del proceso del proceso para la emulsión realizada por óxido-reducción con semilla obtenida a partir de emulsión polivinílica.



Fuente: elaboración propia

Los porcentajes de esta fórmula, se pueden observar en la siguiente tabla:

Tabla 25. Porcentajes de fórmula, óxido reducción con semilla obtenida a partir de una emulsión polivinílica

Componente	Porcentaje (%p/p)
Agua	39.19
Antiespumante	0.01
Regulador de pH	0.05
Alcohol polivinílico	2.80
Iniciador oxidante	0.050
Iniciador reductor	0.04
Vinil acetato	46.32
Emulsión comprada(semilla)	11.27
Biocida	0.25
Iniciador oxidante 2	0.03
TOTAL	100

Fuente: elaboración propia, con base en EMPRESA PINTURAS TONNER

4.2.4 Polimerización en masa. Para el desarrollo de este experimento, se siguió el trabajo de grado de Paulín¹¹⁵, en donde se da a conocer que para este método se deben cargar al reactor agua y antiespumante, seguidamente se procedió a calentar el reactor hasta llegar a una temperatura de 66°C, alcanzada esta temperatura se agregó el alcohol polivinílico.

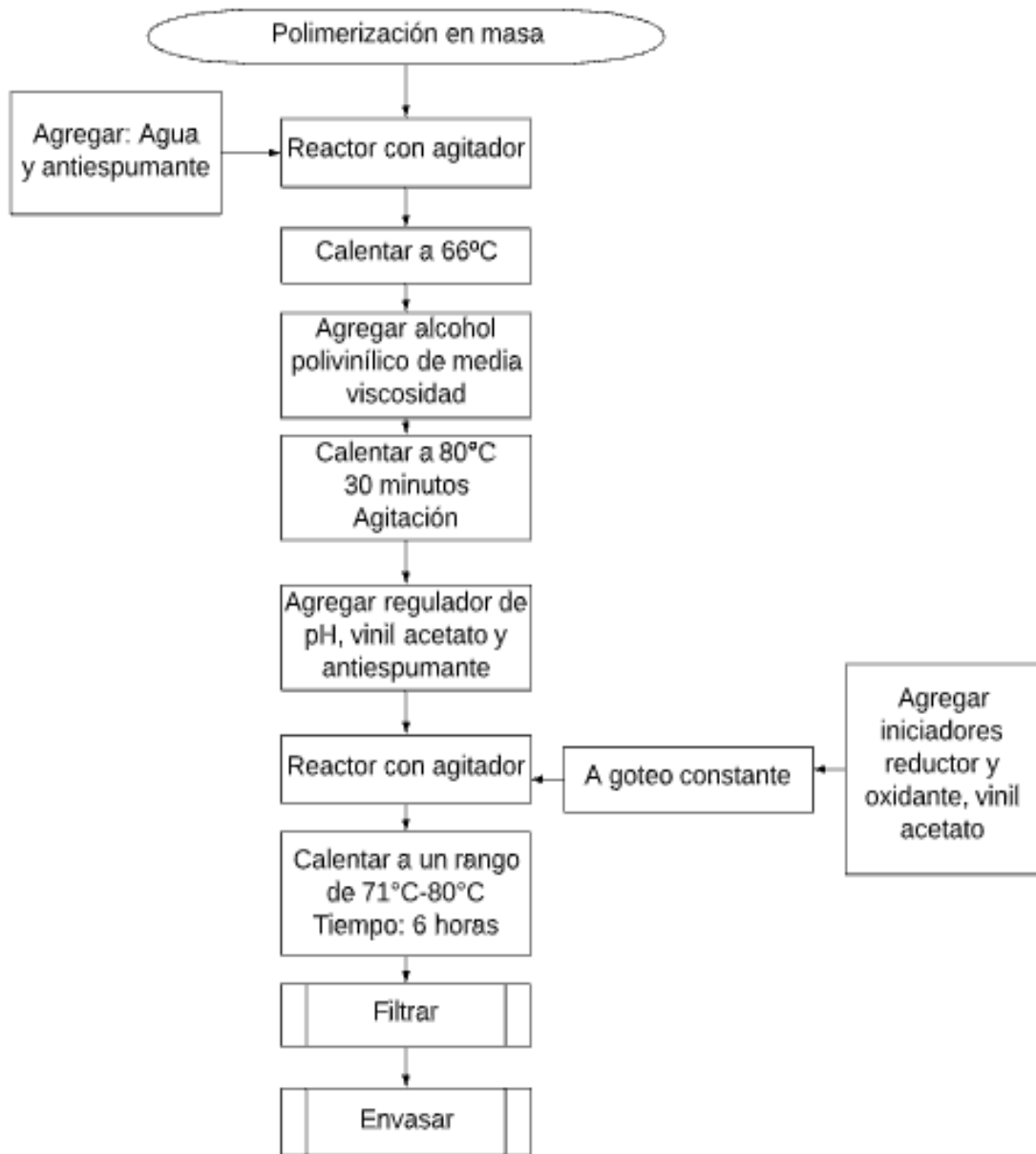
Después de agregar el alcohol polivinílico se procedió a seguir calentando hasta llegar a una temperatura de 80°C manteniendo así esta temperatura durante 30 minutos, generando que la mezcla de agua, alcohol polivinílico y antiespumante estuviera perfectamente mezclada; luego se agregó el agua de ajuste.

Una vez finalizado este proceso, se adiciona al reactor con el alcohol polivinilo, el vinil acetato con goteo constante y agitación rápida durante una hora. Ir adicionando constantemente reguladores de pH e iniciadores oxidante, durante 6-8 horas; seguir calentando hasta llegar a una temperatura con un rango de 71°C hasta 80°C.

Por último, como las demás emulsiones, se realiza una filtración para evitar grumos en la emulsión.

¹¹⁵ PAULÍN, op. cit, p. 16

Ilustración 30. Diagrama del proceso del proceso para la polimerización en masa



Fuente: elaboración propia

Los porcentajes de esta fórmula, se pueden observar en la siguiente tabla:

Tabla 26. Porcentajes de fórmula, Polimerización en masa

Componente	Porcentaje (%p/p)
Agua	46.87
Alcohol Polivinílico	2.8311
Antiespumante	0.56
Biocida	0.13
Regulador de pH	0.06
VAM	50.21
Iniciador oxidante	0.03
TOTAL	100

Fuente: elaboración propia, con base en EMPRESA PINTURAS TONNER

4.3 CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LA EMULSIÓN

Para determinar la mejor emulsión obtenida del desarrollo de experimentos, es necesario realizar un análisis de las propiedades físicas de la emulsión, teniendo en cuenta tanto la emulsión (húmeda) como la película que se obtiene de esta (emulsión seca). Una vez realizado este análisis, se procede a determinar cuál es la propiedad principal en la emulsión y luego realizar el desarrollo de experimentos.

Las propiedades físicas de la emulsión evaluadas son¹¹⁶:

4.3.1 Cantidad de sólidos no volátiles. La cantidad de sólidos no volátiles en la emulsión polivinílica se da por medio del monómero libre, es decir, el vinil acetato. La cantidad de sólidos totales varía según la fórmula utilizada en el proceso para la obtención de la emulsión; esta propiedad física de la emulsión afecta a su vez otras propiedades como lo son, la velocidad de fraguado y pegajosidad¹¹⁷.

Para la medición de esta propiedad, se tuvo en utilizó un analizador de humedad, mostrado en la ilustración 21.

¹¹⁶ MERCADO, op. cit, p. 20

¹¹⁷ HERNÁNDEZ, op. cit, p. 16

Ilustración 31. Foto final de sólidos totales.



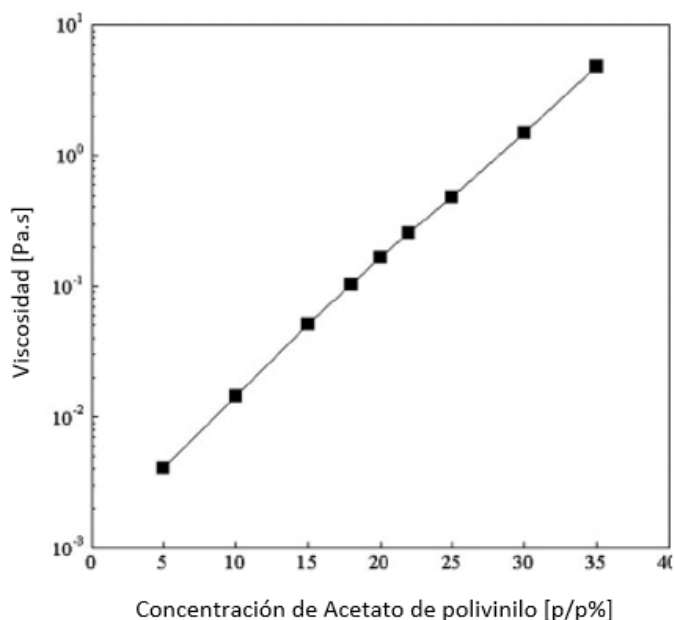
Fuente: elaboración propia

4.3.2 Viscosidad. La viscosidad en la emulsión se da por medio del tamaño de partículas; ya que si este es muy grande, aumenta los espacios intermoleculares y disminuye así su viscosidad, en cambio, si el tamaño de las partículas disminuye, se reducen los espacios intermoleculares y así aumenta la viscosidad¹¹⁸. Esta es una propiedad física, la cual determina la resistencia que la emulsión polivinílica tiene para fluir¹¹⁹, y es directamente proporcional a la cantidad de sólidos que se puede encontrar en la emulsión de acetato de polivinilo, como se muestra en la siguiente gráfica 3:

¹¹⁸ GORDILLO, op. cit. p. 15-16

¹¹⁹ MERCADO, op. cit, p. 21

Gráfica 3. Resultado de la viscosidad del acetato de polivinilo según su concentración



Fuente. ŌYANAGI, Yasuji; MATSUMOTO, Masakazu. Viscosity of moderately concentrated aqueous solutions of polyvinyl alcohol. En: Journal of Colloid Science, Vol. 17, No 5 (Jun 1962) p. 426-438.

Cabe resaltar que el alcohol polivinílico, al darle viscosidad a la emulsión, también le otorga maquinabilidad. Para determinar la viscosidad de la emulsión polivinílica, se siguió la Norma Técnica Colombiana NTC 5861¹²⁰; usando el viscosímetro Brookfield, de la ilustración 18.

4.3.3 pH. Como se dio a conocer en el anterior capítulo, el pH es importante para la estabilidad de la emulsión. Por tanto, esta se mide durante la polimerización y al final de esta.

¹²⁰ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Norma Técnica Colombiana 5861. Resinas en estado líquido o como emulsiones o dispersiones. Determinación de la viscosidad aparente mediante el método de ensayo Brookfield. Bogotá D.C. ICONTEC. 2011

Para la medición del pH se siguió la ASTM E70-07¹²¹; y se usó el potenciómetro de ilustración 19.

4.3.4 Tamaño de partícula. El tamaño de partícula determina la superficie específica del polímero, es decir que entre más pequeño sea el tamaño mayor va a ser la superficie de absorción de la emulsión, este varía según el tenso activo usado en el proceso de elaboración de emulsión y el grado de agitación.¹²²

Para las emulsiones para pinturas este factor es de vital importancia, ya que estas emulsiones absorben todas las cargas que contiene una pintura, las cuales tienen como función darle resistencia a esta.

En las emulsiones para adhesivos como tal, no tienen que absorber ningún componente, por lo tanto, este factor no es imprescindible en su medición ya que no afecta para la selección de la emulsión polivinílica.

4.3.5 Flexibilidad. Como resultado de la experimentación realizada, se puede reconocer que la flexibilidad de la emulsión puede variar de acuerdo a las tensiones moleculares que esta tenga; dicha variación se puede observar por lo quebradiza o elástica que se la película de la emulsión. Dentro de las propiedades que afectan la flexibilidad de la película se encuentran la temperatura y la agitación. Un ejemplo de una emulsión flexible se muestra en la siguiente ilustración 32, por medio de la cual se puede observar que se logró retirar la película formada sin que esta se partiera.

Ilustración 32. Flexibilidad de la emulsión



Fuente: elaboración propia

¹²¹ AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Test Method for pH of Aqueous Solutions with the Glass Electrode. ASTM International, 2015, 6 p. (ASTM E70-07)

¹²² CARBONELL, Jordi Calvo. Pinturas y recubrimientos: introducción a su tecnología. España: Ediciones Díaz de Santos, 2010. 370 p.

4.4 METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DE LOS EXPERIMENTOS

Para el desarrollo de los experimentos, se observaron primeramente los factores que afectan a una emulsión polivinílica los cuales son, temperatura y formula desarrollada en el experimento; para la temperatura se determinaron 3 valores, teniendo en cuenta las investigaciones mostradas, 71-75-80°C, ya que 71 es el inicio del rango, 75 la mitad de este rango y 80 el final del rango.

La repetitividad de cada una de las formulaciones se realizó con el fin de comprobar las características finales de cada una de las emulsiones realizadas.

Para el correcto desarrollo de los experimentos se realizaron 4 repeticiones por fórmula con su respectiva temperatura.

Para la evaluación de cada uno de los experimentos realizados, se tuvo en cuenta la cantidad de sólidos no volátiles de cada emulsión, dado a que es la variable respuesta ya que como se ha dado a conocer a lo largo del documento, ya que entre mayor sea la cantidad de sólidos, mayor cohesión, menor tiempo de fraguado y mayor capacidad de adhesión por parte del adhesivo. Esto se debe a que, si existe mayor cantidad sólidos, la cantidad a evaporar mientras se cura es menor, dando como resultado menor tiempo de curado.

Se evaluó el contenido de sólidos totales en cada experimento en el desarrollo de los experimentos, según la Norma Técnica Colombiana NTC 5861¹²³, teniendo en cuenta que dicho contenido de sólidos ha de cumplir la Norma Técnica Colombiana NTC 1703¹²⁴; la cual da a conocer los siguientes parámetros nombrados en la tabla 26 para una emulsión realizada con polivinilo acetato mostradas:

¹²³ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Norma Técnica Colombiana 5861. Resinas en estado líquido o como emulsiones o dispersiones. Determinación de la viscosidad aparente mediante el método de ensayo Brookfield. Bogotá D.C. ICONTEC. 2011

¹²⁴ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Norma Técnica Colombiana 1703. Emulsiones adhesivas a base de acetato de polivinilo (PVA). Bogotá D.C. ICONTEC. 2004

Tabla 27. Requisitos de una emulsión realizada con polivinilo acetato según la Norma Técnica Colombiana NTC 1703

Requisito	Límite
Viscosidad, en cPs	De acuerdo con el rango suministrado por el productor.
Contenido de no volátiles	De acuerdo con el rango suministrado por el productor.
pH a 25°C	3-7
Resistencia adhesiva. Resistencia al corte de bloques (compresión) secos a 24°C (unión madera-madera) en kPa	7350

Fuente: INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Norma Técnica Colombiana 1703. Emulsiones adhesivas a base de acetato de polivinilo (PVA). Bogotá D.C. ICONTEC. 2004

Teniendo en cuenta que la viscosidad y la cantidad de sólidos totales en la emulsión está dada por el productor, Pinturas Tonner suministro que estos rangos deben estar entre 2500cPs- 8000cPs y de 48% a 57% respectivamente.

Para la realización de los experimentos se usaron los siguientes equipos:

4.4.1 Reactor. Para poder realizar la experimentación, para cada uno de los diferentes métodos, la empresa Pinturas Tonner elaboró un reactor de vidrio de 2 litros, el cual se puede observar en la ilustración 34, y consta de las siguientes partes:

- Recipiente metálico, es el medio que sirve para que se realice el calentamiento por medio de una resistencia que está sumergida en un líquido dentro de la olla. Este calentamiento se utiliza para que ocurra la reacción; con el sistema de PLC instalado por la empresa permite que la temperatura se mantenga en el reactor ya que por la masa con la cual fue diseñado el reactor no es suficiente para que la reacción exotérmica se sostenga, este calentamiento se podría parecer al baño maría.
- Una termocupla, es un instrumento que permite dar a conocer la temperatura de la emulsión dentro del reactor.
- Motor de agitación: Es un instrumento que permite graduar la velocidad del agitador según las necesidades de la emulsión, esta velocidad influencia directamente la velocidad de polimerización de la emulsión.

- Agitador: Es un instrumento que está sumergido dentro de la emulsión para generar que haya un mezclado perfecto dentro de toda la emulsión y a su vez que haya suficiente velocidad en la polimerización. Este agitador está constituido de 6 aspas las cuales están giradas cada una en un ángulo de 45° para generar que haya unificación uniforme.
- Embudo de 100ml, es la entrada al reactor por la cual va a ingresar el vinil acetato (VAM) en forma de goteo constante.
- Un condensador, a medida que va aumentando la temperatura el VAM dentro del reactor empieza a tener reflujo, es decir que la reacción empieza a suceder, y para no perder la cantidad de VAM que se evapora es necesario tener el condensador que haga que vuelva a caer en forma de gotas al reactor.

Ilustración 33. Partes del reactor piloto



Fuente. Elaboración propia

Para agregar el agitador, el condensador, la bureta y la termocupla, en el montaje del reactor de vidrio se anexa una tapa de 5 boquillas, cada uno de estos instrumentos mencionados anteriormente en cada uno de las boquillas. Las boquillas sobrantes se usan para agregar los iniciadores cada uno en el tiempo indicado.

Para el desarrollo de los experimentos también se usaron balanzas digitales (ilustración 35), para medir la cantidad exacta de materias primas necesarias en cada método.

Ilustración 34. Balanzas Tipo CAS, digital



Fuente: elaboración propia

4.4.2 Desarrollo experimental. Realizando los experimentos, con las indicaciones mencionadas a lo largo de este capítulo, se dan a conocer los siguientes resultados:

Tabla 28. Resultados de contenido de sólidos, teniendo en cuenta los factores de temperatura y método de emulsiones.

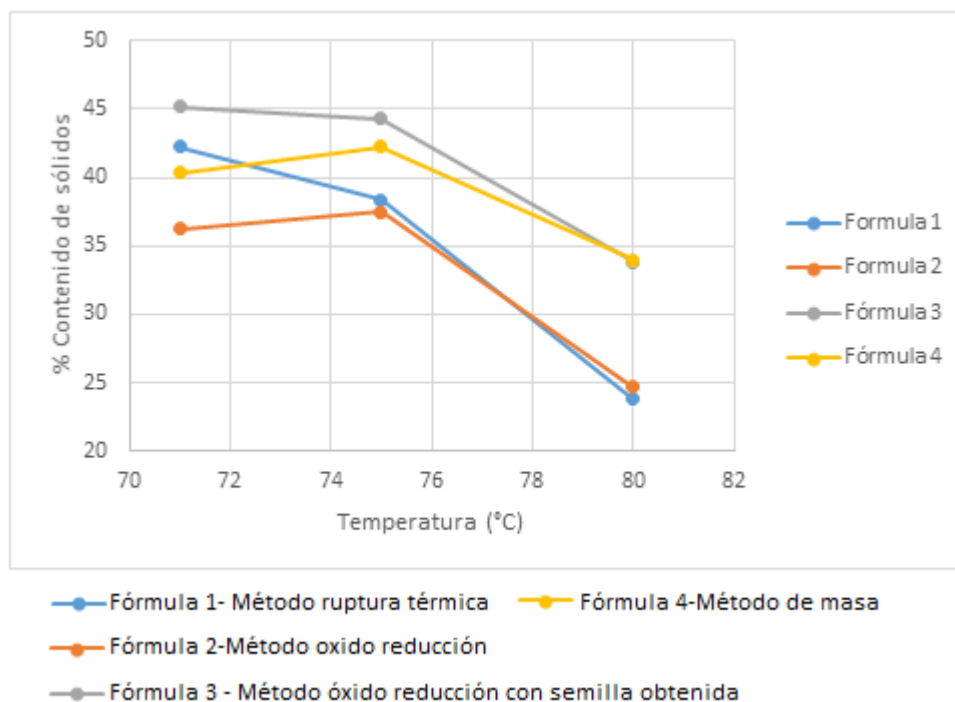
RESULTADOS DE CONTENIDO DE SÓLIDOS (%)			
Método de emulsión	Temperaturas de polimerización		
	71°C	75°C	80°C
1. Ruptura Térmica	33%	22.5%	9.58%
	39.6%	37.8%	20.5%
	39.84%	43.57%	34.6%
	47.5%	49.57%	30.54%
2. Oxido – Reducción	21.84%	21.84%	10.98%
	34.5%	34%	21.84%
	39.54%	43.73%	30.4%
	49%	50.32%	35.67%
3. Oxido – Reducción con semilla obtenida.	45.34%	31.23%	26.1%
	40.23%	40.54%	33.87%
	45.34%	53.4%	36.45%
	49.87%	52.1%	38.9%
3. Masa	34.5%	33.4%	25.6%
	33.5%	35.4%	35.6%
	46.2%	49.76%	37.89%
	47%	50.34%	36.78%

Fuente: elaboración propia

4.4.2.1 Análisis de los resultados.

Para verificar si hay una diferencia entre las 4 formulaciones, y observar la interacción entre las temperaturas de 71°C, 75°C y 80°C, se realizó la siguiente gráfica, en donde se muestra la variación del contenido de sólidos en cada una de las emulsiones y la temperatura mostradas en la gráfica 4

Gráfica 4. Variación del contenido de sólidos con respecto al cambio de temperatura para cada una de las formulaciones.



Fuente: elaboración propia.

Por medio de la gráfica 4 se puede analizar que la formulación que dio a conocer un mayor porcentaje de sólidos totales fue la denominada fórmula 3 (Oxido – Reducción con semilla obtenida); esto se debe a que la semilla permite controlar el número de partículas de la emulsión, y, al tener una emulsión polivinílica finalizada como semilla, la emulsión elaborada copia las características de la semilla esto se debe a que esta le otorga sus propiedades¹²⁵.

En dicha gráfica se puede observar que a 80°C el contenido de sólidos es menor de 48%; esto se debe a que la reacción exotérmica a esta temperatura genera que haya mayor presión en el reactor, dando como resultado que el vinil acetato no pueda ingresar al reactor de manera constante por medio de goteo.

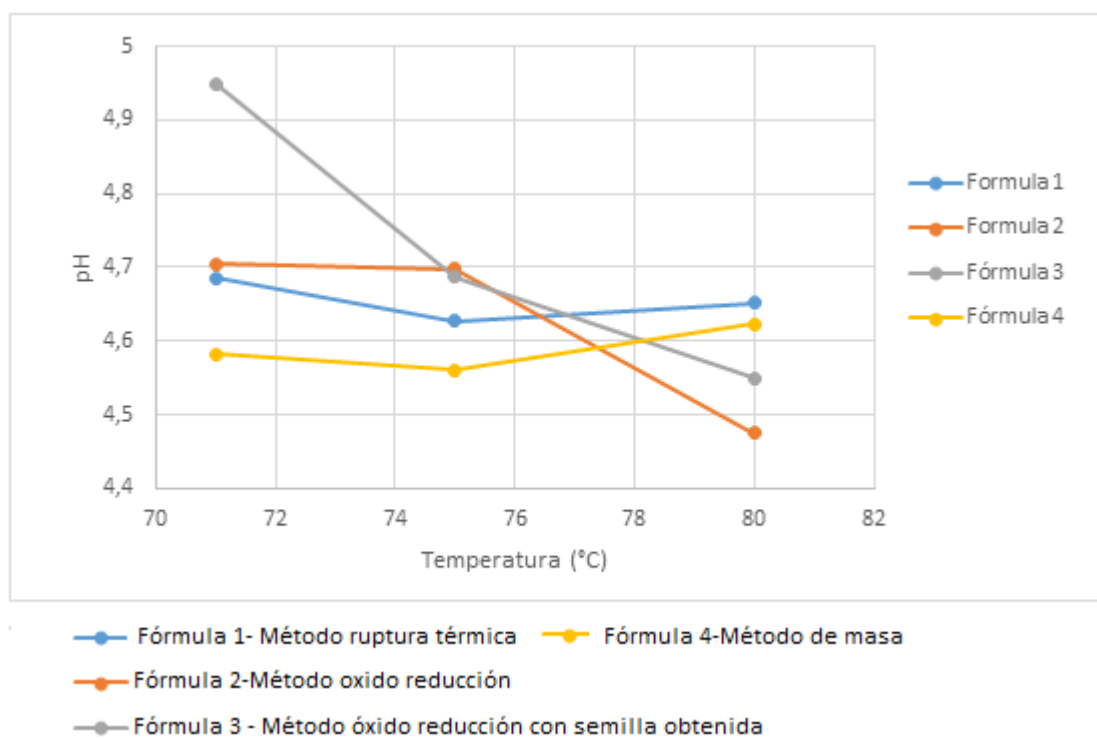
A parte de observar el contenido de sólidos totales en las emulsiones, también se procede a evaluar la viscosidad, el pH y la flexibilidad de cada una de las emulsiones realizadas; ya que por medio de estas se determina si la emulsión es apta para el

¹²⁵ CABRERA, Cristal. Preparación de nano compuestos de PS y/o PMMA incorporando nano partículas de plata mediante polimerización en mini emulsión. Saltillo, Coahuila: 2010, 172 p. Trabajo de grado (Maestro en tecnología de polímeros). Centro de investigación en química aplicada.

desarrollo del adhesivo para papel y madera, y si las propiedades de pH y viscosidad cumplen los rangos establecidos en la Norma Técnica Colombiana NTC 1703.

Primero, se evaluó el rango de pH de las 4 formulaciones siguiendo la temperatura de operación de cada una en la siguiente gráfica 5:

Gráfica 5. Resultado de pH de cada una de las 4 formulaciones con respecto al cambio de temperatura



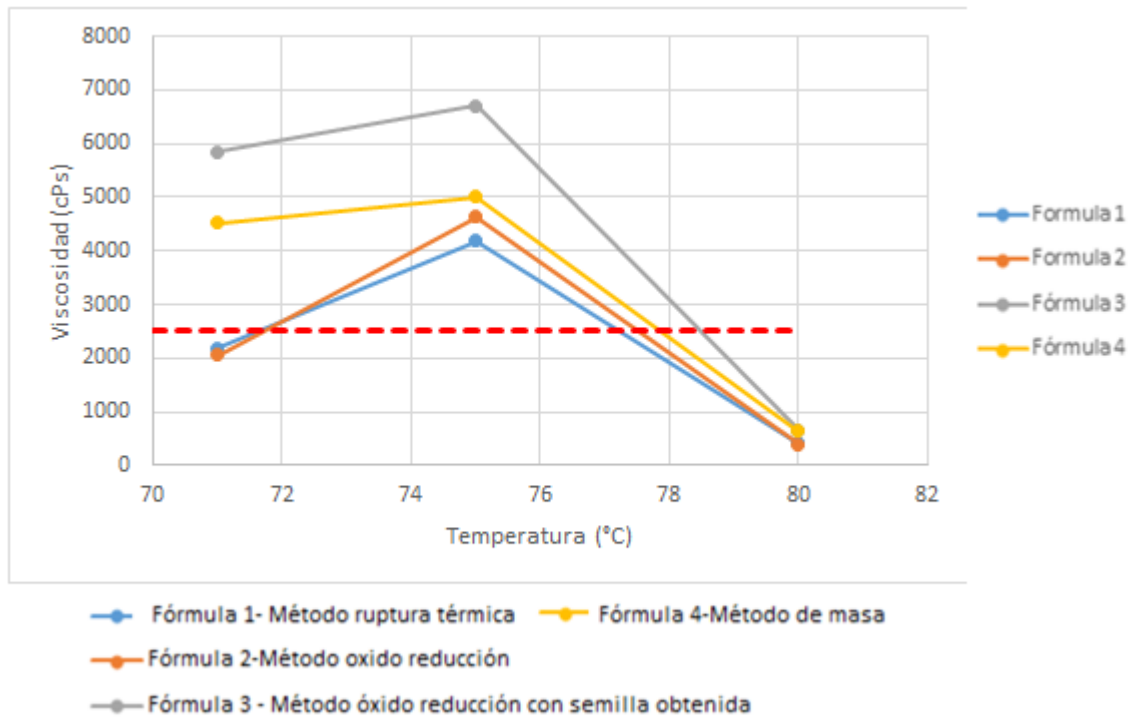
Fuente: elaboración propia

Según la Norma Técnica Colombiana NTC 1703, el rango de pH establecido para las emulsiones polivinílicas para adhesivos de madera y papel es de: 3-7. Por tanto, se puede concluir, según la gráfica de los resultados de pH de cada una de las 4 formulaciones establecidas con sus temperaturas de operación, cumplen con este rango, y, por tanto, el pH no afectó el proceso de la polimerización de cada uno de los experimentos.

Cabe resaltar que los cambios del pH varían en las emulsiones dado a que puede que durante el proceso se le hayan agregado distintas concentraciones de regulador de pH o de iniciador a la emulsión.

Después, se procede a evaluar el rango de viscosidad de las 4 formulaciones siguiendo la temperatura de operación de cada una en la siguiente gráfica 6:

Gráfica 6. Resultado de la viscosidad de cada una de las 4 formulaciones con respecto al cambio de temperatura

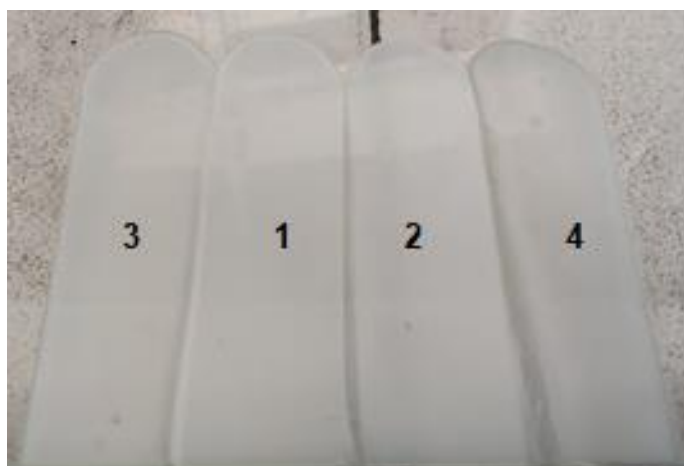


Fuente: elaboración propia

Según la Norma Técnica Colombiana NTC 1703, el rango de viscosidad establecido para las emulsiones polivinílicas para adhesivos de madera y papel es según el criterio del productor, es decir que la empresa Pinturas Tonner suministra este rango, de tal manera la empresa estableció que el rango de viscosidad estuviera entre: 2500 – 8000 cPs; y, según la gráfica de los resultados de viscosidad expuestos en la gráfica 6, cada una de las 4 formulaciones establecidas con sus temperaturas de operación para este determinado rango de temperatura.

Y, por último, se procede a evaluar la apariencia y flexibilidad de las emulsiones; las mejores películas de cada proceso se pueden observar en la siguiente ilustración 36.

Ilustración 35. Comparación de la apariencia entre las emulsiones donde 1 es la emulsión polivinílica realizada por medio de ruptura térmica, 2 es emulsión elaborada por medio de óxido reducción, 3 es emulsión obtenida por medio de óxido-reducción con semilla obtenida a partir de una emulsión polivinílica y 4 es emulsión por polimerización en masa



Fuente: elaboración propia

De izquierda a derecha las emulsiones son: fórmula 3 (emulsión obtenida por medio de óxido-reducción con semilla obtenida a partir de una emulsión polivinílica), fórmula 1 (emulsión polivinílica realizada por medio de ruptura térmica), fórmula 2 (emulsión elaborada por medio de óxido reducción) y finalmente fórmula 4 (emulsión por polimerización en masa).

En dicha ilustración se puede observar que la película de la fórmula 4 es opaca e inconsistente; y las películas de las fórmulas 1, 2 y 3 son uniformes y brillosas. Cuando se intentó despegar las películas del vidrio en el cual se aplicaron, se observó que la fórmula 4 se despegó uniformemente, y no dejó rastros; las películas de las fórmulas 1, 2 y 3 dejaron rastros en el vidrio.

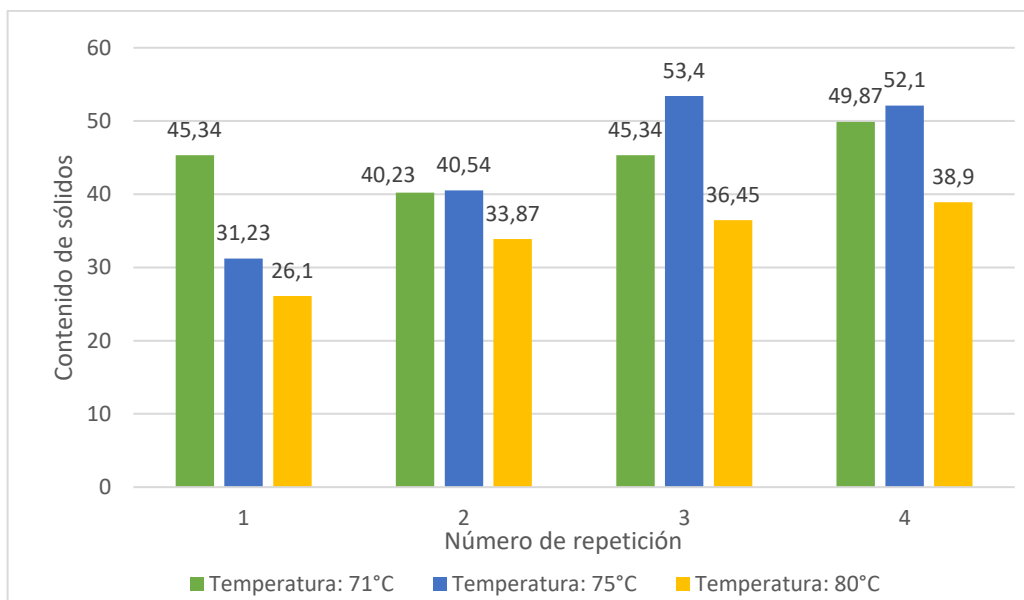
Teniendo en cuenta que la mayoría de las emulsiones cumplen con los rangos establecidos por la Norma Técnica Colombiana NTC 1703, se puede concluir que los experimentos se realizaron correctamente.

También se puede concluir que, la denominada fórmula 3, es la mejor fórmula para realizar la emulsión polivinílica para realizar el adhesivo, ya que tiene un porcentaje de sólidos totales mayor a las demás, como se muestra en la tabla 26, teniendo un rango entre 26.1 y 53.14; y como se explicó a lo largo de este capítulo este contenido

de sólidos totales le brinda la característica al adhesivo de menor tiempo de curado y de mayor propiedad de adhesión y cohesión entre el sustrato y este.

Para obtener el mejor rango de temperatura para dicha fórmula, y seleccionar la emulsión para la comparación de emulsiones para la realización del adhesivo, se procedió a observar el cambio de sólidos totales según las temperaturas siguiendo la gráfica 7

Gráfica 7. Cantidad de sólidos totales según su temperatura.



Fuente: elaboración propia

En la anterior grafica se puede observar que la temperatura óptima para la fórmula 3 está entre 71°C-75°C, debido a que se da a conocer un porcentaje de sólidos totales entre 31.23% a 53.4%; y que el mejor porcentaje de sólidos obtenido fue de 53.4%. Además, a medida que se desarrolló la experimentación se pudo observar que, a 75°C, esta fórmula tiene un reflujo estable, es decir, una liberación óptima del contenido de hidroquinona que posee el vinil acetato, y, por tanto, permite que la polimerización entre el monómero y los iniciadores.

Además, las películas obtenidas por medio de esta fórmula fueron brillosas, transparentes y menos quebradiza que las películas de las demás formulaciones, ya que, se pudo arrancar toda la película del vidrio sin dejar rastros.

4.4.3 Comparación de la emulsión comprada con la emulsión elaborada. Para comparar la emulsión escogida, la cual fue la que obtuvo un porcentaje de sólidos de 53.4%, con la comprada se procedió a realizar la caracterización explicada a lo largo del capítulo para ambas emulsiones, y se obtuvo la siguiente tabla 28:

Tabla 29. Comparación de la emulsión realizada con la comprada.

Propiedad	Emulsión comprada	Emulsión realizada
Cantidad de sólidos no volátiles	55%	53.4%
Viscosidad	3350 cPs	7345 cPs
pH	4.18	4.16
Flexibilidad	No se rompe fácilmente. No deja ningún tipo de rastro al desprender la película de la emulsión de una superficie cuando esta ya está totalmente seca.	A pesar de que la película no tiene la misma flexibilidad que la emulsión comprada, al aplicarse a una superficie, se puede desprender dicha película sin dejar rastro.

Fuente. Elaboración propia

Por medio de esta comparación, se puede determinar que la emulsión escogida es parecida a la emulsión que compra actualmente en Pinturas Tonner; teniendo una variación de 2.9% en el contenido de sólidos y de 0.047% en el contenido de pH.

A pesar de que la viscosidad si varía en un 54.39%; la emulsión sigue siendo válida para la realización de adhesivos, ya que, según la Norma Técnica Colombiana NTC 1703, la viscosidad se puede variar según el rango que determine el productor, y como dicho rango esta entre los 2500 – 8000 cPs, ambas emulsiones son válidas y pueden ser seleccionadas para la fabricación del adhesivo.

Con respecto a la flexibilidad, se puede dar a conocer que esta propiedad es mejor en la emulsión comprada, y esto es debido al proceso que se usó para la obtención de la emulsión.

5. PRODUCCIÓN DEL ADHESIVO CON LA MEJOR EMULSIÓN

En este capítulo se procede a realizar el adhesivo con la emulsión ya seleccionada en el capítulo anterior y posteriormente poder caracterizarla, con el fin de comparar este adhesivo con el adhesivo que fabrica la empresa con la emulsión comprada.

Para realizar el adhesivo utilizando la emulsión que se acaba de seleccionar es necesario desarrollarlo de la misma forma que se realiza el adhesivo en la empresa, con el fin de que no haya variaciones diferentes a las analizadas, de este modo se utilizan las mismas materias primas, que son agua, antiespumante, alcohol polivinílico (10%), base adhesiva (emulsión), plastificante y biocida.

5.1 MATERIAS PRIMAS DEL ADHESIVO

Como se dio a conocer en el capítulo dos, marco teórico, para realizar el adhesivo se necesita una base de resina sintética, un polímero secundario, aditivos y el vehículo en el cual se va a preparar el adhesivo; cada una de estas materias primas se da a conocer a continuación:

- Base de resina sintética: La base de resina sintética, en este trabajo, será la emulsión polivinílica realizada.
- Coloide protector: El cuál es el alcohol polivinílico
- Plastificante: El papel del plastificante en el adhesivo es el de mejorar la flexibilidad y ablandar la película al final del adhesivo. Los plastificantes son resinas o líquidos de bajo peso molecular, los cuales reducen los enlaces secundarios que quedan del polímero, produciendo mayor movilidad¹²⁶. Para la elaboración del adhesivo se eligió un plastificante para plásticos, los cuales casi siempre son ftalatos.
- Vehículo: Agua

¹²⁶ URIBE, Andrés Córdoba; PERILLA, Jorge A. Medina. Optimización de formulaciones de PVC flexible: sistema plastificante DOP-ESBO. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 2009, vol. 9, p. 3.

5.2 PROCESO DE ELABORACIÓN DEL ADHESIVO

Teniendo en cuenta que para comprobar el poder de adhesión de la emulsión polivinílica obtenida es necesario fabricar el adhesivo, a continuación, se da a conocer el proceso de dicha elaboración:

Ilustración 36. Realización del adhesivo.



Fuente: elaboración propia

Para la realización del adhesivo, inicialmente adiciono al reactor usado para la elaborar la emulsión polivinílica, una solución de coloide protector (alcohol polivinílico)¹²⁷.

En el proceso, primero se cargó al reactor agua y antiespumante, luego se procedió a calentar el reactor hasta llegar a una temperatura de 66°C, alcanzada esta temperatura se agregó el alcohol polivinílico de alta viscosidad.

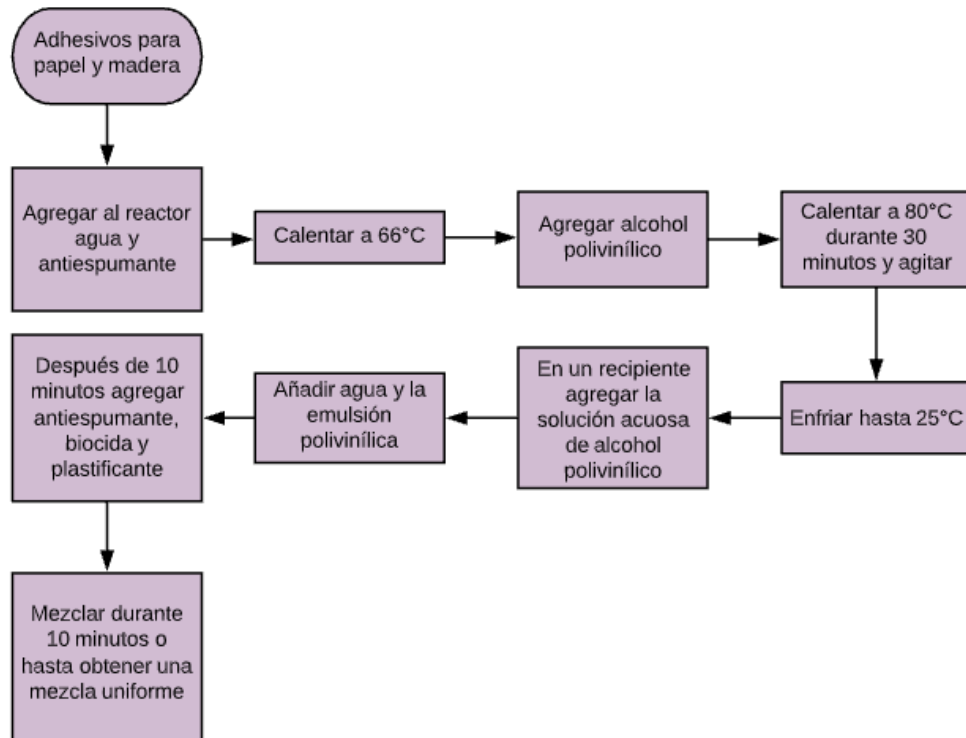
Después de esta adición se procedió a seguir calentando hasta llegar a 80°C durante 30 min. Una vez obtenida la solución de coloide protector, se procede a dejar enfriar.

Luego en un recipiente aparte se agregó el alcohol polivinílico que se acabó de realizar, la emulsión seleccionada (base adhesiva) y un 32% de agua. Ya agregado esto, se dejó mezclar por medio de un agitador mecánico, como muestra en la ilustración 34.

¹²⁷ GORDILLO, op. cit, p.9-12

Pasado 10 minutos, se agregó antiespumante, biocida y plastificante. La agitación dura hasta que se vea una mezcla homogénea. Como recomendación si el adhesivo se ve muy viscoso se procede a agregar agua.

Ilustración 37. Diagrama de flujo del proceso para la obtención del adhesivo



Fuente: elaboración propia

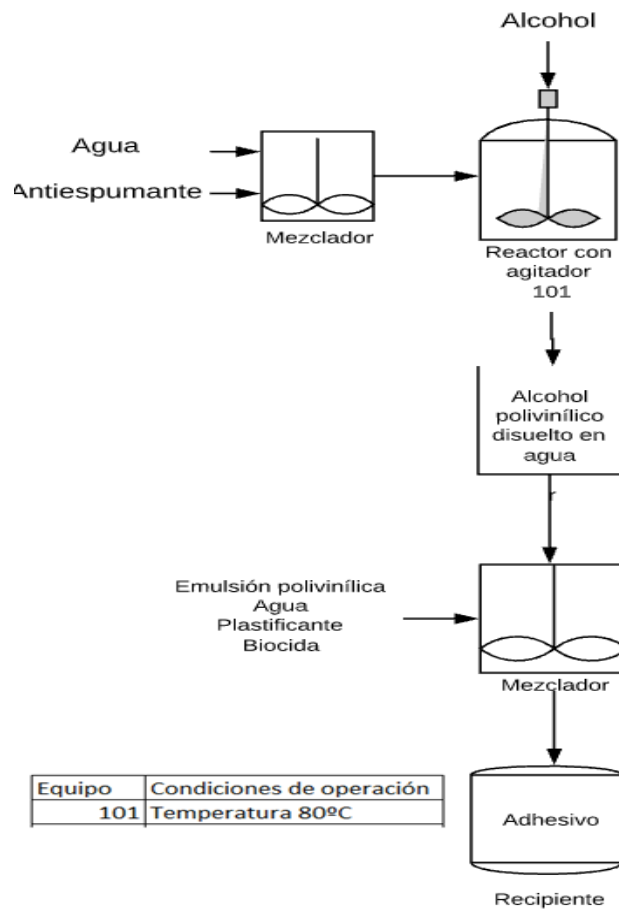
Los porcentajes de usados en el adhesivo, son los expuestos en la siguiente tabla 29:

Tabla 30. Porcentajes para la elaboración de adhesivo

Componente	Porcentaje (p/p%)
Emulsión	32%
Alcohol polivinílico con mezcla de agua	35%
Plastificantes	0.7%
Biocida	0.1%
Antiespumante	0.1%
Agua	15.1%

Fuente. elaboración propia, con base en EMPRESA PINTURAS TONNER

Ilustración 38. Diagrama de flujo del proceso para la obtención del adhesivo.



Fuente. elaboración propia

5.3 COMPARACIÓN DEL ADHESIVO REALIZADO EXPERIMENTALMENTE CON EL ADHESIVO INDUSTRIAL

Para la comparación del adhesivo realizado con el adhesivo industrial, se tuvieron en cuenta las caracterizaciones del adhesivo, con las cuales se puede determinar propiedades como viscosidad, adhesión, pegajosidad y la diferencia entre ambos adhesivos, determinando si el adhesivo realizado con la emulsión polivinílica fabricada es mejor o igual que el adhesivo fabricado actualmente en la empresa.

5.3.1 Caracterización del adhesivo. Para evaluar las emulsiones obtenidas se realizarán los siguientes análisis

5.3.1.1 Viscosidad. La viscosidad afecta en el adhesivo gracias a la facilidad de aplicación del adhesivo al tener los rangos de viscosidad que son, ya que se puede definir viscosidad como la resistencia ante otra fuerza de movimiento (velocidad de corte)¹²⁸; además, la viscosidad afecta la velocidad de fraguado, en donde, si el adhesivo es muy viscoso, el tiempo de fraguado es extenso¹²⁹. Se puede determinar que es necesario tener una viscosidad en el adhesivo realizado con emulsión polivinílica es de 22000 cPs \pm 5000cPs. Para determinar la viscosidad de la emulsión polivinílica, se siguió la Norma Técnica Colombiana NTC 5861¹³⁰; usando el viscosímetro Brookfield, de la ilustración 18

5.3.1.2 Contenidos de sólidos totales. El contenido de sólidos totales da a conocer la capacidad de adhesión que tiene el adhesivo; no tiene relación con la viscosidad, dado a que, si un adhesivo es más viscoso, no necesariamente quiere decir que este tenga mayor contenido de sólidos. Esta propiedad es muy importante en los adhesivos, ya que entre mayor poder de adhesión mayor rendimiento¹³¹. El adhesivo tiene un contenido de sólidos de 50% \pm 1¹³²

5.3.1.3 pH. Un adhesivo con una acidez alta, absorbe menos la cantidad de agua que requiere, y por tanto tiende a fijarse más lentamente en el material que se desee pegar; por tanto, se puede decir que el pH afecta la adhesión del pegamento, y por tanto este tiene que estar entre 4 y 5¹³³.

¹²⁸ PAULÍN , op. cit p. 60

¹²⁹ LIESA, op. cit p. 45

¹³⁰ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Norma Técnica Colombiana 5861. Resinas en estado líquido o como emulsiones o dispersiones. Determinación de la viscosidad aparente mediante el método de ensayo Brookfield. Bogotá D.C. ICONTEC. 2011

¹³¹ GORDILLO, op. cit, 51

¹³² GORDILLO, op. cit, 51

¹³³ GORDILLO, op, cit, 52

El pH se procedió a medirse con un potenciómetro como se muestra en la ilustración 19, siguiendo la ASTM E70-07¹³⁴

5.3.1.4 Tiempo de fraguado. El tiempo de fraguado es el período de tiempo en el cual se evapora el agua del adhesivo, permitiendo así una adherencia. No hay una medida exacta del tiempo de secado, solo se espera a que el tiempo de secado sea mínimo con respecto a otros adhesivos.¹³⁵ El contenido de sólidos, afecta en el tiempo de secado, ya que entre más sólidos tenga el adhesivo, menos tiempo de fraguado se necesitará. Para observar el tiempo de fraguado, se realizó una aplicación de la emulsión en el vidrio, y se midió la rapidez del secado con respecto a otro adhesivo, como se puede dar a conocer en la siguiente ilustración

Ilustración 39. Comparación del tiempo del secado del adhesivo realizado con el adhesivo de la empresa por medio



Fuente: elaboración propia

Esta aplicación en vidrio se realizó con la Norma Técnica Colombiana NTC 1774¹³⁶, la cual da a conocer que se debe usar un aplicador de acero inoxidable y una lámina de vidrio limpia y seca, en la cual se colocan dos gotas de la emulsión que se desea comparar (la realizada) y la emulsión de comparación (comprada), luego se

¹³⁴ AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Test Method for pH of Aqueous Solutions with the Glass Electrode. ASTM International, 2015, 6 p. (ASTM E70-07)

¹³⁵ MERCADO, op. cit 35

¹³⁶ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Norma Técnica Colombiana 1774. Materias primas para pinturas. Emulsiones homopolímeras y copolímeras. Bogotá D.C. ICONTEC. 1994

extienden las muestras en el vidrio ejerciendo presión y rapidez para que queden uniformes¹³⁷.

5.3.1.5 Formación y apariencia de película. Para la formación de película del adhesivo, también se tiene en cuenta la formación y apariencia de la emulsión polivinílica; y esto es importante por los usos del adhesivo industrialmente. La película de la emulsión se puede observar de tres maneras distintas¹³⁸:

- Transparente
- Semi opaca
- Opaca

La apariencia depende del tamaño de partícula, por tanto, depende de la agitación que se le dé a la polimerización; para dar a conocer dicha apariencia se siguió la Norma Técnica Colombiana NTC 1774¹³⁹, explicada en tiempo de fraguado.

Ilustración 40. Formación y apariencia de película



Fuente: elaboración propia

En la ilustración 40 se pueden observar la aplicación del adhesivo en la placa de vidrio, en donde el adhesivo que se desarrolla con la emulsión comprada se

¹³⁷ DÍAZ CLAROS, Mayerly Andrea. Evaluación de un sistema de recubrimiento para madera implementando una resina con formulación modificada en Preflex SA. Bogotá, 2018, 98p. Trabajo de grado (Ingeniera Química). Fundación Universidad de América. Facultad de Ingenierías.

¹³⁸ PAULÍN, op. cit, 44

¹³⁹ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Norma Técnica Colombiana 1774. Materias primas para pinturas. Emulsiones homopolímeras y copolímeras. Bogotá D.C. ICONTEC. 1994

encuentra en parte izquierda del vidrio y, la parte de la derecha, el adhesivo elaborado con la emulsión realizada. Cuando se secaron los adhesivos totalmente se dio a conocer que el adhesivo elaborado con la emulsión realizada tiene una apariencia más opaca la película del adhesivo realizado actualmente en la empresa, y es similar a la película del otro adhesivo.

5.3.1.6 Poder de adhesión o pegajosidad. Teniendo en cuenta que el poder de adhesión es la fuerza necesaria para separar dos superficies unidas después de cierto tiempo¹⁴⁰; es necesario tener en cuenta que para observar si el adhesivo tiene poder de adhesión, la superficies unidas no se deben despegar en la unión del adhesivo, si no, se debe romper alguna de las dos superficies, como se muestra en la siguiente ilustración 41, en donde el círculo negro encierra una superficie de madera arrancada por el adhesivo de la otra superficie:

Ilustración 41. Representación del poder de adhesión y cohesión en un bloque



Fuente: elaboración propia

Para medir esta propiedad se siguió la Norma Técnica Colombiana NTC 2279¹⁴¹, la cual indica que se deben formar las probetas (los bloques de madera) de las puntas de estas, como se muestra en la ilustración 42; dicha madera debe encontrarse limpia y lisa; una vez se unan los bloques de madera se procede a aplicar fuerza para resaltar la propiedad de adhesión dentro del adhesivo, y observar esto cualitativamente, por medio de la ruptura de los bloques de madera por medio de esta y no del adhesivo. Además, se midió dicha fuerza por medio del peso de la

¹⁴⁰ GORDILLO, op. cit, p. 63

¹⁴¹ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Norma Técnica Colombiana 2279. Adhesivos. Determinación de la resistencia al cizallamiento por carga compresiva de uniones adhesivas. Bogotá D.C. ICONTEC. 2008.

madera antes y después del rompimiento, comprobando que se rompió la madera, y no hubo separación del adhesivo.

Esta prueba se puede observar en la siguiente ilustración:



Ilustración 42. Prueba de pegajosidad por medio de la aplicación de una fuerza externa.



Fuente: elaboración propia

5.3.2 Comparación de los adhesivos. Se realizó cada una de las pruebas mencionadas anteriormente con el adhesivo hecho con la emulsión polivinílica escogida y con el adhesivo producido actualmente en la empresa; dichos resultados dieron:

Tabla 31. Comparación de los adhesivos

Propiedad medida	Adhesivo elaborado con la emulsión	Adhesivo elaborado actualmente
Viscosidad	23543 cPs	24000cPs
Contenido de sólidos no volátiles	28%	30%
pH	4.98	4.99
Tiempo de fraguado	31 minutos	28 minutos
Apariencia	Es transparente, aunque un poco más opaca que la película del adhesivo elaborado actualmente en la empresa; cabe resaltar que, a la hora de realizar una prueba de elasticidad de la película, esta se puede desprender fácilmente del objeto, en este caso la mano, sin dejar rastro y sin quebrarse en ningún momento.	Transparente y brillante, además no se rompe fácilmente, es decir, tiene elasticidad. Además, a la hora de realizar una prueba de elasticidad de la película, se pudo comprobar que al secarse, dicha película se desprende con facilidad del objeto, en este caso, la mano, además no se quebró en ningún momento.
Pegajosidad	Como se da a conocer en la ilustración, se desprendieron partes de la madera en la que no se aplicó el adhesivo, que es lo que se busca en un adhesivo para papel y madera.	Teniendo en cuenta que se busca remover parte de la madera en la que no se aplica el adhesivo, se puede observar que esto se cumplió
		

Fuente. Elaboración propia

Según la tabla mostrada anteriormente, la variación de las propiedades de los adhesivos es del 2% o menos, y, por tanto, se puede concluir que la definida fórmula

3 en este trabajo de grado si cumple con todos los requisitos necesarios para la elaboración de adhesivos de papel y madera en la empresa Pinturas Tonner.

A pesar de que la emulsión escogida tenía una viscosidad mayor que la comprada, en el adhesivo se puede observar que la viscosidad en el adhesivo es menor, esto se debe a la formulación del adhesivo, ya que la emulsión polivinílica solo constituye en un 30% de este y también porque este contiene un porcentaje de agua que ayuda a la disminución de la viscosidad.

Para comprobar el poder de adhesión, existe un equipo que mide la fuerza necesaria para despegar dos bloques de madera.

Para este proyecto de grado no se pudo conseguir este equipo por falta de disponibilidad, por eso, se realizó la prueba como se mostró en la tabla 30, en la cual se realizó 2 veces la aplicación del adhesivo en dos bloques de madera, en donde, se pesó inicialmente cada bloque y se procedió a realizar el procedimiento explicado en el capítulo, en donde se realizó una prueba destructiva, esta con el fin de despegar los dos bloques de maderas provocando que hubiera un rompimiento por esta madera y no por el pliegue del adhesivo. Dichos resultados se dan a conocer en la siguiente tabla 31:

Tabla 32. Comparación del poder de adhesión de los adhesivos por medio del peso inicial y final de las maderas.

Pegamento realizado en la empresa		Pegamento realizado con la emulsión polivinílica escogida	
Prueba 1		Prueba 1	
Peso inicial de las maderas	211.39g 228.43g	Peso inicial de las maderas	202.55g 161.42g
Peso final de las maderas	159.63g 280.19g	Peso final de las maderas	252.15g 111.82g
Prueba 2		Prueba 2	
Peso inicial de las maderas	200.15g 198.54g	Peso inicial de las maderas	199.34g 201.45g
Peso final de las maderas	149.25g 249.44g	Peso final de las maderas	247.54g 153.25g

Fuente. Elaboración propia

En esta tabla se puede mostrar que ambos adhesivos desprendieron partes de madera de uno de los bloques causando, que al final, uno de los bloques pesara más que al inicio; lo que demuestra que la fuerza de adhesión y cohesión o

pegajosidad es la buscada por la industria de los adhesivos para madera, y, que el adhesivo realizado con la emulsión polivinílica con sólidos del 53.4% es apto para reemplazar la emulsión comprada, ya que, hay una diferencia entre el 2 y 3% de peso una vez son despegados los bloques de madera adheridos con ambos adhesivos.

6. CONCLUSIONES

- Para la formulación de una emulsión polivinílica para adhesivos de madera y papel en la empresa Pinturas Tonner se seleccionaron las materias primas mediante revisiones de estado del arte y bibliografía. Dichas materias primas son: alcohol polivinílico como coloide protector¹⁴², agua, vinil acetato como monómero libre¹⁴³, regulador de pH con un pH mayor a 7¹⁴⁴, antiespumante orgánico¹⁴⁵ y un biocida con principio activo de etileno-bis-ditiocarbamato de sodio¹⁴⁶.
- Las mejores condiciones de operación para la polimerización en cuanto a temperatura, está entre los rangos de 71-75°C; y la mejor formulación es la denominada fórmula 3 en este trabajo, óxido-reducción con la semilla obtenida a partir de una emulsión, es la mejor fórmula, dado a que las características de viscosidad, pH y contenido de sólidos totales cumplen con los rangos establecidos por la Norma Técnica Colombiana NTC 1703.
- Al realizar una comparación entre las emulsiones polivinílicas, la producida con la formulación obtenida y la comprada actualmente por la empresa, se pudo observar que ambas emulsiones cumplen con la Norma Técnica Colombiana NTC 1703, ya que la viscosidad, pH y el contenido de sólidos totales obtenidos en cada una de estas emulsiones son de: 3350 cPs, 4.18 y 55% de la emulsión que compra la empresa, y 7345 cPs, 4.16 y 53.4% de la emulsión realizada en este Trabajo de Grado.

Además, se puede anotar que la emulsión elaborada si puede reemplazar a la emulsión comprada por Pinturas Tonner, ya que tiene una variación de 2.9% en el contenido de sólidos y de 0.047% en el contenido de pH, lo cual le da similitud con el adhesivo comprado por Pinturas Tonner.

- En relación con la comparación del adhesivo obtenido en este trabajo de grado y el elaborado actualmente en la empresa, se pudo observar que la viscosidad, el pH, contenido de sólidos totales, y tiempo de fraguado tienen una variación del 2%; esto quiere decir, que las propiedades de ambos

¹⁴² ÁLVAREZ, op. cit, p. 37-44

¹⁴³ SANTIANA, op. cit. p.53

¹⁴⁴ GALLARDO, op. cit. p. 45

¹⁴⁵ ROJAS, op. cit, p. 4

¹⁴⁶ CASTILLO, op. cit. p. 65

adhesivos son parecidas, y, por tanto, es factible seleccionar la emulsión polivinílica realizada con la denominada fórmula 3 en este trabajo de grado.

En relación con el poder de adhesión del adhesivo, se puede dar a conocer que ambos adhesivos guardaron la resistencia debida, ya que las superficies despegadas no se rompieron por la superficie de pegado, sino que, se rompieron en la estructura de los bloques por la madera, dando a conocer que el adhesivo de la formulación 3 tiene una gran capacidad adherente.

7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda a la empresa mejorar el reactor piloto para disminuir errores a la hora de elaborar los experimentos en el laboratorio, ya que, en la mitad del proceso de polimerización, la presión generada por la reacción no permitía la adición manual de los monómeros y de los indicadores; por dicha razón, es necesario que estas adiciones se realicen usando bombas que ingresen los iniciadores y el Vinil Acetato.
- Con el fin de aumentar la disipación del monómero libre dentro del reactor se recomienda agregar más aspas al agitador ya que cuando se empieza la adición de este monómero se observó una separación de fases entre la fase continua y el monómero que ingresa al reactor. Este problema prevalecía hasta que el volumen de la emulsión alcanzaba otra aspa del agitador.
- Realizar un análisis financiero para determinar con certeza la utilidad que genera la elaboración de emulsiones polivinílicas en la empresa Pinturas Tonner.
- Se recomienda a futuros estudiantes realizar un escalamiento a planta piloto de la elaboración de emulsiones polivinílicas.
- También se recomienda a futuros estudiantes realizar un diseño de experimentos siguiendo la denominada fórmula 3, variando así el porcentaje de iniciadores.

BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Test Method for pH of Aqueous Solutions with the Glass Electrode. ASTM International, 2015, 6 p. (ASTM E70-07)

ARANBERRI, I. Elaboración y caracterización de emulsiones estabilizadas por polímeros y agentes tensioactivos. En: *Revista iberoamericana de polímeros*. Vol. 7, No 3 (ago. 2006), p. 211-231.

ARBELÁEZ RUIZ, Nathalia Cecilia. Modelamiento, simulación y propuesta de un esquema de control regulatorio de un reactor semibatch para la producción de poli vinil acetato. Bogotá, 2014, 131 p. Tesis Doctoral (magíster en Ingeniería Química) Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingenierías.

ÁLVAREZ, Ruth. Alternativa ecológica en la obtención de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca dulce. En: *Agrollanía*. Vol. 14, No 12 (ene-dic, 2017); Pág. 37-44

ALVARADO AYALA, Álvaro Miguel; AGUAS ACERO, Alejandra. Desarrollo de una propuesta para la producción y evaluación de un adhesivo a partir de almidón de papa a nivel de laboratorio. Bogotá, 2018, 144 p. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Fundación Universidad de América. Facultad de Ingenierías.

BAILEY, Alton Edward. Aceites y grasas industriales. Tennessee: Reverté, 2001. p. 266

CARBONELL, Jordi Calvo. Pinturas y recubrimientos: introducción a su tecnología. España: Ediciones Díaz de Santos, 2010. 370 p.

CARBONELL, Jordi Calvo. Pinturas y barnices: Tecnología básica. España: Editorial Ediciones Díaz de Santos, 2014. vol. 1, 73p.

CASTILLO SAAVEDRA, Silvia; PELÁEZ ESPINAL, Cristian Franklin. Efecto biocida de Bactol Q, Proquat DDAC 52 y Procide BC 80030H sobre microorganismos del jugo de *Saccharum officinarum* "caña de azúcar" de la Agroindustria San Jacinto SAA. Trujillo, Perú, 2018, 71p. Trabajo de grado (Biólogo-Microbiólogo). Universidad Nacional de Trujillo. Facultad de ciencias biológicas.

CASTRO DE ESPARZA, María Luisa, et al. Parámetros físico-químicos que influyen en la calidad y en el tratamiento del agua. En *Curso Taller sobre Control de Calidad Analítica*. CEPIS, 1987. p. 1-72.

CIRELLI, Alicia Fernández. El agua: un recurso esencial. En: *Química viva*. Vol. 11, No 3 (dic 2012) p. 147-170.

CORTÉS HERNÁNDEZ, Mayra. Síntesis y caracterización de polímeros vía radicales libres usando xantatos. Pachuca de Soto, 2006, 100 p. Trabajo de grado (licenciado en Química) Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

CREMLYN, Richard James William. *Agrochemicals: Preparation and mode of action*. Gran Bretaña: Wiley, 1991. 406 p.

CRUZ ALCALDE, Alberto. Optimización de pinturas decorativas base agua mediante aditivos dispersantes y espesantes. España, 2014, 125 p. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona.

DÍAZ CLAROS, Mayerly Andrea. Evaluación de un sistema de recubrimiento para madera implementando una resina con formulación modificada en Preflex SA. Bogtá, 2018, 98p. Trabajo de grado (Ingeniera Química). Fundación Universidad de América. Facultado de Ingenierías.

EBNESAJJAD, Sina; LANDROCK, Arthur H. *Adhesives technology handbook*. Third Edition. William Andrew, 2014. 2 p.

ERBIL, Yildirim H. Vinyl acetate emulsion polymerization and copolymerization with acrylic monomers. Boca Raton; CRC press, 2000. 336p.

ECHEVERRI, Claudia Elena; VALLEJO, Catalina; LONDOÑO, Marta Elena. Síntesis y caracterización de hidrogeles de alcohol polivinílico por la técnica de congelamiento/descongelamiento para aplicaciones médicas. Revista: EIA, vol. 6, No 12 (jul-dic, 2009), p. 59-66.

EMIS University. 2019 {en línea}. {20 agosto de 2019} disponible en: (<https://ezproxy.uamerica.edu.co:2088/php/companies/index/competitors?pc=CO&cmpy=1209285>)

EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ EAAB: ES.P. Certificación Sanitaria de la calidad del agua para consumo humano de la EAAB - E.S.P. - Enero - Junio 2019 {en línea}{6 de febrero de 2020} disponible en: https://www.acueducto.com.co/wps/html/resources/2019L/calidad_agua/19_09_19/CERTIFICACION_SANITARIA_CALIDAD_DEL_AGUA_EAAB-ESP_BOGOTA_Ene-Jun_2019.pdf

FARÍAS, Mancilla. OLMEDO, Jorge. PÉREZ, Francisco. HERNÁNDEZ, Claudio. VEGA, Alejandro. ZARAGOZA, Armando. Desarrollo de látexes acrílicos vía emulsión con Tg baja, para aplicación en recubrimiento. No 170. Chihuahua, México: Centro de investigación en materiales avanzados S.C., 2013.

FRED, Wallace; BILLMEYER, J. R. Ciencia de los polímeros. Barcelona: Editorial Reverté SA, 2004, vol. 2, 10-30p.

GALLARDO RODRÍGUEZ, Andrés Eduardo. Desarrollo de una emulsión adhesiva de acetato de polivinilo de baja viscosidad a partir de una base de alcoholes polivinílicos. Valencia, 2018, 107p. Trabajo de grado (magíster en Ingeniería de Procesos). Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería

GENERALOVA, Alla. ZUBOV, Vitalii. Design of polymer particle dispersions (latexes) in the course of radical heterophase polymerization for biomedical applications. En: Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, vol. 166, (jun. 2018) p. 303-322.

GORDILLO VINUEZA, Gilda Graciela. Caracterización y comparación de adhesivos a base del vinil acetato PVA-3025 y EA-8319 de la planta Akzonobel Ecuador. Quito, 2015, 343p. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Universidad Central de Ecuador. Facultad de Ingeniería Química.

GTM. Dicromato de sodio. {en línea}. {Consultado el 21 de agosto de 2019}. Disponible en: (<http://www.gtm.net/images/industrial/d/DICROMATO%20DE%20SODIO.pdf>)

Google maps. {En línea.} {6 de febrero de 2020} disponible en: <https://goo.gl/maps/bSA8qyiCj4BcHEPJ6>

HERNÁNDEZ, Efrén, et al. Caracterización del alcohol polivinílico usado en recubrimientos de base acuosa. En: *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, vol. 38, No 2 (Ene.- dic. 2007), p. 15-25.

HERNÁNDEZ DEL MORAL, Andrea. Germinación y crecimiento vegetativo al aplicar extracto de hoja de gobernadora (*Larrea tridentata*)/Hernández del Moral, Andrea. México, 2012, 48p. Trabajo de grado (Ingeniero Agrónomo Especialista en Zootecnia). Universidad Austral de Chile. Facultad de ciencias de Ingeniería.

INDUSTRY, Vam. Planta de producción de acetato de vinilo. 2016. {en línea} {4 mayo 2019} disponible en (https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/148700/TFG_VamIndustry_v01.pdf)

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Compendio de normas para trabajos escritos NTC 1486-6166. Bogotá D.C.: El instituto, 2018. ISBN 9789588585673 153p.

_____. Norma Técnica Colombiana 5861. Resinas en estado líquido o como emulsiones o dispersiones. Determinación de la viscosidad aparente mediante el método de ensayo Brookfield. Bogotá D.C. ICONTEC. 2011

_____. Norma Técnica Colombiana 3305. Plásticos. Muestreo y evaluación de los plastificantes utilizados en los plásticos Bogotá D.C. ICONTEC. 2011

_____. Norma Técnica Colombiana 2279. Adhesivos. Determinación de la resistencia al cizallamiento por carga compresiva de uniones adhesivas. Bogotá D.C. ICONTEC. 2008.

_____. Norma Técnica Colombiana 1703. Emulsiones adhesivas a base de acetato de polivinilo (PVA). Bogotá D.C. ICONTEC. 2004

_____. Norma Técnica Colombiana 2790. Maderas. Adhesivos. Métodos de ensayo para la determinación de la viscosidad. Bogotá D.C. ICONTEC. 1990

JANICES, Amaia Butrón; KATIME, Issa. Cinética de polimerización de sistemas bicomponentes. En: *Revista Iberoamericana de Polímeros*, Vol. 15, No 6 (nov, 2014), p. 346-375.

KOSEGARTEN-CONDE, C. E.; JIMÉNEZ-MUNGUÍA, M. T. Factores principales que intervienen en la estabilidad de una emulsión doble. *Revista: Temas selectos de Ingeniería de alimentos*, vol. 6, No. 2 (2012), p. 1-18

LEIZA, José R. PINTO, José C. Handbook of polymer reaction Engineering. Weinheim: *John Wiley & Sons*, 2008, p. 315-56.

LIESA, Francisco; ALTER, Luis Bilurbina; BILURBINA, Luis. Adhesivos industriales. Barcelona: S.A. Marcombo, 1990, 128p.

LÓPEZ, C. Modelo de estabilidad de emulsiones poliméricas. Bogotá, 2011, 180 p. Tesis Doctoral (magíster en Ingeniería Química). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingenierías.

MAZO, Paula; RIOS, Luis A.; RESTREPO, Gloria. Síntesis de microcápsulas de poli urea a partir de aminas renovables, mediante doble emulsificación. En: *Polímeros*, Vol. 21. No 2 (sep. 2011), p. 123-130.

MERCADO ORTEGA, Mirna Luz. Obtención y caracterización de una emulsión acrílica para su uso en la fabricación de recubrimientos para madera. Bogotá, 2015, 77p. Tesis Doctoral (magíster en Ingeniería Química). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería.

MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución Número 2115. {en línea}{6 de febrero de 2020} disponible en:

https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Res_2115_de_2007.pdf

ODIAN, George. Principles of polymerization. Nueva York: John Wiley & Sons, 2004. 100p.

ŌYANAGI, Yasuji; MATSUMOTO, Masakazu. Viscosity of moderately concentrated aqueous solutions of polyvinyl alcohol. En: Journal of Colloid Science, Vol. 17, No 5 (Jun 1962) p. 426-438.

PADILLA CALUÑA, Alex Patricio. Diseño de un reactor para la fabricación de resinas vinílicas utilizadas en la elaboración de colas blancas en la Empresa Pintuglobal del cantón Mocha. Riobamba, 2017, 86p. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

PAULÍN, Fausto Miranda. *Diseño de un reactor para polimerizar en emulsión acetato de vinilo*. México, 1960, 79 p. Tesis Doctoral (Ingeniero Químico Industrial). Instituto Politécnico Nacional.

PEREIRA, Juan. Estado del arte sobre efecto de los alcoholes en las propiedades interfaciales de los surfactantes. En: *Revista INGENIERÍA UC*, Vol. 19. No 2 (may - ago. 2012), p. 76-85.

PUERTO, Marta Sameño; SÁNCHEZ, Rosario Villegas; ROWE, Jorge García. Inventario de la vegetación y estudio de la interferencia biocida con los materiales pétreos del yacimiento del Cerro de la Plaza de Armas de Puente Tablas (Jaén). Revista: *PH: Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*. Vol. 4, No 14 (mar, 1996), p. 67-74.

RAMACHANDRAN, Vangipuram Seshachar. Handbook of thermal analysis of construction materials. William Andrew, 2002. 680 p.

RAMIS JUAN, Xavier. Estudio de la eficiencia de sistemas químicos del curado de resinas de poliéster insaturado. Barcelona, 1994, 338p. Tesis doctoral (doctor en ciencias químicas) Universitat Politècnica de Catalunya.

RESENDIZ, Juan Roberto Herrera. Polimerización del acetato de vinilo en microemulsiones aniónicas pseudoternarias estabilizadas con un alcohol de bajo peso molecular como cosurfactante. Saltillo, Coahuila, 2002, 137 p. Trabajo de grado (doctorado en polímeros). Centro de Investigación en Química Aplicada.

REYES PALMA, Agustin. Formulaciones y condiciones de operación para la preparación de látices vinil-acrílicos. Saltillo, Coahuila: 2007, 70 p. Tesis Doctoral (ingeniería de procesos de polimerización). Centro De Investigación En Química Aplicada.

ROJAS, M., Mecanismos de acción de los aditivos utilizados en cementación de pozos. {en línea} {20 agosto de 2019} disponible en: https://www.researchgate.net/profile/George_Quercia_Bianchi/publication/269692092_Mecanismos_de_accion_de_los_aditivos_utilizados_en_cementacion_de_pozos/links/5491d7e70cf2484a3f3e0603.pdf

SANDI, A. Fabrication and Characterization of Monodisperse Polystyrene Latex (PSL) with Various Diameters. {En línea} {21 julio de 2019} disponible en: (<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/367/1/012015/pdf>)

SAJJADI, Shahriar. Particle formation under monomer-starved conditions in the semibatch emulsion polymerisation of styrene. Part II. Mathematical modelling. En: Polymer. Vol. 44. No 1 (Jun. 2003); p. 223-237

SANDI, A. Fabrication and Characterization of Monodisperse Polystyrene Latex (PSL) with Various Diameters. {En línea} {21 julio de 2019} disponible en: (<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/367/1/012015/pdf>)

SÁNCHEZ MARTÍNEZ, Osiris. Evaluación técnica de adhesivo alternativo, Acetato de Polivinilo PVA almidón de yuca, utilizado en la unión de cintas de bambú para la conformación de madera de prensada. Santa Clara, Cuba, 98p. Trabajo de grado (Ingeniero civil). 2010. Universidad Central" Marta Abreu" de las Villas. Facultad de Construcciones.

SEYMOUR, Raimond B.; CARRAHER, Charles E. Introducción a la química de los polímeros. Florida: Reverté, 1995, 31 p.

THONG, Chiachia, LEE TEO, Delsye, NG, Chee Khoon. Application of polyvinyl alcohol (PVA) in cement-based composite materials: A review of its engineering properties and microstructure behavior. Revista: Construction and Building Materials, Vol. 107, (Mar, 2016) p. 172-180.

VILLANUEVA, Yahuana; FFER, Yenny. Elaboración de pinturas látex vinil-acrílicas. Lima, 2006, 83 p. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Química y Textil.

ANEXOS

ANEXO A.

FICHAS TÉCNICAS DE MATERIAS PRIMAS

- Ficha técnica biocida



CERTIFICADO DE ANALISIS

PRODUCTO: PROCIDE 1.5
LOTE: 045497-19
FECHA DE FABRICACION: 2019-04-09

ANALISIS	ESPECIFICACIONES	RESULTADOS
APARIENCIA	Líquido claro	CUMPLE
INGREDIENTE ACTIVO %	MIN: 1.5 - Max: 100	1.83
pH DIRECTO	MIN: 1.5 - Max: 3	2.30

OBSERVACIONES

Fecha de Vencimiento: 2021-04-08 (Bajo optimas condiciones de almacenamiento)

En la remision del producto puede aparecer una letra antepuesta al lote, la cual es de uso interno de Protecnic Ingenieria.

APROBADO POR:

Jessica Olave
Direccion I&D y Calidad

www.protecnicaing.com

Tel: (57) 2 6902828
Carrera 34 No. 13 - 150
Arroyohondo - Yumbo

- Ficha técnica antiespumante

SOLENIS	NF-0011	CERTIFICADO DE CALIDAD		23 MAY 2019 No	4147
	Dueño de Proceso:	ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD		miércoles, 22 de mayo de 2019	
Fecha Edición:	03/11/2014	12/08/2009	Aprobado Por:	Dirección Técnica	
Fecha Revisión:	03/11/2014	28/05/2014	Revisado Por:	Asistente Técnica	
Versión:	6				

CUENTE	PINTURAS TONNER Y CIA. LTDA	
NIT	800171079	03/11/2014
ORDEN DE COMPRA	21094	FABRICACION 15/05/2019
PEDIDO INTERNO	4973	VENCIMIENTO 09/05/2020
PRODUCTO	INDOL NDW/TAMBOR X 180 KG	
CODIGO	20052	
CANTIDAD		

LOTE INTERNO	905039	ORDEN DE PDN	1847
--------------	--------	--------------	------

PROPIEDADES	ESTANDAR	RESULTADO	METODO
% Volátiles (110°C por 15 minutos)	Max. 2.0 %	0.73	NI-0027
Aspecto	Líquido Viscoso Opaco	Idem	VISUAL
Color	Amarillo	Idem	VISUAL
Solubilidad al 10% en agua	Dispersión	Idem	VISUAL
Valor Ácido	Max. 7.0	5.59	NI-0079
Viscosidad 25°C Agua No. 3 a 12 RPM	Min. 400	4900P	NO-0002

SOLENIS COLOMBIA SAS, GARANTIZA LA VIDA ÚTIL DEL PRODUCTO, SOLO SI EL PRODUCTO HA SIDO GUARDADO BAJO LAS CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO INDICADO EN SU HOJA DE SEGURIDAD Y SI SE ENCUENTRA SELLADO Y EN SU ENVASE ORIGINAL.

125°C → 1/2 hora 11/05/19
→ 2h

Elaborado Por: _____
ANALISTA CONTROL CALIDAD

- Ficha técnica semilla

preflex



CERTIFICACIÓN DE ANÁLISIS

PRODUCTO: RESIFLEX H 55 TON

LOTE: 502

FECHA DE ANÁLISIS: ABRIL 15/ 2019

Estos datos indican los resultados de control realizados sobre una muestra representativa del lote y no eximen al cliente de realizar sus controles y análisis en la recepción de este producto

ANÁLISIS REALIZADO	RESULTADOS ANALÍTICOS	ESPECIFICACIONES
APARENCIA	Emulsión blanca de baja viscosidad	Emulsión blanca de baja viscosidad
% DE SÓLIDOS	56.0% / 55.87	55 ± 1%
VISCOSIDAD	2.700 cP / 3350	2.500-4.000 cP
VALOR DEL pH	4.1 / 4.18	4.0-5.0

FECHA DE VENCIMIENTO: ABRIL 12/ 2020

VISCOSÍMETRO BROOKFIELD RVT, Aguja Nº 4, 20 rpm a 20°C.

Carlos Javier Alvarez
DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

REV 03. 2010-10-07

F-R-20

ANEXO B.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 1703

**NORMA TÉCNICA
COLOMBIANA**

**NTC
1703**

2004-03-24

**EMULSIONES ADHESIVAS A BASE DE ACETATO
DE POLIVINILO (PVA)**



E: POLYVINYL ACETATE (PVA) - BASED ADHESIVE
EMULSIONS.

CORRESPONDENCIA:

DESCRIPTORES: emulsión adhesiva; adhesivo; acetato
de polivinilo.

3. REQUISITOS

3.1 REQUISITOS GENERALES

3.1.1 Las emulsiones adhesivas a base de acetato de polivinilo deben ser líquidas homogéneas de apariencia lechosa, poseer olor característico y estar libres de natas y costras.

3.1.2 Cuando la emulsión adhesiva se emplee sobre sustratos como papel y cartón, siguiendo las instrucciones del fabricante, y se proceda a separar la unión, se debe presentar desgarre en las fibras de estos sustratos.

3.2 REQUISITOS ESPECÍFICOS

3.2.1 La emulsión adhesiva a base de acetato de polivinilo deberá cumplir con lo indicado en la Tabla 1.

3.2.2 La emulsión adhesiva a base de acetato de polivinilo para madera, deberá cumplir con la prueba de resistencia adhesiva como prueba de aplicación para garantizar que el producto funciona y su frecuencia se hará de común acuerdo entre las partes (véase la Tabla 1).

Tabla 1. Requisitos del adhesivo a base de PVA

Requisito	Límite
Viscosidad, en cp	De acuerdo con el rango suministrado por el productor y a la temperatura acordada.
Contenido de no volátiles	De acuerdo con el rango suministrado por el productor
pH a 25 °C	3 - 7
Resistencia adhesiva. Resistencia al corte de bloques (compresión) secos a 24 °C, (ECH 12 % - 14 %), kPa, mín (unión madera - madera)	7 350

4. TOMA DE MUESTRAS Y CRITERIO DE ACEPTACIÓN O DE RECHAZO

4.1 TOMA DE MUESTRAS

Se tomarán 500 g de muestra de la emulsión adhesiva que sean representativos del lote ensayado.

4.2 CRITERIO DE ACEPTACIÓN O DE RECHAZO

Si los resultados de cualquier ensayo no cumplen con los requisitos establecidos en esta norma, ese ensayo se repetirá sobre dos grupos adicionales de especímenes provenientes de una muestra nueva, del mismo lote de emulsión adhesiva, los cuales deberán cumplir con el requisito en cuestión. Si cualquiera de los dos grupos adicionales de especímenes no cumple con dicho requisito, se rechazará el lote.

5.1 DETERMINACIÓN DE LA VISCOSIDAD

5.1.1 Equipos y materiales

- Viscosímetro rotacional
- Termómetro con escala de -10 °C a 110 °C.
- Vaso de precipitados de 600 cm³ de forma alta

5.1.2 Procedimiento

- a) Se colocan 500 cm³ del adhesivo en el vaso de precipitado y se acondicionan a la temperatura acordada $\pm 0,5$ °C durante 30 min en un lugar libre de perturbaciones.
- b) Se selecciona la aguja apropiada para que la lectura esté comprendida entre el 20 % y el 80 % del torque del equipo.
- c) Se introduce la aguja del viscosímetro en la muestra hasta la marca del equipo evitando que queden atrapadas burbujas en la parte inferior y se toma la lectura después de un minuto.

5.1.3 Informe de resultados

La viscosidad se reporta en centipoises, indicando además la temperatura, velocidad de rotación (rpm) y el equipo empleado.

5.2 CONTENIDO DE NO VOLÁTILES

Se determina el contenido de no volátiles de la emulsión adhesiva de acuerdo con la NTC 5003.

5.3 DETERMINACIÓN DEL pH

Se lleva la emulsión adhesiva a una temperatura de 25 °C ± 1 °C y se determina el pH de acuerdo con la ASTM E 70.

5.4 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA ADHESIVA. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL CORTE DE BLOQUES (COMPRESIÓN)

Se preparan los especímenes de ensayo de acuerdo con la NTC 2279, usando las instrucciones del fabricante del adhesivo en cuanto a condiciones y preparación del adhesivo, aplicación sobre las uniones, ensamble, prensado y curado de la unión.

Se usa un período de curado de dos semanas a menos que el fabricante del adhesivo indique otra cosa.

Número de especímenes de ensayo: se ensayan 20 especímenes que representan por lo menos cuatro uniones.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 1703 (Tercera actualización)

Ensayo de curado (seco). El siguiente procedimiento indica el período de curado para la determinación del poder adhesivo. Se lleva un grupo de 20 especímenes en ensayo a un contenido de humedad (CH) entre 12 % - 14 % aplicando el método de la NTC 2279; se aplica una carga con un movimiento continuo de la cabeza móvil a una velocidad de 12,7 mm/min (± 10 %).

Cálculos. Se calcula la resistencia al corte hasta rotura en kPa, basada en el área de línea adhesiva entre los especímenes medida con aproximación de 6,5 mm². Si el ensayo de madera-pegante es aproximadamente igual al ensayo madera-madera, el adhesivo es bueno.

6. ROTULADO Y EMPAQUE

6.1 ROTULADO

Cada empaque deberá incluir los siguientes datos:

- Indicación del uso del adhesivo así como cualquier instrucción especial necesaria para su uso. Para adhesivos de uso industrial, esta información se incluye en la ficha técnica que acompaña al producto.
- Fecha de vencimiento o vida en almacenamiento.
- Nombre del producto.
- Nombre y dirección del fabricante.
- Contenido neto en unidades del Sistema Internacional.

6.2 EMPAQUE

El empaque debe garantizar la estabilidad y conservación del producto.

7. APÉNDICE

7.1 NORMAS QUE DEBEN CONSULTARSE

Los siguientes documentos normativos referenciados son indispensables para la aplicación de este documento normativo. Para referencias fechadas, se aplica únicamente la edición citada. Para referencias no fechadas, se aplica la última edición del documento normativo referenciado (incluida cualquier corrección).

NTC 2279:1999, Ingeniería civil y arquitectura. Maderas. Método de ensayo para determinar la

ANEXO C.

RÉPLICAS DE LAS MEDICIONES DE LOS RESULTADOS

Como parte de verificación de cada uno de los resultados obtenidos durante la experimentación de este trabajo de grado se optó por hacer 3 réplicas de cada una de las mediciones realizadas.

Para el capítulo 3, llamado selección de materias se realizó el análisis experimental de las materias primas vinil acetato, regulador de pH, biocida y semilla.

Como caracterización del Vinil acetato se evaluaron los parámetros de índice de refracción y viscosidad, los cuales se muestran a continuación en la tabla 32, en donde se pueden observar las réplicas y el valor seleccionado de estos parámetros (Anexo A)

Réplicas de los valores experimentales del Vinil Acetato

Parámetro	Replica 1	Replica 2	Replica 3	Valor seleccionado
Índice de Refracción	1.395	1.394	1.393	1.394
Viscosidad	0.4 cPs	0.43672 cPs	0.437	0.43672 cPs

Fuente: elaboración propia

Para el regulador de pH se evaluó el rango de pH que este le proporciona, a continuación, en la tabla 33, se añadieron las réplicas y el valor seleccionado de este parámetro.

Réplicas del pH del regulador de pH

Parámetro	Replica 1	Replica 2	Replica 3	Valor seleccionado
pH	8.5	8.4	8.3	8.4

Fuente: elaboración propia

Como caracterización del Biocida se evaluó el pH que este le proporciona a la emulsión polivinílica, en la siguiente tabla se añadieron las réplicas y el valor seleccionado para este parámetro.

Réplicas del pH para el biocida

Parámetro	Replica 1	Replica 2	Replica 3	Valor seleccionado
pH	2.1	2	2.03	2.03

Fuente: elaboración propia

Para el antiespumante se evaluó el rango pH y la viscosidad que este le proporciona a la emulsión polivinílica, a continuación, en la tabla 35, se añadieron las réplicas y el valor seleccionado de este parámetro.

Réplicas del pH y viscosidad del antiespumante

Parámetro	Replica 1	Replica 2	Replica 3	Valor seleccionado
pH	6.8	6.5	6.89	6.89
Viscosidad	33000 cPs	32200 cPs	30000 cPs	32200 cPs

Fuente: elaboración propia

Y para finalizar las réplicas del análisis experimental de las materias primas para la selección de estas del capítulo 3, se evaluó la semilla con los parámetros de pH, viscosidad y % sólidos totales, los cuales se pueden observar en la tabla 36; en dicha tabla se añadieron las réplicas y el valor seleccionado para cada uno de estos parámetros.

Réplicas del pH, viscosidad y contenido de sólidos no volátiles de la semilla

Parámetro	Replica 1	Replica 2	Replica 3	Valor seleccionado
pH	4.18	4.19	4.17	4.18
Viscosidad	3340 cPs	3350 cPs	3360 cPs	3350 cPs
%Sólidos Totales	55%	55%	56%	55%

Fuente: elaboración propia

En el capítulo 4, llamado desarrollo experimental de emulsiones polivinílicas, en la sección de comparación de la emulsión comparada con la emulsión elaborada, se realizaron 3 réplicas de la cantidad de sólidos no volátiles para la emulsión realizada los cuales se muestran en la tabla 37, en donde se pueden observar las réplicas y el valor seleccionado para este parámetro.

Réplicas de la cantidad de solidos no volátiles en la emulsión polivinílica desarrollada.

Parámetro	Replica 1	Replica 2	Replica 3	Valor seleccionado
Sólidos no volátiles	53.2%	53.3%	53.1%	53.3%

Fuente: elaboración propia

En el capítulo 5, llamado producción del adhesivo con la mejor emulsión comparada, en la sección de comparación de los adhesivos, se realizaron 3 réplicas de la cantidad de solidos no volátiles y tiempo de fraguado los cuales se pueden observar en la siguiente tabla 38:

Réplicas de la cantidad de solidos no volátiles y tiempo de fraguado en adhesivo elaborado

Parámetro	Replica 1	Replica 2	Replica 3	Valor seleccionado
Sólidos no volátiles	28%	28%	29%	28%
Tiempo de fraguado	31 minutos	30 minutos	31 minutos	31 minutos

Fuente: elaboración propia