

FORMULACIÓN DE DISPERSANTE PARA PINTURAS ACUOSAS

MARIA ALEJANDRA PERDOMO MARTÍNEZ

INFORME DE PASANTÍA PARA OPTAR AL
TÍTULO DE INGENIERA QUÍMICA

DIRECTOR

VALENTINA ARISTIZÁBAL ECHEVERRY

INGENIERA QUÍMICA

MSc EN INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES

CODIRECTOR

LUIS AMAYA GALEANO

QUÍMICO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA

BOGOTÁ D.C

2024

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García-Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica

Dra. María Fernanda Vega de Mendoza

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ramiro Augusto Forero Corzo

Vicerrectora de Investigaciones y Extensión

Dra. Susan Margarita Benavides Trujillo

Secretario General

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decana de la Facultad de Ingenierías

Ing. Naliny Patricia Guerra Prieto

Directora del Programa de Ingeniería Química

Ing. Nubia Liliana Becerra Ospina

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 los autores.

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	10
INTRODUCCION	11
1. RESEÑA HISTORICA DE LA EMPRESA	12
2. ESTRATEGIA DE LA EMPRESA Y EL ROL QUE DESEMPEÑA EL AREA DONDE LABORA EL ESTUDIANTE DENTRO DE ELLA	13
3. DESCRIPCION Y FORMULACION DEL PROBLEMA DE INVESTIGACION	14
4. PROPUESTA DE SOLUCION O DE DESARROLLO DEL PROBLEMA (OBJETIVOS, ALCANCE)	16
4.1. Objetivos	16
4.1.1. <i>Objetivo general</i>	16
4.1.2. <i>Objetivos específicos</i>	16
4.2. Alcance	16
5. MARCO TEORICO, CONCEPTUAL Y LEGAL	17
5.1. Marco teórico	17
5.1.1. <i>Teoría de la adsorción</i>	17
5.1.2. <i>Teoría de la dispersión coloidal</i>	17
5.1.3. <i>Teoría del enlace químico y la química supramolecular</i>	18
5.2. Marco conceptual	19
5.2.1. <i>Pintura</i>	19
5.2.2. <i>Dispersantes</i>	19
5.2.3. <i>Proceso de dispersión</i>	20

5.2.4.	<i>Descripción de la composición del dispersante: Sal de sodio de un homopolímero acrílico en solución acuosa</i>	21
5.2.5.	<i>pH</i>	21
5.2.6.	<i>Viscosidad de Brookfield</i>	22
5.2.7.	<i>Poliacrilato de sodio</i>	22
5.3.	Marco legal	24
5.3.1.	<i>Normativas de seguridad y salud ocupacional</i>	24
5.3.2.	<i>Normativas ambientales</i>	24
6.	METODOLOGIA	26
6.1.	Metodología para el estudio de propiedades fisicoquímicas	26
6.2.	Metodología formulación del dispersante	28
6.2.1.	<i>Paso a paso general de una formulación</i>	29
6.2.2.	<i>Formulación del dispersante</i>	31
6.3.	Metodología pruebas a estudiar	35
7.	DISEÑO DE EXPERIMENTOS	37
7.1.	Introducción	37
7.2.	Variables	37
7.3.	Diseño del experimento	40
7.3.1.	<i>Hipótesis</i>	51
7.4.	Análisis estadístico	52
7.5.	Análisis de resultados del ANOVA	53
7.5.1.	<i>Significancia de los resultados</i>	53
7.5.2.	<i>Comparación de grupos</i>	53
7.5.3.	<i>Interpretación práctica</i>	54
7.6.	Conclusiones	54

8.	BALANCE DE MASA	55
8.1.	Cantidades a tener en cuenta	55
8.2.	Balance de masa por etapa	56
8.3.	Consideración de la evaporación	57
8.3.1.	<i>Ajuste de cantidades</i>	<i>58</i>
8.4.	Nuevas cantidades ajustadas	58
8.5.	Nuevas cantidades ajustadas	58
8.6.	Conclusión	59
9.	RESULTADOS	60
10.	ANALISIS DE RESULTADOS	63
11.	CONCLUSIONES	71
	REFERENCIAS	73
	ANEXOS	77

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Diagrama de bloques estudio de propiedades fisicoquímicas	26
Figura 2. Diagrama de bloques general de la formulación del dispersante	29
Figura 3. Formula química del poliacrilato de sodio	31
Figura 4. Diagrama de bloques del proceso de síntesis del poliacrilato de sodio	32
Figura 5. Continuación diagrama de bloques del proceso de síntesis del poliacrilato de sodio	33
Figura 6. Continuación diagrama de bloques del proceso de síntesis del poliacrilato de sodio	34
Figura 7. Diagrama de bloques pruebas a estudiar	35
Figura 8. Separación de fases experimento 7	65
Figura 9. Prueba de la pintura en superficie rugosa	67
Figura 10. Prueba de dispersión de pigmentos	68
Figura 11. Prueba de inhibición de incrustaciones en pintura comercial	69
Figura 12. Prueba de inhibición de incrustaciones	70

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Especificaciones fisicoquímicas del dispersante por literatura	28
Tabla 2. Materias primas clasificadas en las etapas del proceso	31
Tabla 3. Niveles y rangos de las variables independientes	37
Tabla 4. Rangos del nivel bajo por cada materia prima	38
Tabla 5. Rangos del nivel medio por cada materia prima	39
Tabla 6. Rangos del nivel alto por cada materia prima	39
Tabla 7. Interacciones del diseño experimental	41
Tabla 8. Composición de los experimentos en porcentajes	41
Tabla 9. Resultados datos variables dependientes	47
Tabla 10. Resultados de pH por cada experimento	47
Tabla 11. Resultados viscosidad y contenido de sólidos de los experimentos	51
Tabla 12. Resumen ANOVA	52
Tabla 13. Análisis de ANOVA	52
Tabla 14. Resultados visuales a las 72 horas de los experimentos	60
Tabla 15. Especificación de la formulación adecuada del dispersante	63
Tabla 16. Resultados fisicoquímicos de la formulación adecuada	64

RESUMEN

Durante el período de pasantía en Química CMV, especializada en la comercialización de materias primas para la industria química, se desarrolló una propuesta para la formulación de un nuevo dispersante para pinturas a base de agua. Este proyecto se enfocó en abordar la creciente preocupación por la escasez y el aumento de precios de materias primas en la industria de pinturas, particularmente en lo relacionado con los aditivos esenciales como lo es el dispersante.

La propuesta incluyó la formulación de un dispersante con propiedades inhibidoras de incrustaciones, utilizando una metodología que comprendió la identificación de las propiedades químicas y físicas necesarias para el producto, el desarrollo de diversas composiciones, y la realización de pruebas de rendimiento y calidad. Estas pruebas incluyeron mediciones de pH, contenido de sólidos y viscosidad, siguiendo los requisitos actuales de la empresa.

Como resultado de este enfoque, se obtuvo un dispersante eficaz que cumplió con los estándares de calidad establecidos por Química CMV, alcanzando un pH de 7, una viscosidad de 600 cPs y un contenido de sólidos del 40%. Las pruebas de rendimiento demostraron que el dispersante mejoró significativamente la cobertura un 80%, la intensidad del color un 50% y el brillo de la pintura un 50%. Aunque se presentaron problemas de separación de fases, se identificaron ajustes para optimizar su estabilidad. Este desarrollo tuvo el potencial de mejorar la eficiencia en la producción de pinturas y fortalecer la posición competitiva de Química CMV en el sector.

Palabras clave: Compatibilidad, dispersante, homopolímero acrílico, incrustaciones, pintura.

INTRODUCCION

Para Química CMV, la innovación y el desarrollo de soluciones avanzadas fueron fundamentales para mantener su liderazgo en el sector químico. La empresa estuvo comprometida con la evolución constante y con ofrecer productos que respondieran a las demandas emergentes del mercado. En este contexto, se inició un proyecto para el desarrollo de un dispersante para pinturas a base de agua, con el objetivo de enfrentar la escasez y el aumento de precios de materias primas que afectaban a la industria de pinturas.

El dispersante fue un aditivo crucial en la formulación de pinturas, ya que mejoró la estabilidad y la distribución de los pigmentos, y su capacidad para inhibir incrustaciones en pinturas acuosas resultó ser especialmente valiosa. Dado el aumento significativo en los precios de materias primas como emulsiones, secantes y aditivos, y la escasez de productos esenciales, desarrollar un dispersante con propiedades optimizadas se convirtió en una necesidad imperiosa para asegurar la calidad y competitividad en el mercado.

Este proyecto tuvo como meta formular un dispersante eficaz mediante la identificación de las características químicas y físicas necesarias, el desarrollo de composiciones innovadoras, y la realización de pruebas para garantizar su rendimiento y calidad. Además, se buscó que el nuevo producto no solo cumpliera con los estándares de Química CMV, sino que también ofreciera una solución viable para los desafíos actuales del mercado de pinturas.

El desarrollo de este dispersante contribuyó significativamente a la industria, apoyando la producción nacional y mejorando la capacidad de Química CMV para enfrentar las fluctuaciones del mercado. Esta iniciativa no solo abordó un problema crítico en la industria de pinturas, sino que también reforzó el compromiso de la empresa con la innovación y la excelencia en el sector químico y además fomentó la investigación en química de polímeros, particularmente en la mejora de dispersantes, lo que pudo fortalecer la colaboración entre la academia y la industria. Además, el ingeniero químico desempeñó un rol clave en el desarrollo del dispersante, aplicando su conocimiento para crear soluciones innovadoras y sostenibles que respondieran a las necesidades del mercado y la sociedad, lo que reforzó su responsabilidad hacia la sostenibilidad y la innovación industrial.

1. RESEÑA HISTORICA DE LA EMPRESA

Química CMV fue fundada en marzo de 2009 por un grupo de inversionistas emprendedores procedentes de Colombia, México y Venezuela. Desde sus inicios, la empresa se dedicó a la comercialización de carbonatos de calcio, marcando el inicio de su trayectoria en el sector químico industrial.

Durante más de una década, Química CMV ha experimentado un crecimiento significativo en el mercado. Inicialmente enfocada en la distribución de materias primas, la empresa amplió su catálogo de productos y servicios para incluir soluciones innovadoras en materiales de recubrimientos y áreas afines.

La compañía ha logrado establecer alianzas estratégicas donde Química CMV es representante de líderes globales como Stahl en la manufactura de materias primas, fortaleciendo así su oferta y garantizando estándares de calidad superiores. Además, ha invertido en una moderna planta física que incluye un laboratorio de investigación, desarrollo y control de calidad, proporcionando servicios especializados a sus clientes y consolidando su compromiso con la excelencia.

La misión de Química CMV es promover el desarrollo sustentable de la industria nacional, ofreciendo productos de alta calidad y servicios especializados en cuanto a selección de las materias primas acordes a las necesidades del cliente, formulaciones y procesos que aseguren la eficiencia y crecimiento de sus clientes. Su visión es ser reconocida como una empresa dinámica y profesional, líder en la comercialización de productos químicos y comprometida con la innovación y el servicio al cliente.

“Con más de 5000 clientes satisfechos y un equipo de 38 empleados dedicados, Química CMV ha dejado una marca significativa regional. Su compromiso con la calidad, la innovación y la sostenibilidad ha contribuido no solo al éxito empresarial, sino también al desarrollo continuo del sector químico en la región” [1].

2. ESTRATEGIA DE LA EMPRESA Y EL ROL QUE DESEMPEÑA EL AREA DONDE LABORA EL ESTUDIANTE DENTRO DE ELLA

La estrategia de Química CMV se centra en varios pilares clave que le han permitido posicionarse como un líder en la comercialización de productos químicos y materias primas para el sector industrial. Estos pilares incluyen:

- **Excelencia en la comercialización y distribución:** Química CMV se distingue por su capacidad para comercializar y distribuir materias primas de alta calidad para diversas industrias, como la del cuero y shoe finish, entre otras. La empresa se esfuerza por ofrecer productos que cumplan con los estándares más exigentes del mercado.
- **Innovación y desarrollo:** La construcción de un laboratorio de investigación, desarrollo y calidad refleja el compromiso de la empresa con la innovación. Este laboratorio no solo asegura la calidad de los productos ofrecidos, sino que también permite desarrollar soluciones novedosas y adaptadas a las necesidades específicas de los clientes.
- **Asesoría técnica especializada:** Química CMV no solo vende productos, sino que también proporciona asesoría técnica especializada. Esto asegura que los clientes puedan optimizar el uso de los productos adquiridos y mejorar sus procesos industriales, lo que a su vez contribuye a la eficiencia y rentabilidad de los mismos.
- **Logística eficiente y asociaciones estratégicas:** La empresa se enfoca en mantener una logística de suministros eficiente, garantizando así la disponibilidad oportuna de los productos en todo momento. Además, establece asociaciones estratégicas con líderes globales en la manufactura de materias primas, lo que le permite ampliar su oferta y mejorar la competitividad en el mercado.

El rol del estudiante se sitúa en el departamento de investigación y desarrollo, donde participa activamente en la formulación, diseño y desarrollo de un nuevo producto el cual es un dispersante para pinturas acuosas dirigido a abordar demandas emergentes en el mercado.

3. DESCRIPCION Y FORMULACION DEL PROBLEMA DE INVESTIGACION

“Las empresas fabricantes de pinturas y recubrimientos, representadas por la Asociación Colombiana de Industrias Plásticas (Acoplásticos) a través de Acopinturas, manifestaron su preocupación por la afectación en la producción debido a la escasez y al incremento de precios de materias primas problema que viene desde el 2021” [2]. “Este escenario se debió a factores como el aumento de la demanda global de pinturas en países productores clave, el alza en los precios del petróleo y sus derivados, así como de otros commodities, y los significativos incrementos en los costos del transporte marítimo internacional, exacerbados por la baja disponibilidad de contenedores” [2].

«Entre las materias primas con aumentos notables de precios se destacan las emulsiones, con un incremento aproximado del 97%, afectando directamente a los vinilos, uno de los productos más demandados en este mercado. Además, se observó un aumento del 41% en los secantes, con riesgos de escasez a corto plazo; un incremento del 30% en los aditivos; un alza del 21% en los pigmentos; y un aumento cercano al 20% en los solventes, de producción local. También se reportó escasez de productos esenciales como el dióxido de titanio, biocidas, resinas acrílicas y dispersantes, fundamentales en la fabricación de pinturas. » [2]

“De no resolverse este problema, podría comprometerse el cumplimiento de normativas establecidas para las pinturas fabricadas, como la norma NTC 1335, que especifica condiciones para la determinación de la finura de la dispersión en sistemas pigmento-vehículo mediante calibradores tipo Hegman (ASTM D1210)” [2].

Ante esta situación, una alternativa viable fue recurrir a empresas como Química CMV SAS, con sede en Colombia. Fundada en 2009, se dedica a la producción y comercialización de materias primas para diversos sectores, incluyendo el sector de pinturas. La empresa ha amplió su oferta para incluir productos destinados al sector de hidrocarburos, como aditivos, dióxido de titanio, polímeros, solventes, resinas y dispersantes.

Dada la expansión de la empresa en el sector de pinturas, consideraron integrar un dispersante con propiedades inhibidoras de incrustaciones para pinturas a base de agua. Esto planteó interrogantes como: ¿Cómo desarrollar nuevos agentes dispersantes con dichas propiedades para aplicaciones extensas en pinturas acuosas? ¿Qué características químicas y físicas son necesarias para asegurar que un dispersante pueda inhibir incrustaciones en pinturas acuosas? ¿Cómo se formularán y

evaluarán diversas composiciones y formulaciones de dispersantes, así como su compatibilidad y eficacia en pinturas acuosas? ¿Qué métodos se utilizarán para realizar pruebas de rendimiento y calidad en muestras de pinturas acuosas, garantizando el cumplimiento de normativas y regulaciones pertinentes?

4. PROPUESTA DE SOLUCION O DE DESARROLLO DEL PROBLEMA (OBJETIVOS, ALCANCE)

4.1.Objetivos

4.1.1. Objetivo general

Desarrollar un nuevo dispersante para pinturas a base de agua con propiedades inhibitoras de incrustaciones.

4.1.2. Objetivos específicos

Identificar las propiedades químicas y físicas requeridas de un dispersante para pinturas a base de agua que proporcione capacidad de inhibición.

Formular la composición de dispersante que cumpla con los requisitos de calidad de la empresa.

Realizar pruebas de rendimiento y calidad como pH, Contenido de sólidos y Viscosidad con los requerimientos actuales de la empresa.

4.2.Alcance

El proyecto se implementó en Colombia, específicamente en Tocancipá donde se encuentra ubicada la planta de la empresa. Sin embargo, los resultados y el producto que se desarrolló pueden aplicarse en otras regiones y mercados internacionales, además tuvo un cronograma específico, que se determinó en función de la planificación y los recursos disponibles. Se establecieron plazos para cada etapa del proyecto, desde la investigación inicial hasta la evaluación del dispersante a nivel laboratorio.

El dispersante que se desarrolló está dirigido específicamente a pinturas y revestimientos a base de agua. La atención se centra en mejorar la estabilidad y el rendimiento de la pintura, así como en reducir la formación de incrustaciones.

Se llevaron a cabo pruebas de rendimiento y calidad del dispersante. Sin embargo, la implementación y comercialización a gran escala de un nuevo dispersante se extiende más allá del alcance del proyecto inmediato y puede requerir actividades adicionales en una etapa posterior que no se desarrollan en este proyecto.

5. MARCO TEORICO, CONCEPTUAL Y LEGAL

5.1. Marco teórico

5.1.1. Teoría de la adsorción

«La teoría de la adsorción se enfoca en el proceso mediante el cual las moléculas, bien sea de forma líquida o gaseosa, se adhieren a la superficie de un sólido o incluso de otro líquido. Este fenómeno es específicamente relevante en la formulación de pinturas, donde la estabilidad del producto depende en gran parte de cómo los dispersantes se adsorben en las partículas de pigmento.

» [3]

« Existen dos tipos principales de adsorción: la física, que abarca interacciones débiles y reversibles como las fuerzas de Van der Waals, y la química, donde se forman enlaces químicos más fuertes y específicos entre el dispersante y la superficie del pigmento. La magnitud de esta adsorción se puede describir mediante isothermas, como las de Langmuir y Freundlich, que establecen la relación entre la cantidad de dispersante adsorbido y su concentración en el medio. La isoterma de Langmuir asume una capa monomolecular de adsorción sobre una superficie homogénea, mientras que la de Freundlich es aplicable a superficies heterogéneas con sitios de adsorción variados. » [4]

“Varios factores influyen en la eficacia de la adsorción, incluyendo la polaridad de las moléculas y la superficie, el pH, y la química de los grupos funcionales involucrados. Ajustar el pH para optimizar la carga superficial de las partículas puede aumentar la afinidad del dispersante, mejorando así la estabilidad de la pintura” [5].

En el contexto de este proyecto, aplicar estos principios permite desarrollar dispersantes que no solo previenen la aglomeración de pigmentos, sino que también mejoran la durabilidad y la calidad de la pintura. Así, la teoría de la adsorción guía la selección y diseño de dispersantes para optimizar el rendimiento del producto final.

5.1.2. Teoría de la dispersión coloidal

« La teoría de la dispersión coloidal estudia cómo se comportan y estabilizan las partículas en un medio dispersante. Las partículas coloidales, que tienen dimensiones en el rango nanométrico a micrométrico, se mantienen suspendidas en un líquido o gas debido a su tamaño y a las interacciones que ocurren con el medio en el que están dispersas. Estas partículas pueden ser

propensas a aglomerarse debido a las fuerzas atractivas de Van der Waals, las cuales promueven la formación de agrupaciones o flóculos, resultando en una eventual sedimentación. » [6]

« Para evitar la aglomeración y mantener la estabilidad de las partículas coloidales, se emplean dispersantes que actúan sobre la superficie de las partículas. Dichos dispersantes modifican las interacciones entre las partículas y el medio continuo, proporcionando una capa estabilizadora que genera repulsiones electrostáticas o estéricas. Las repulsiones electrostáticas se producen cuando los dispersantes tienen cargas opuestas a las partículas. Con respecto a las repulsiones estéricas estas surgen cuando los dispersantes poseen grupos funcionales que crean una barrera física, evitando así la aglomeración de las partículas. » [7]

- « Repulsiones electrostáticas: Los dispersantes que tienen cargas opuestas a las partículas crean una repulsión electrostática. Este tipo de repulsión ocurre cuando las partículas coloidales y el dispersante llevan cargas de signos opuestos, lo que genera una fuerza repulsiva que evita que las partículas se acerquen demasiado y se agrupen. La repulsión electrostática es eficaz para mantener las partículas separadas y distribuir las uniformemente en el medio dispersante. » [8][9]
- « Repulsiones estéricas: Las repulsiones estéricas surgen cuando los dispersantes contienen grupos funcionales que crean una barrera física alrededor de las partículas. Estos grupos funcionales pueden formar una capa alrededor de las partículas que impide que se acerquen unas a otras, generando una repulsión estérica que previene la formación de flóculos. Esta barrera física no solo ayuda a mantener las partículas separadas, sino que también mejora la estabilidad del sistema al evitar la aglomeración. » [8][9]

En el contexto de este proyecto, aplicar esta teoría permite diseñar formulaciones que optimicen la estabilidad y dispersión de las partículas en el medio. La capacidad de un dispersante para prevenir la aglomeración y mantener la estabilidad de las partículas es crucial para la calidad y desempeño del producto final.

5.1.3. Teoría del enlace químico y la química supramolecular

« La teoría del enlace químico se enfoca en cómo los átomos se combinan para formar moléculas estables a través de distintos tipos de enlaces, tales como covalentes, iónicos y metálicos. Estos enlaces determinan tanto la estructura como las propiedades de las sustancias químicas. En cuanto a la química supramolecular estudia las interacciones entre moléculas que no implican enlaces

covalentes permanentes, sino asociaciones basadas en fuerzas intermoleculares, como los puentes de hidrógeno y las interacciones hidrofóbicas. » [10][11]

« La teoría del enlace químico, es esencial para comprender cómo los dispersantes interactúan con las partículas coloidales. Los enlaces covalentes permiten la modificación química de la superficie de las partículas, mientras que los enlaces iónicos pueden ajustarse para controlar la carga superficial, contribuyendo a una mejor estabilidad del sistema dispersante. Por otro lado, la química supramolecular ofrece una perspectiva adicional sobre cómo las interacciones no covalentes, como los puentes de hidrógeno y las interacciones hidrofóbicas, pueden ser utilizadas para mejorar la eficacia de los dispersantes. Estas interacciones permiten la formación de barreras físicas o ajustes en las fuerzas intermoleculares, lo que previene la aglomeración de partículas coloidales. » [12][13]

La aplicación de estos conceptos teóricos en el diseño del dispersante no solo optimiza la estabilidad de las partículas, sino que también mejora las propiedades del producto final, como su apariencia y durabilidad.

5.2. Marco conceptual

5.2.1. Pintura

« Una pintura líquida es una mezcla heterogénea de componentes que una vez aplicada y seca se transforma en una película continua de espesor más o menos uniforme, sin pegajosidad al tacto y con las características o aptitud al uso con la que ha sido diseñada [14]. Las pinturas cuentan con una composición genérica pero algunos tipos no contienen todos los ingredientes: Pigmentos, Cargas (no es imperativo), Ligante o resinas, Disolvente (no es imperativo) y aditivos (se encuentran los humectantes y dispersantes). » [15]

5.2.2. Dispersantes

Los dispersantes tienen la función de estabilizar la dispersión obtenida por el efecto de cizalla a alta velocidad [15]. « Los dispersantes son moléculas polares, preferentemente con dos o más grupos polares. Pueden ser lineales o ramificados, y con pesos moleculares dentro de un amplio espectro, y se pueden clasificar en dos grupos diferenciados por el peso molecular: los de bajo peso molecular entre 1.000 y 3.000 g/mol y los de alto peso molecular, entre 5.000 y 30.000 g/mol. Entre los de bajo peso molecular se encuentran determinados poliacrílicos y tensoactivos

aniónicos, catiónicos y no iónicos, mientras que los de alto peso molecular pueden ser de cadena lineal o ramificada. En pinturas acuosas se utilizan ampliamente los dispersantes poliacrílicos, sales de los mismos. » [15]. « Los dispersantes cumplen un papel fundamental ya que sin ellos las partículas sólidas de los recubrimientos, tintas o pinturas se atraen entre sí, esto se llama aglomerado, que es una partícula más grande compuesta por partículas más pequeñas. Esto puede afectar de manera negativa las propiedades deseadas, como la apariencia (opacidad, brillo, color), el rendimiento (resistencia a la corrosión, refuerzo), la compatibilidad, estabilidad, etc. » [16]. « La estructura típica de un dispersante consta de dos componentes: un grupo de anclaje capaz de ser absorbido con fuerza en la superficie de la partícula y una cadena polimérica, que se acopla al grupo de anclaje y brinda estabilización. Los grupos de anclaje rodean la partícula y las cadenas la estabilizan mediante el efecto estérico con el fin de evitar la floculación o gelificación de las partículas en la dispersión. Existen muchas estructuras diseñadas para lograr esta estabilidad porque todas las partículas tienen superficies de distinta naturaleza y porque hay muchos medios distintos, como agua disolvente, monómeros UV, resinas que tienen aún más variaciones de polaridad. Los distintos grupos de anclaje son más receptivos a distintas superficies de partículas. Es la combinación específica de un grupo de anclaje y una cadena polimérica la que originó la efectividad de los dispersantes. » [17]. « Los grupos de anclaje son grupos funcionales simples, cadenas oligoméricas o poliméricas con gran afinidad hacia sitios específicos en la superficie de los pigmentos. Están contruidos en puntos estratégicos del esqueleto del polímero. Existen varios arreglos disponibles de grupos de anclaje (existen los anclajes por grupos iónicos o ácidos/básicos, anclajes con grupos de puentes de hidrógeno, anclaje a través de grupos polares). Tienen mecanismos diferentes para ligarse a la superficie de los pigmentos acordes a la naturaleza química de estos. » [18]

5.2.3. *Proceso de dispersión*

El proceso de dispersión se realiza para acercarse tanto como sea posible al tamaño original de la partícula principal, lo que mejora el proceso de aplicación y propicia un mejor rendimiento del producto final. El proceso requiere el uso de un aditivo (un dispersante) para evitar que las partículas más pequeñas se combinen, qué es lo que hacen naturalmente. El proceso de dispersión es un paso temprano para convertir un pigmento/partícula en algo que añade valor [16].

5.2.4. Descripción de la composición del dispersante: Sal de sodio de un homopolímero acrílico en solución acuosa

5.2.4.a. “Sal de sodio. Esto implica que el homopolímero acrílico ha reaccionado con hidróxido de sodio (NaOH) o algún otro compuesto que proporcione iones de sodio (Na⁺), resultando en la formación de la sal de sodio del polímero. Este proceso es conocido como neutralización” [19].

5.2.4.b. “Homopolímero acrílico. Un homopolímero acrílico es un polímero que se forma a partir de la repetición de una sola unidad monomérica. En este caso, el monómero es algún tipo de acrilato (ácido acrílico o acrilato de metilo). Así, un homopolímero acrílico es una cadena larga de moléculas de acrilato repetidas” [20].

5.2.4.c. Solución acuosa. Significa que esta sal de sodio de homopolímero acrílico está disuelta en agua [21].

5.2.5. pH

“El pH es el Potencial de Hidrógeno. Es una medida para determinar el grado de alcalinidad o acidez de una disolución. Con el pH determinamos la concentración de hidrogeniones en una disolución. Un hidrogenión es un ion positivo de Hidrógeno, es un «cachito con carga positiva» del Hidrógeno” [22].

Esta prueba se rige bajo la norma ASTM E70: “Standard test method for pH of aqueous solutions with the glass electrode” [23].

Procedimiento general de ASTM E70:

1. Preparación del electrodo: Asegurarse de que el electrodo de vidrio esté limpio y en buenas condiciones. Calibrar el pH-metro utilizando soluciones buffer de pH conocido (generalmente pH 4, pH 7 y pH 10).
2. Muestreo: Tomar una muestra representativa de la solución acuosa cuyo pH se desea medir.
3. Medición del pH: Introducir el electrodo de vidrio en la muestra y agitar suavemente. Registrar la lectura del pH-metro una vez que la lectura se estabilice.
4. Calibración periódica: Verificar periódicamente la calibración del pH-metro durante el proceso de medición, especialmente si se realizan múltiples mediciones.

5.2.6. Viscosidad de Brookfield

« La viscosidad es un parámetro principal al medir el caudal de fluidos, como líquidos, semisólidos, gases e incluso sólidos. Brookfield se ocupa de líquidos y semisólidos. Las mediciones de viscosidad se realizan junto con la calidad y la eficiencia del producto. Cualquier persona involucrada en la caracterización de flujo, investigación o desarrollo, control de calidad o transferencia de fluidos, en un punto u otro, está involucrada en algún tipo de medición de viscosidad. » [24].

Esta prueba se rige bajo la norma ASTM D2196: “Standard test methods for rheological properties of non-newtonian materials by rotational (Brookfield type) Viscometer” [25].

Procedimiento general de ASTM D2196:

1. Preparación de la muestra: Asegurarse de que la muestra esté bien mezclada y libre de burbujas de aire antes de la medición.
2. Calibración del viscosímetro: Verificar que el viscosímetro esté calibrado correctamente.
3. Selección del husillo y la velocidad: Elegir el husillo y la velocidad de rotación adecuados para la viscosidad esperada del material.
4. Medición de la viscosidad:
 - 4.1. Introduce el husillo en la muestra de manera que esté completamente sumergido según las especificaciones del fabricante.
 - 4.2. Iniciar el viscosímetro y permitir que el husillo gire durante un periodo suficiente para estabilizar la lectura.
 - 4.3. Registrar la lectura de la viscosidad en centipoises (cPs) o milipascal-segundos (mPa*s), dependiendo de la unidad utilizada por el viscosímetro.
5. Repetición: Para obtener los resultados precisos, realizar varias mediciones y calcular promedio,
6. Corrección de temperatura: Asegurarse de que la temperatura de la muestra sea constante y si es necesario, realizar correcciones.

5.2.7. Poliacrilato de sodio

« El poliacrilato de sodio es un tipo de polímero químico utilizado a nivel mundial en diferentes tipos de productos. Su función principal es absorber. El poliacrilato de sodio está formado por diferentes monómeros y múltiples cadenas de compuestos de acrilato que poseen una carga

aniónica positiva, que atrae moléculas a base de agua para combinarse con ella. Es la sal del ácido poliacrílico, que se obtendría de la neutralización del ácido con NaOH. » [26].

5.7.1.a. Como funciona en contacto con el agua. « El procedimiento por el cual el poliacrilato de sodio se infla es por osmosis, que consiste en la elevada concentración de iones sodio en el polímero. Para que su tamaño aumente mucho más se puede utilizar agua destilada que no contiene iones. Cuando los iones captan las moléculas de agua para volver a estabilizar el compuesto se produce el proceso de ósmosis. En el caso del poliacrilato de sodio y su capacidad para absorber grandes cantidades de agua se debe a que en su estructura molecular existen grupos de carboxilatos de sodio que cuelgan de la cadena principal del polímero. Estos grupos al entrar en contacto con el agua desprenden el catión sodio dejando libres iones negativos de carboxilato, estos iones negativos se repelen, estirando la cadena principal provocando el aumento de volumen. Para que vuelva a ser estable y neutro, los iones captan las moléculas de agua y se neutraliza la carga. Estos enlaces se producen a través de enlaces de puentes de hidrógeno. Al liberarse los iones de carboxilato, no solo el agua es atraída, sino que algunos metales solubles también pueden ser retenidos en el poliacrilato y de ahí se utilice también como agente secuestrante de agua dura. El poliacrilato de sodio absorbe hasta 1000 veces su peso en agua destilada. Esto significa que cada gramo de poliacrilato de agua absorbería hasta 1000 ml de agua. A medida que aumenta la salinidad del agua, disminuye su capacidad de absorción. » [26].

5.7.1.b. Aplicaciones. «

AGLUTINANTES: Las emulsiones de poliacrilato se utilizan en las suspensiones de pigmento especialmente en pinturas acrílicas y de látex. Actúan como aglutinante en las pinturas domésticas para adherir los distintos elementos colorantes, permitiendo a su vez secarse más rápido de lo que lo hacen las de base oleosa y conservar un alto nivel de miscibilidad cuando están mojadas.

ESPESANTES Y DISPERSANTES: Los poliacrilatos de sodio se suelen utilizar en productos de consumo y actúan como espesantes hidrófilos para aumentar la viscosidad en sistemas acuosos. A bajas concentraciones, las sales de poliacrilato de sodio pueden comportarse, llevando a cabo la separación de las partículas discretas que conforman los agregados, llenando los huecos con una mezcla de disolvente y ligante en una agitación a alta velocidad. Como dispersantes y agentes humectantes, fomentando la miscibilidad en una dispersión que de otra manera sería inestable.

ABSORBENTES: Debido a su capacidad para absorber agua. La suma de la sal de hidróxido de sodio al polímero neutro de poliacrilato crea grupos de carga positiva y negativa a todo lo largo del polímero. Cuando es expuesto al agua, siendo una sustancia polar por naturaleza, las moléculas

de agua son atraídas a los grupos con carga y se unen a la cadena del polímero, creando una sustancia gelatinosa, viscosa. VIDRIO: El llamado vidrio acrílico, un polímero sintético de metacrilato de metilo, transparente, elaborado con poliacrilato de sodio a partir de placas de vidrio, resistentes a la rotura. » [26].

5.3. Marco legal

El cumplimiento de las regulaciones mencionadas, tales como normativas, seguridad e higiene ocupacional, etiquetado y empaque, así como el control de calidad y buenas prácticas de manufactura (BPM), juega un papel crucial en el desarrollo del proyecto de investigación sobre la fabricación de dispersantes para pinturas en Colombia. Estas normativas no solo aseguran la calidad y seguridad de los productos sino también su conformidad legal, protegiendo la salud humana y el medio ambiente.

Por consiguiente, es necesario abordar estas regulaciones en el desarrollo del trabajo de grado para garantizar que la fabricación de dispersantes se lleve a cabo de manera ética, responsable y en estricto cumplimiento con las normativas pertinentes a nivel de laboratorio.

5.3.1. Normativas de seguridad y salud ocupacional

5.3.1.a. Resolución 2400 de 1979. Esta norma se enfoca en el manejo seguro de productos químicos, prevención de incendios y explosiones, y protección personal de los trabajadores [27].

5.3.1.b. Ley 9 de enero 24 de 1979 (Título III, art 122 a 124) y Resolución 2400 de mayo 22 de 1979 (Título LV, Cap. II, Artículos 176 a 201). “Establece requisitos para equipos de protección personal (EPP) en laboratorios, como guantes, gafas de seguridad y batas, con el fin de garantizar protección adecuada de los trabajadores contra riesgos asociados con la manipulación de productos químicos” [28] [29].

5.3.2. Normativas ambientales

5.3.2.a. Resolución 4741 de 2005. “Regula la gestión integral de residuos peligrosos, lo cual es crucial para asegurar un manejo adecuado de los residuos químicos generados durante el desarrollo del dispersante en el laboratorio” [30].

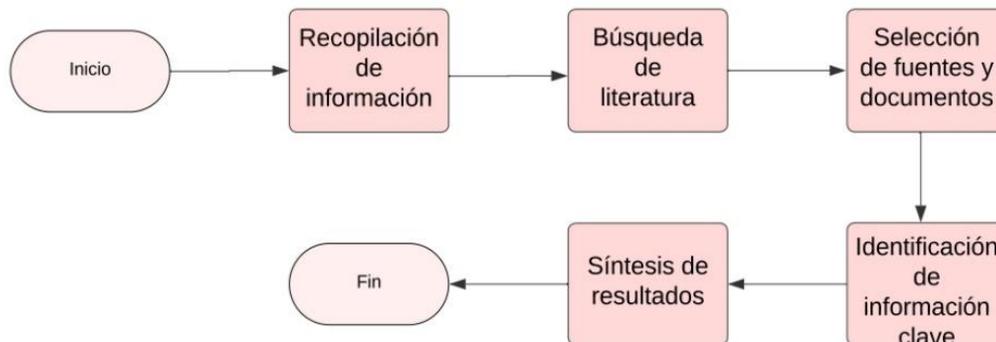
5.3.2.b. Ley 55 de 1993. “Establece los requisitos para la etiquetación de productos químicos. Esto es importante para garantizar que el producto cumpla con los estándares que incluye (Identificación del producto, información de seguridad, identificación del fabricante o importador, fecha de fabricación y vencimiento e instrucciones de manejo y almacenamiento” [31].

6. METODOLOGIA

6.1. Metodología para el estudio de propiedades fisicoquímicas

Figura 1.

Diagrama de bloques estudio de propiedades fisicoquímicas



Nota. La figura 1 ilustra el diagrama de bloques del estudio de las propiedades fisicoquímicas a estudiar.

La figura 1 ilustra un análisis inicial de las propiedades fisicoquímicas que se consideraron al seleccionar y desarrollar dispersantes para pinturas a base de agua. En este apartado, se realizó una revisión detallada de estudios previos que estudian los distintos tipos de dispersantes, evaluando su efectividad en términos de estabilidad coloidal y mejora en la dispersión de pigmentos. A su vez se investigaron los mecanismos de inhibición de la formación de incrustaciones en sistemas acuosos, prestando especial atención a los agentes químicos empleados, tales como polímeros acrílicos y sus derivados, y se analizaron factores que afectan su rendimiento, como el peso molecular, la carga iónica y la solubilidad.

Se identificaron las propiedades fundamentales que debe tener un dispersante en formulaciones de pinturas a base de agua, su compatibilidad con otros aditivos y componentes, así como su capacidad para dispersar. Por otro lado, se consideraron las posibles interacciones entre el dispersante y otros elementos del sistema, evaluando su influencia en la durabilidad y calidad del recubrimiento. Finalmente, se sugirió una metodología para la formulación del dispersante.

Vásquez llevó a cabo una serie de pruebas fisicoquímicas para evaluar el desempeño de una resina epóxica a base de agua. Los resultados mostraron que parámetros como el peso específico, la

viscosidad, el tiempo de secado, la dureza y el brillo son fundamentales para determinar la calidad del material. Esta investigación proporciono una base sólida sobre la importancia de las pruebas fisicoquímicas en la caracterización de materiales, destacando además el potencial de esta resina como dispersante en aplicaciones industriales [32].

Canosa, Alfieri y Guidice llevaron a cabo un conjunto de pruebas rigurosas para evaluar la resistencia y las formulaciones de pinturas acuosas basadas en dispersiones poliméricas modificadas, empleando ensayos de laboratorio que consideraron variables críticas como la retención de brillo y color, resistencia al frote, permeabilidad, pH, viscosidad y contenido de sólidos. Los resultados indicaron que las películas de pintura formuladas con dispersiones poliméricas modificadas con silicatos alcalinos presentaron una excelente resistencia al sustrato alcalino. En el contexto de la presente investigación, este estudio aportó datos valiosos sobre las pruebas de calidad que deben realizarse en pinturas que incluyen dispersantes, permitiendo una evaluación integral del desempeño del recubrimiento [33].

Con la información anterior y la recopilación de información que realizaron, fue esencial la toma de pH, viscosidad y contenido de sólidos ya que estos fueron de vital importancia a la hora de la elaboración de la ficha técnica del dispersante.

Tabla 1.

Especificaciones fisicoquímicas del dispersante por literatura

Característica	Especificación
Apariencia	Líquido traslúcido pardo
pH (directo)	6.4 – 7.1
Contenido de sólidos	39-41
Viscosidad Brookfield, 60 rpm (cPs)	400 - 12000

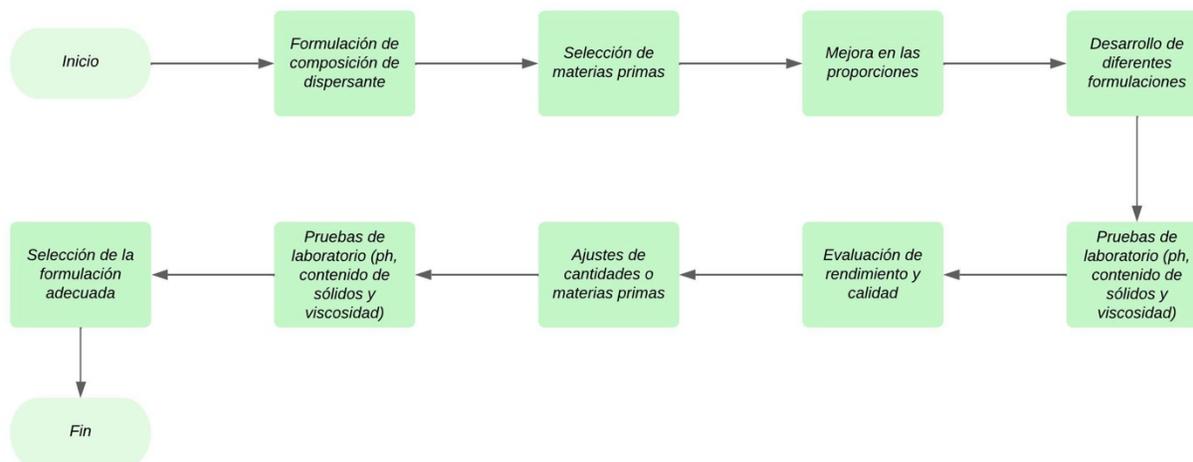
Nota. La tabla muestra las especificaciones fisicoquímicas del dispersante por literatura. Tomado de: E. D. C. es la S. de S. de un H. A. en S. A. D. C.-40 es un P. C. U. Ó. A. I. de la formación de incrustaciones Asegura el mantenimiento de una excelente dispersión., “Información del producto”, *Quimicacmv.com*. Disponible en: <https://venezuela.quimicacmv.com/wp-content/uploads/2023/05/FICHA-TECNICA-Dispersante-CMV40-Homopolim-Acrili-Sodio.pdf>.

6.2. Metodología formulación del dispersante

6.2.1. Paso a paso general de una formulación

Figura 2.

Diagrama de bloques general de la formulación del dispersante



Nota. La figura 2 ilustra el diagrama de bloques general de la formulación del dispersante.

La figura 2 ilustra el proceso de formulación del dispersante, iniciando con la selección de materias primas adecuadas. Estas materias primas deben ser compatibles con sistemas acuosos, poseer la capacidad de inhibir la formación de incrustaciones y cumplir con los estrictos requisitos de calidad establecidos para el producto final. Se evaluaron propiedades esenciales como la solubilidad, la estabilidad química y la eficacia como agentes dispersantes.

Para la optimización de proporciones, se planificaron y diseñaron experimentos enfocados en evaluar distintas composiciones del dispersante. En este contexto, se consideraron variables críticas como el tipo y la cantidad de cada materia prima, y se diseñaron experimentos específicos para determinar cómo estas variables influyen en el rendimiento y la eficacia del producto final.

Durante el desarrollo de las formulaciones, se llevó a cabo la síntesis del dispersante en el laboratorio, siguiendo protocolos establecidos que aseguraron la calidad del producto. Durante la síntesis, las condiciones de reacción se monitorearon rigurosamente, realizando ajustes precisos según fue necesario para optimizar el proceso.

Se realizaron pruebas de pH, contenido de sólidos por método gravimétrico y una prueba de viscosidad por Brookfield. Teniendo en cuenta la bibliografía consultada en la tabla 1, donde se presentaron las especificaciones fisicoquímicas.

Kuila, Blay, Borjas, Hughes, Maddox, Kay, Stansbury y Laurel investigaron la polimerización del ácido poliacrílico sintetizado en medio acuoso, utilizando un agente iniciador, en ausencia de un agente de transferencia de cadena. Este estudio sugirió que el ácido poliacrílico, polimerizado con un agente iniciador compatible, presenta características favorables como agente dispersante [35].

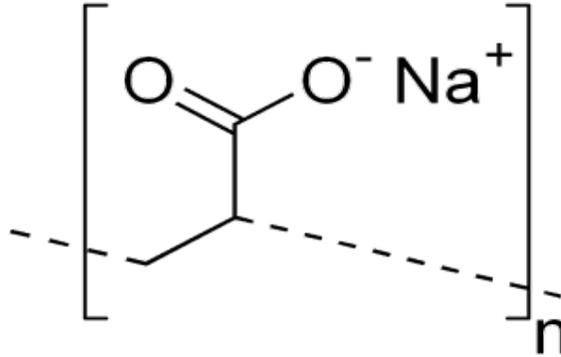
Con base en la información recopilada, se centró la investigación en el ácido poliacrílico, específicamente en su derivado, el poliacrilato de sodio. “El poliacrilato de sodio es una sal del ácido poliacrílico con la fórmula química $\text{CH}_2\text{CH}(\text{CO}_2\text{Na})$. Se caracteriza por ser un sólido blanco, inodoro y clasificado como no tóxico, perteneciente a la familia de polímeros súper absorbentes (SAP, por sus siglas en inglés). Este polímero es ampliamente utilizado en diversas aplicaciones debido a su notable capacidad de absorción de agua” [36].

« La capacidad absorbente del poliacrilato de sodio se debe a su estructura molecular, que contiene grupos carboxilato de sodio. Al entrar en contacto con el agua, estos grupos liberan iones negativos del carboxilo, que se repelen mutuamente. Esta repulsión facilita la estabilización de la estructura del polímero a través de la absorción de moléculas de agua, las cuales se unen a los iones carboxilato mediante puentes de hidrógeno. Como resultado, el poliacrilato de sodio puede absorber entre 200 y 300 veces su peso en agua y hasta 100 veces su volumen (hasta 500 veces si se utiliza agua destilada).

El poliacrilato de sodio es un polielectrolito compuesto por acrilatos, que son ésteres que contienen grupos vinílicos, es decir, dos átomos de carbono unidos por un doble enlace. Esta estructura se ilustra en la Figura 4. » [37].

Figura 3.

Fórmula química del poliacrilato de sodio



Nota. La figura 3 ilustra la formula química del poliacrilato de sodio. Tomada de: “Qué es el Poliacrilato de Sodio”, *Poliacrilato de Sodio*.

Disponible en:

<https://www.poliacrilatodesodio.com/>.

« El poliacrilato de sodio se obtiene a través de la neutralización de un polímero aniónico derivado de un monómero específico con una base adecuada. La síntesis del poliacrilato de sodio implica la polimerización del monómero en presencia de un agente iniciador, el cual puede ser un compuesto oxidante o un peróxido. La neutralización resulta en la formación del poliacrilato de sodio. » [38].

6.2.2. *Formulación del dispersante*

Tabla 2.

Materias primas clasificadas en las etapas del proceso

Materias primas para la elaboración del poliacrilato de sodio	
Etapa del proceso	Materia prima
I	Solvente
	Solvente / Antiespumante
II	Monómero acrílico
III	Agente iniciador de polimerización
	Solvente

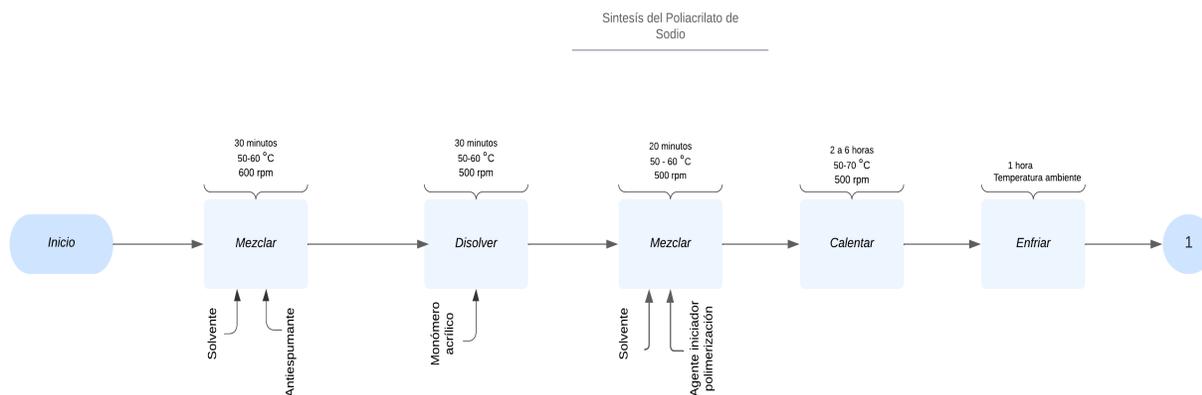
Tabla 2. (continuación)

Etapa del proceso	Materia prima
IV	Agente neutralizante
	Solvente
V	Agente espesante

Nota. La tabla 2 muestra las materias primas del dispersante clasificadas por etapa. Tomado de: Y. Bachra, A. Grouli, F. Damiri, X. X. Zhu, M. Talbi, y M. Berrada, “Synthesis, characterization, and swelling properties of a new highly absorbent hydrogel based on carboxymethyl guar gum reinforced with bentonite and silica particles for disposable hygiene products”, *ACS Omega*, vol. 7, núm. 43, pp. 39002–39018, 2022.

Figura 4.

Diagrama de bloques del proceso de síntesis del poliacrilato de sodio



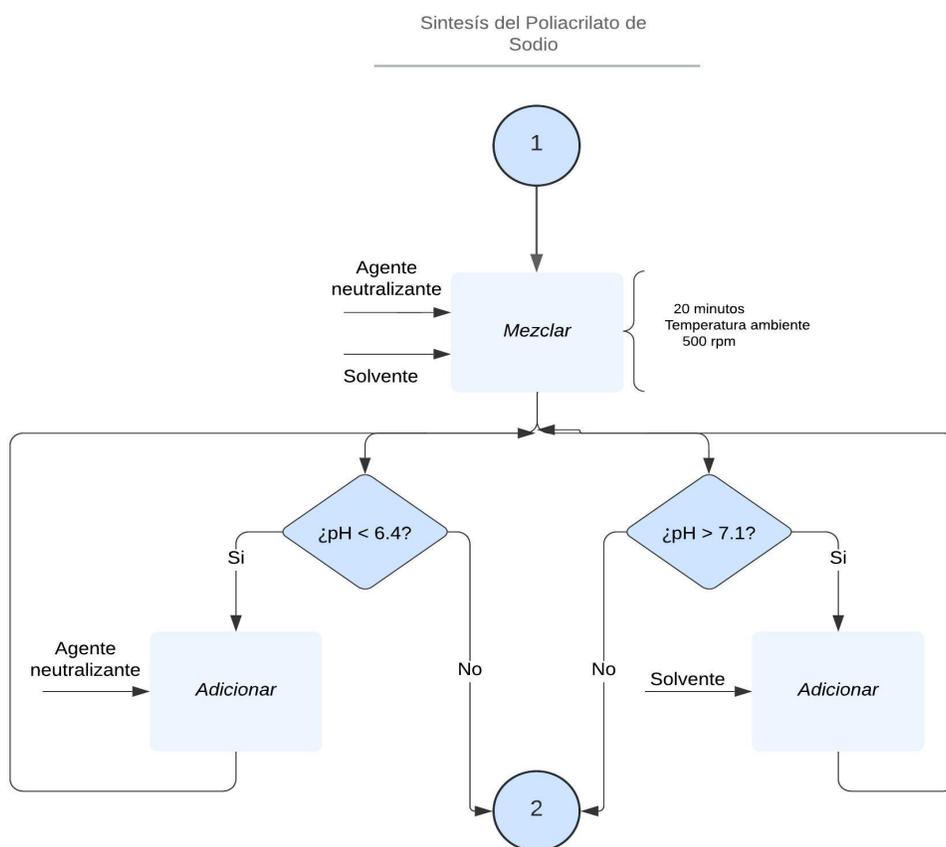
Nota. La figura 4 ilustra el proceso de síntesis del poliacrilato de sodio. Tomado de: D. Autor, “Dispersante acrílico modificado,” US Patent 6,326,478 B1, Dec. 4, 2001 y E. Autor y F. Autor, “Composición de dispersante y su uso,” European Patent EP1771447A1, Jan. 17, 2007.

En la figura 4 ilustra una pequeña parte síntesis del dispersante. Esta inició con la etapa de preparación donde se mezclaron a una temperatura entre 50-60°C, a 600 rpm, por un tiempo de 30 minutos las materias primas identificadas como solvente y antiespumante. Seguido, estuvo la etapa de polimerización donde en la mezcla anterior se disolvió en monómero acrílico a las mismas condiciones de temperatura, velocidad de agitación y tiempo, posteriormente se incorporó el

agente iniciador de la polimerización junto con una pequeña parte de solvente se debe mezcló muy bien a 60°C, 500 rpm y por 20 minutos, cuando todas las materias primas se incorporaron adecuadamente, se calentó la mezcla a 70°C, se mantuvo la velocidad de agitación en 500 rpm y esperando un tiempo entre 2 a 6 horas dependiendo del porcentaje de polimerización requerida. Pasado este tiempo y observando que la polimerización había llegado a su fin, la mezcla se enfrió hasta alcanzar la temperatura ambiente este proceso tardó aproximadamente una hora.

Figura 5.

Continuación diagrama de bloques del proceso de síntesis del dispersante

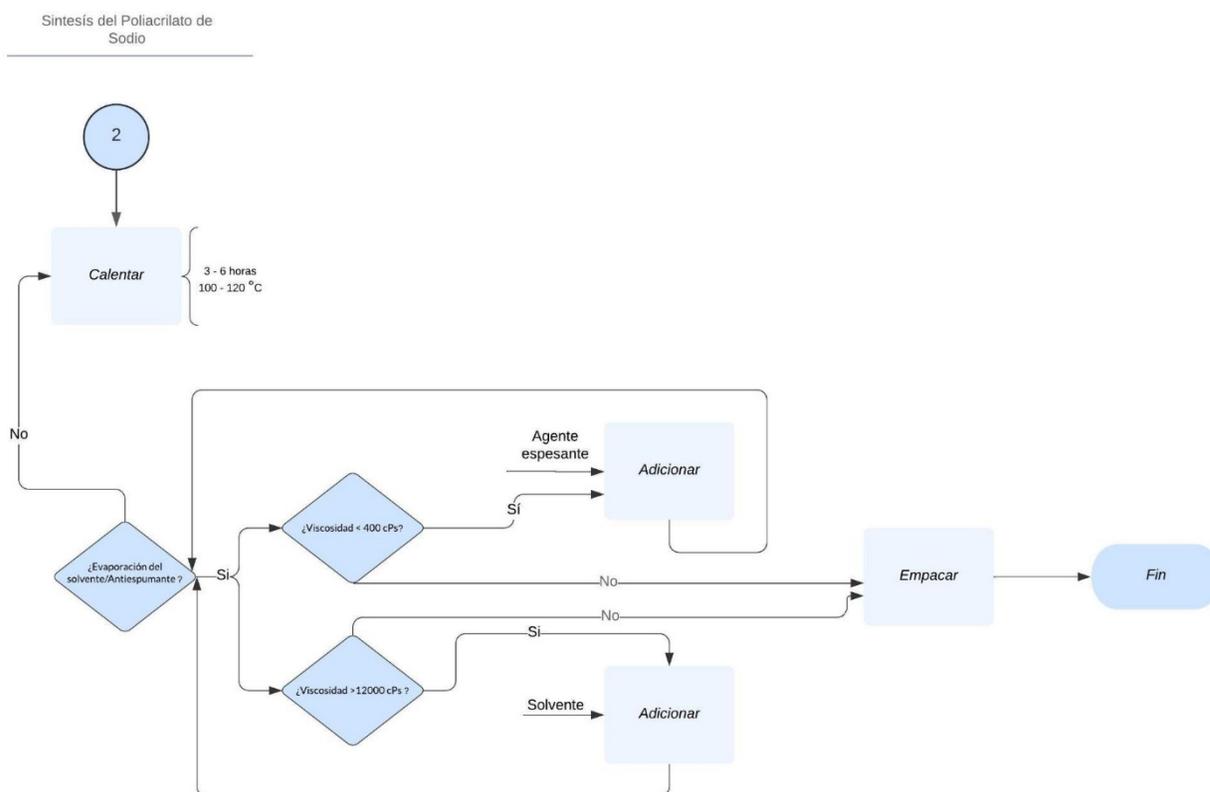


Nota. La figura 5 ilustra la continuación de la síntesis del poliácrlato de sodio. Tomado de: D. Autor, “Dispersante acrílico modificado,” US Patent 6,326,478 B1, Dec. 4, 2001 y E. Autor y F. Autor, “Composición de dispersante y su uso,” European Patent EP1771447A1, Jan. 17, 2007.

La figura 5 ilustra la continuación del proceso de síntesis del dispersante. Seguido del enfriamiento de la mezcla, se procedió a la etapa de neutralización, donde se añadió y mezcló el agente neutralizante con otra pequeña cantidad de solvente. Este proceso se realizó a temperatura ambiente, a 500 rpm, por un tiempo de 20 minutos hasta la disolución completa. Posteriormente, se midió el pH de la mezcla; como se mencionó anteriormente, este debía estar entre 6.4 y 7.1. Por lo tanto, si estuvo por debajo de 6.4, se adicionó un poco más de agente neutralizante, mientras que si estuvo por encima de 7.1, se añadió solvente y se volvió a hacer la medición.

Figura 6.

Continuación diagrama de bloques del proceso de síntesis del dispersante



Nota. La figura 6 ilustra la continuación de la síntesis del poliacrilato de sodio. Tomado de: D. Autor, “Dispersante acrílico modificado,” US Patent 6,326,478 B1, Dec. 4, 2001 y E. Autor y F. Autor, “Composición de dispersante y su uso,” European Patent EP1771447A1, Jan. 17, 2007.

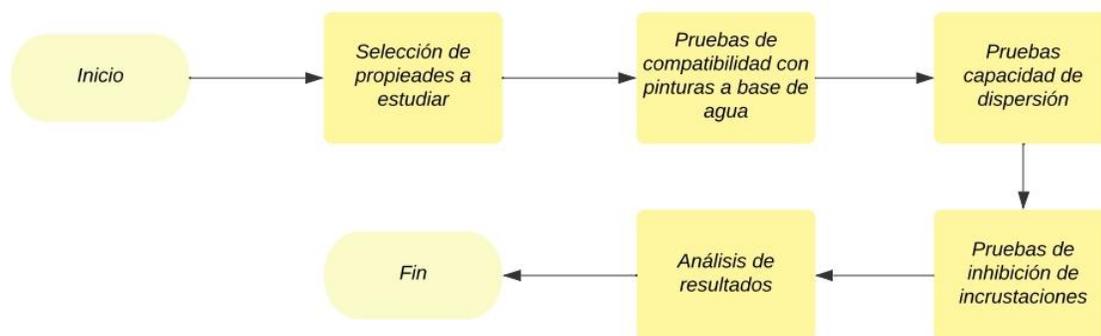
La figura 6 ilustra la continuación y finalización del proceso de síntesis del dispersante. Cuando ya se realizó la medición de pH y se cumplió con los requerimientos, se llevó a cabo la etapa de evaporación. Para ello, se calentó la muestra entre 100 y 120 °C durante unas 3 a 6 horas,

dependiendo de qué tan lento o rápido se evaporara el antiespumante. Seguido de esto, se midió la viscosidad; como se mencionó anteriormente, esta debía estar entre 400 y 12,000 cPs. Si estuvo por debajo de 400 cPs, se agregó poco a poco el agente espesante, mientras que si estuvo por encima de 12,000 cPs, se añadió solvente y se volvió a hacer la medición. Cuando se cumplieron con los estándares, se procedió a envasar el dispersante en tarros de vidrio para observar cualquier cambio.

6.3. Metodología pruebas a estudiar

Figura 7.

Diagrama de bloques pruebas a estudiar



Nota. La figura 7 ilustra el diagrama de bloques de las pruebas a estudiar.

La figura 7 ilustra detalladamente los procedimientos experimentales necesarios para la formulación del dispersante, iniciando con la identificación y selección de las propiedades cruciales que deben ser evaluadas. “Entre estas propiedades, se resalta la prueba de compatibilidad con pinturas a base de agua, la cual abarca el análisis de la mezcla inicial, la evaluación de la estabilidad de la mezcla a lo largo del tiempo, pruebas de rendimiento del dispersante, y un análisis absoluto de las propiedades fisicoquímicas resultantes” [42].

Además, se llevó a cabo la prueba de capacidad de dispersión, en la cual se evaluó la eficacia del dispersante para distribuir uniformemente los pigmentos o partículas sólidas presentes en la pintura a base de agua. « Este proceso incluye varias etapas clave: En primer lugar, se preparan muestras de pintura acuosa con diferentes concentraciones de dispersante; luego, se procede a la mezcla y homogenización, donde el dispersante se incorpora a cada muestra y se agita para asegurar

distribución uniforme. Posteriormente, se realiza una observación visual para identificar posibles problemas, como la formación de aglomerados, y se analizan las muestras resultantes. » [43].

Finalmente, se realizó la prueba de inhibición de incrustaciones, que evaluó la capacidad del dispersante para prevenir la formación de depósitos no deseados en las películas de pintura. « Este ensayo se desarrolla a través de los siguientes pasos: primero, se preparan muestras de pintura, tanto con dispersante y sin dispersante, bajo condiciones controladas; luego, se limpia y se acondiciona un sustrato adecuado para la aplicación de la pintura. La pintura se aplica de manera uniforme sobre el sustrato, y las muestras se dejan secar antes de ser expuestas a condiciones ambientales relevantes. Finalmente, se realiza una observación visual para evaluar la formación de incrustaciones en las superficies pintadas. » [44].

7. DISEÑO DE EXPERIMENTOS

7.1.Introducción

El diseño factorial completo fue una técnica experimental que permitió estudiar el impacto de múltiples factores sobre una respuesta, así como las posibles interacciones entre ellos. En esta tesis, se aplicó un diseño factorial para optimizar el proceso de elaboración del dispersante, evaluando cómo distintas combinaciones de factores afectaron las propiedades del producto final.

El propósito de este experimento fue identificar las combinaciones de factores en la preparación del dispersante, con el fin de obtener el producto con propiedades específicas, tales como viscosidad, pH y contenido de sólidos. Los factores investigados incluyeron las proporciones del solvente, el porcentaje de antiespumante, la concentración del monómero acrílico, el porcentaje del agente iniciador, el agente neutralizante y el agente espesante.

7.2.Variables

Las variables independientes se consideraron como las proporciones de las materias primas y las variables dependientes fueron la viscosidad, el pH y el contenido de sólidos. A continuación, en la tabla 3 se mostraron los niveles y rangos adoptados para los factores estudiados. Los rangos se definieron de manera que pudieran capturar el impacto en las propiedades físicas del dispersante, como la viscosidad, el pH y el contenido de sólidos. Se esperaba que, dentro de estos rangos, las propiedades de interés variaran significativamente, permitiendo así evaluar y optimizar tanto las cantidades de materia prima como el proceso.

Tabla 3.

Niveles y rangos de las variables independientes

Concentración de Materias primas	
Niveles	Rangos
1	Bajo
2	Medio

Tabla 3. (continuación)

Concentración de Materias primas	
3	Alto

Nota. La tabla 3 muestra los niveles y rangos de las variables independientes.

El nivel bajo se seleccionó para evaluar el comportamiento del dispersante cuando se debieron utilizar mínimas cantidades de una materia prima. Para este nivel, los intervalos considerados dependieron de cada materia prima ejemplificados en la tabla 4 . Este nivel ayudó a identificar la posible reducción de costos o minimizar el uso de ciertas materias primas sin comprometer la calidad del dispersante.

Tabla 4.

Rangos del nivel bajo por cada materia prima

Materia prima	Rangos del nivel Bajo (%)
Solvente	[0 , 30]
Solvente/Antiespumante	[0 , 10)
Monómero acrílico	[0 , 10)
Agente iniciador	[0 , 1)
Agente neutralizante	[0 , 0.5)
Agente espesante	[0 , 0.5)

Nota. La tabla 4 muestra los rangos del nivel bajo por cada materia prima.

El nivel medio representó un punto de equilibrio donde se esperó que las propiedades del polímero fueran estables para las aplicaciones industriales. Para este nivel, los intervalos considerados dependieron de cada materia prima, ejemplificados en la tabla 5. Este nivel fue importante para identificar las condiciones de materias primas estandarizadas del proceso.

Tabla 5.

Rangos del nivel medio por cada materia prima

Materia prima	Rangos del nivel Medio (%)
Solvente	(30 , 40]
Solvente/Antiespumante	[10 , 18)
Monómero acrílico	[10 , 15)
Agente iniciador	[1 , 1.5)
Agente neutralizante	[0.5 , 1)
Agente espesante	[0.5 , 3)

Nota. La tabla 5 muestra los rangos del nivel medio por cada materia prima.

El nivel alto permitió explorar el límite superior de las concentraciones para determinar si un aumento en las materias primas podía mejorar las propiedades del dispersante. Para este nivel, los intervalos considerados dependieron de cada materia prima, ejemplificados en la tabla 6.

Tabla 6.

Rangos del nivel alto por cada materia prima

Materia prima	Rangos del nivel Alto (%)
Solvente	(40 , 100]
Solvente/Antiespumante	[18 , 100]
Monómero acrílico	[15 , 100]
Agente iniciador	[1.5 , 100]
Agente neutralizante	[1 , 100]
Agente espesante	[3 , 100]

Nota. La tabla 6 muestra los rangos del nivel alto por cada materia prima.

Los rangos cambiaron dependiendo de la materia prima, puesto que algunas solo necesitaron mínimas cantidades, y las materias primas estuvieron limitadas porque solo se pidieron muestras comerciales por lo mismo no se planteó realizar réplicas de los experimentos.

7.3.Diseño del experimento

Se realizaron 7 experimentos, decisión tomada por el director de desarrollo e investigación de la empresa debido a consideraciones económicas relacionadas con la adquisición de las materias primas. Dado que estos experimentos se llevaron a cabo a escala de laboratorio, no se justificó un gasto elevado en grandes cantidades de materia prima. Por esta razón, se solicitaron a los proveedores muestras en pequeñas cantidades de cada componente necesario. Las combinaciones seleccionadas para estos experimentos fueron cuidadosamente elegidas para representar los diversos factores y niveles involucrados; esta decisión también fue a petición del director de desarrollo e innovación. Las combinaciones experimentales se detallaron en la Tabla 7.

Tabla 7.*Interacciones del diseño experimental*

Experimento	Solvente	Solvente / Antiespumante	Monómero acrílico	Agente Iniciador	Agente Neutralizante	Agente Espesante
1	Alto	Alto	Alto	Medio	Alto	Bajo
2	Alto	Medio	Alto	Alto	Alto	Bajo
3	Medio	Medio	Alto	Alto	Alto	Medio
4	Alto	Medio	Alto	Medio	Medio	Bajo
5	Bajo	Bajo	Medio	Medio	Medio	Medio
6	Medio	Bajo	Medio	Medio	Bajo	Bajo
7	Bajo	Medio	Alto	Bajo	Medio	Alto

Nota. La tabla 7 muestra las interacciones del diseño experimental por los 7 experimentos.

Con base en la información proporcionada, en la tabla 8, se prepararon mezclas según las proporciones específicas establecidas para cada combinación experimental. Fue fundamental mantener constantes tanto la temperatura como las condiciones de agitación durante todas las preparaciones. Se siguió paso a paso rigurosamente el procedimiento de la sección 6.3.2, se realizaron todas las mediciones y se registraron los datos.

Tabla 8.*Composición de los experimentos en porcentajes*

Experimento	Solvente (%)	Solvente / Antiespumante (%)	Monómero acrílico (%)	Agente Iniciador (%)	Agente Neutralizante (%)	Agente Espesante (%)	Observaciones
1	47%	20%	21%	1%	5%	0%	Se utilizó una

							proporción inicial basada en concentraciones altas, medias o bajas, según las sugerencias del jefe de desarrollo e investigación.
2	45%	15%	25%	2,5%	4%	0%	Debido a la notable separación de fases observada en el experimento anterior, se redujo la cantidad de solvente/antiespumante. El pH elevado, con un valor de 14, motivó la

							disminución en la concentración del agente neutralizante.
3	38%	10%	18%	1.5%	4%	0.5%	Para este ensayo, se redujo el solvente, ya que la muestra presentaba baja viscosidad. Además, se disminuyó ligeramente la cantidad de iniciador para analizar su efecto en el comportamiento de la muestra.
4	46%	10%	15%	1%	1%	0%	Se incrementó la cantidad

							de solvente, dado que las materias primas no se estaban mezclando adecuadamente. El pH extremadamente alto (14) condujo a una reducción considerable del agente neutralizante.
5	25%	0%	10%	1%	0.5%	1%	Se eliminó por completo el antiespumante y se emplearon cantidades mínimas de otras materias primas para observar los

							efectos de estas modificaciones..
6	35%	0%	10%	1%	0%	0%	Se mantuvo la ausencia del antiespumante y se eliminó completamente el agente neutralizante para continuar analizando su impacto en la formulación.
7	15%	18%	18%	0.5%	0.5%	3%	En este último ensayo, basado en

							observaciones previas y sugerencias del jefe de desarrollo e investigación, se ajustaron las materias primas para reducir la formación de espuma, corregir el pH y lograr la viscosidad requerida.
--	--	--	--	--	--	--	--

Nota. La tabla 8 muestra los porcentajes de cada materia prima utilizada por cada experimento y sus respectivas observaciones.

Los valores que se muestran en la tabla 8 son los porcentajes de materia prima usados para cada experimento basados en los rangos proporcionados anteriormente en la tabla 7 estos porcentajes fueron proporcionados por el director de desarrollo e investigación de la empresa para evaluar diferentes comportamientos del dispersante.

Tabla 9.

Resultados datos variables dependientes

Experimento	pH (Directo)	Viscosidad (cPs)	Contenido de sólidos (%)
1	14	700	47
2	14	700	47
3	14	300	34
4	8	100	27
5	7	80	12.5
6	6	76	11
7	7	600	40

Nota. La tabla 9 muestra los resultados de las variables independientes por cada experimento

Tabla 10.

Resultados de pH por cada experimento

Experimento	Imagen pH del experimento
1	

Tabla 10. (Continuación)

Experimento	Imagen pH del experimento
2	 A photograph showing a 1000ml beaker labeled 'BRIXCO' containing a white, opaque substance. A hand in a blue nitrile glove is holding a circular pH color chart (range 0-14) next to the beaker for comparison. The chart shows a color gradient from red (acidic) to purple (basic).
3	 A photograph showing a beaker with a white, foamy substance. A hand in a blue nitrile glove is holding a circular pH color chart (range 0-14) next to the beaker for comparison. The chart shows a color gradient from red (acidic) to purple (basic).

Tabla 10. (Continuación)

Experimento	Imagen pH del experimento
4	 A photograph showing a 250 ml glass beaker containing a white precipitate. A hand is holding a yellow pH strip, dipping it into the clear liquid above the precipitate. The beaker has volume markings at 100, 150, 200, and 250 ml. The background shows a coffee-making station with a 'COFFEE TIME' sign.
5	 A photograph showing a 600 ml glass beaker containing a white precipitate. A hand is holding a yellow pH strip, dipping it into the clear liquid above the precipitate. The beaker has volume markings at 200, 400, and 600 ml.

Tabla 10. (Continuación)

Experimento	Imagen pH del experimento
6	
7	

Nota. La tabla 10 muestra los resultados de pH por cada experimento.

Tabla 11.

Resultados viscosidad y contenido de sólidos de los experimentos

		
Muestra	Viscosidad (cPs)	Contenido de sólidos (%)
1	700	47
2	700	47
3	300	34
4	100	27
5	80	12.5
6	76	11
7	600	40

Equipo	
--------	---

Nota. La tabla 11 muestra los resultados de la viscosidad y el contenido de sólidos por cada experimento.

Los datos de la tabla 11 fueron proporcionados por el laboratorio de la empresa. No se contaron con registros fotográficos debido a la falta de autorización para capturar imágenes durante cada experimento. Sin embargo, se recibió la anterior relación de los datos obtenidos.

7.3.1. Hipótesis

7.3.1.a. Hipótesis nula (H_0) . No hay interacciones significativas entre los factores en su efecto sobre las propiedades medidas.

7.3.2.b. Hipótesis Alternativa (H_1). Existen interacciones significativas entre los factores que afectan las propiedades medidas.

7.4. Análisis estadístico

Se realizó un ANOVA para determinar la importancia de los efectos de cada factor individual y sus interacciones sobre las propiedades del dispersante.

Utilizando los datos de la tabla 9 y con ayuda de Excel se realizó el ANOVA, dando como resultado la tabla 12 y 13.

Tabla 12.

Resumen ANOVA

RESUMEN				
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
pH	7	70	10	14,3333
Viscosidad	7	2616	373,7142	90415,2381
Contenido de sólidos	7	326,5	46,6428	158,8928

Nota. La tabla 12 muestra el resumen del ANOVA realizado.

Tabla 13.

Análisis de ANOVA

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	561415,1667	2	280707,5833	9,2961	0,0016	3,5545
Dentro de los grupos	543530,7857	18	30196,1547			

Tabla 13. (Continuación)

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Total	1104945,952	20				

Nota. La tabla 13 muestra el análisis del ANOVA realizado.

7.5. Análisis de resultados del ANOVA

7.5.1. Significancia de los resultados

La probabilidad obtenida fue de 0.0017, que fue menor que el nivel de significancia común de 0.05. Esto indicó que se pudo rechazar la hipótesis nula, lo que significó que las diferencias observadas entre los grupos no fueron producto del azar. En términos prácticos, este resultado confirmó que los factores estudiados tuvieron un impacto estadísticamente significativo en las variables dependientes (viscosidad, pH y contenido de sólidos). Esto fue crítico para establecer que las variaciones en las proporciones de materias primas tuvieron efectos reales y medibles en las propiedades del producto final.

7.5.2. Comparación de grupos

El valor F de 9.30 fue mayor que el valor crítico de F de 3.55, lo que reforzó la decisión de rechazar la hipótesis nula, confirmando que al menos uno de los grupos tenía una media que era significativamente diferente de los otros grupos. Este resultado resaltó la importancia de los factores en juego y su influencia en el comportamiento del sistema.

- Grupo 1 (pH): Promedio = 10, Varianza = 14.33
- Grupo 2 (Viscosidad): Promedio = 373.71, Varianza = 90,415.24
- Grupo 3 (Contenido de sólidos): Promedio = 46.64, Varianza = 158.89

El grupo 2, es decir, la viscosidad, mostró una media y varianza extremadamente altas en comparación con los otros grupos, lo que indicó una gran sensibilidad a las condiciones experimentales en este rango de proporciones de materias primas.

7.5.3. Interpretación práctica

La varianza entre los grupos fue considerablemente alta, especialmente en el grupo dos, referente a viscosidad, que tuvo una varianza de 90,415, lo que indicó una gran dispersión de los datos dentro de ese grupo. Esta variabilidad pudo sugerir que la viscosidad fue altamente sensible a pequeñas variaciones en la concentración de las materias primas en este rango, lo que podría haber afectado negativamente la consistencia del producto final.

Por otro lado, el Grupo 1, correspondiente a pH, mostró una varianza mucho menor de 14.33, lo que indicó una mayor consistencia en los resultados de pH en niveles bajos de concentración de materias primas. Esto pudo sugerir que mantener concentraciones de materias primas en niveles bajos podría haber mejorado la reproducibilidad del proceso.

7.6. Conclusiones

A través del ANOVA, se determinó que existieron diferencias significativas entre los niveles de los factores estudiados, lo que implicó que las variaciones en las proporciones de las materias primas y las condiciones de proceso afectaron significativamente las propiedades del producto final.

Las conclusiones prácticas de este análisis fueron fundamentales para la optimización del proceso. Se recomendó explorar más a fondo los niveles bajos y altos de concentración de materias primas, ya que parecieron ofrecer una mayor estabilidad en las propiedades del producto. Además, la alta sensibilidad de la viscosidad en el grupo 2 indicó la necesidad de un control estricto en las concentraciones de materias primas.

Este análisis también proporcionó una base sólida para futuras investigaciones, sugiriendo que el enfoque debería centrarse en mejorar la consistencia del proceso en los rangos más críticos de concentración de materias primas.

8. BALANCE DE MASA

Teniendo en cuenta la composición porcentual del experimento 7 que fue el que más desempeño adecuado mostro con proporciones de:

- **Solvente:** 15%
- **Solvente / Antiespumante:** 18%
- **Monómero acrílico:** 18%
- **Agente iniciador:** 0.5%
- **Agente neutralizante:** 0.5%
- **Agente espesante:** 3%

Para producir 500 g de dispersante

8.1.Cantidades a tener en cuenta

1. Solvente:

$$\text{Cantidad de solvente} = 500 \text{ g} \times 0,15 = 75 \text{ g} \text{ [Ec. 1]}$$

2. Solvente / Antiespumante:

$$\text{Cantidad de antiespumante} = 500 \text{ g} \times 0,18 = 90 \text{ g} \text{ [Ec. 2]}$$

3. Monómero acrílico:

$$\text{Cantidad de monómero acrílico} = 500 \text{ g} \times 0,18 = 90 \text{ g} \text{ [Ec. 3]}$$

4. Agente iniciador:

$$\text{Cantidad de agente iniciador} = 500 \text{ g} \times 0,005 = 2.5 \text{ g} \text{ [Ec. 4]}$$

5. Agente neutralizante:

$$\text{Cantidad de neutralizante} = 500 \text{ g} \times 0,005 = 2.5 \text{ g} \text{ [Ec. 5]}$$

6. Agente espesante:

$$\text{Cantidad de espesante} = 500 \text{ g} \times 0,03 = 15 \text{ g} \text{ [Ec. 6]}$$

8.2. Balance de masa por etapa

Etapa I: Preparación de la mezcla inicial

Entradas:

- Solvente: 75 g
- Solvente / Antiespumante: 90 g

Salidas:

$$\text{Mezcla inicial} = 75 \text{ g (solvente)} + 90 \text{ g (antiespumante)} = 165 \text{ g [Ec. 7]}$$

Etapa II: Adición del monómero acrílico

Entradas:

- Mezcla inicial: 165 g
- Monómero acrílico: 90 g

Salidas:

$$\text{Nueva mezcla} = 165 \text{ g (Mez ini)} + 90 \text{ g (acrílico)} = 255 \text{ g [Ec. 8]}$$

Etapa III: Incorporación del agente iniciador

Entradas:

- Nueva mezcla: 255 g
- Agente iniciador: 2.5 g

Salidas:

$$\text{Mezcla después del ini} = 255 \text{ g (Nueva mez)} + 2.5 \text{ g (agente inic)} = 257.5 \text{ g [Ec. 9]}$$

Etapa IV: Adición del agente neutralizante

Entradas:

- Mezcla después de iniciador: 257.5 g
- Agente neutralizante: 2.5 g

Salidas:

$$\begin{aligned} \text{Mezcla después del neu} &= 257.5 \text{ g (mezcla despues del ini)} + 2.5 \text{ g (agente neutra)} \\ &= 260 \text{ g [Ec. 10]} \end{aligned}$$

Etapa V: Incorporación del agente espesante

Entradas:

- Mezcla después de neutralizante: 260 g
- Agente espesante: 15 g

Salidas:

$$\begin{aligned} \text{Mezcla antes de la evapo} &= 260 \text{ g (mezcla despues del neu)} + 15 \text{ g (agente esp)} \\ &= 275 \text{ g [Ec. 11]} \end{aligned}$$

8.3.Consideración de la evaporación

Dado que se asumió que el antiespumante se evaporó en un 99%, esto significó que solo quedó 1% de la masa inicial del antiespumante. Para garantizar que la masa final del dispersante fuera de 500 g después de la evaporación, se determinó la masa inicial necesaria:

$$\text{Masa final deseada} = \text{Masa inicial total} - \text{Pérdida [Ec. 12]}$$

8.3.1. Ajuste de cantidades

Se estableció que la masa inicial total debería ser:

$$\text{Masa inicial total} = \frac{500 \text{ g}}{0.01} = 5000 \text{ g [Ec. 13]}$$

8.4. Nuevas cantidades ajustadas

9. Solvente (15%):

$$\text{Cantidad de solvente} = 625 \text{ g} \times 0,15 = 93.75 \text{ g [Ec. 14]}$$

10. Solvente / Antiespumante (18%) :

$$\text{Cantidad de antiespumante} = 625 \text{ g} \times 0,18 = 112.5 \text{ g [Ec. 15]}$$

11. Monómero acrílico (18%) :

$$\text{Cantidad de monómero acrílico} = 625 \text{ g} \times 0,18 = 112.5 \text{ g [Ec. 16]}$$

12. Agente iniciador (0.5%):

$$\text{Cantidad de agente iniciador} = 625 \text{ g} \times 0,005 = 3.125 \text{ g [Ec. 17]}$$

13. Agente neutralizante (0.5%) :

$$\text{Cantidad de neutralizante} = 625 \text{ g} \times 0,005 = 3.125 \text{ g [Ec. 18]}$$

14. Agente espesante (3%) :

$$\text{Cantidad de espesante} = 625 \text{ g} \times 0,03 = 18.75 \text{ g [Ec. 6]}$$

8.5. Nuevas cantidades ajustadas

- Masa total inicial ajustada: 625 g
- Masa final deseada después de la evaporación: 500 g

8.6.Conclusión

El balance de masa mostró que, tras ajustar las proporciones y considerar la pérdida de masa por evaporación del antiespumante, se pudo asegurar que la masa final del dispersante fuera de 500 g. Este ajuste es crucial para asegurar que el producto final cumpla con los estándares de calidad requeridos.

9. RESULTADOS

Con base en la bibliografía consultada y los resultados de la sección 7.4 del diseño de experimentos (Tabla 6), se realizaron 7 pruebas con el fin de determinar los porcentajes adecuados de las materias primas a utilizar. A continuación, se presentaron los resultados obtenidos. Las 7 muestras mencionadas anteriormente se dejaron en reposo y observación durante 72 horas con el fin de monitorear variables como separación de fases, pH altos o bajos, viscosidades altas o bajas, presencia o ausencia de espuma, degradación del dispersante y malos olores. Los resultados de esta observación se mostraron en las siguientes imágenes:

Tabla 14.

Resultados visuales a las 72 horas de los experimentos

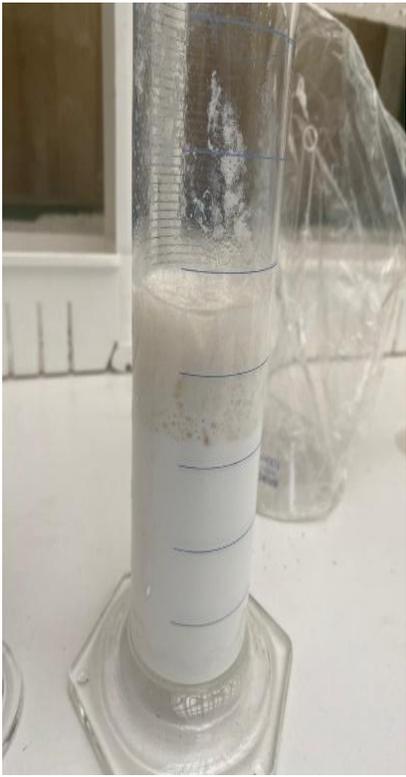
Experimento	Imagen	Observaciones
1		Se evidenció separación de fases, espuma, pH alto (14) y contenido alto de sólidos (47%).

Tabla 14. (Continuación)

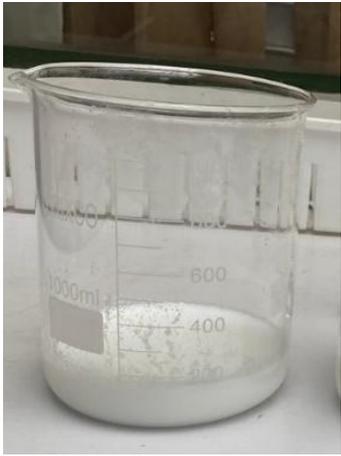
Experimento	Imagen	Observaciones
2		<p>Se evidenció separación de fases, pH alto (14) y contenido alto de sólidos (47%).</p>
3		<p>Separación de fases, pH alto (14), dispersante líquido y contenido bajo de sólidos (34%).</p>
4		<p>Se evidenció separación de fases, pH elevado (8), dispersante muy líquido y contenido muy alto de sólidos (274%).</p>

Tabla 14. (Continuación)

Experimento	Imagen	Observaciones
5		Se evidenció grumos, pH normal (7) , dispersante líquido y demasiada espuma
6		Se evidenció pH bajo (6) , dispersante muy líquido, contenido alto de sólidos (11) y demasiada espuma.
7		Se evidenció separación de fases y un pH normal (7).

Nota. La tabla 14 muestra los resultados visuales de cada experimento después de 72 horas de reposo.

10. ANALISIS DE RESULTADOS

El objetivo principal de este trabajo fue desarrollar un dispersante para pinturas a base de agua con propiedades de inhibición de incrustaciones. Para lograr este objetivo, se utilizaron diferentes materias primas en distintas proporciones y se realizaron 7 pruebas para analizar diferentes comportamientos.

Se observó la ocurrencia del fenómeno de separación de fases debido a la incompatibilidad del antiespumante con el solvente. No obstante, la inclusión del antiespumante fue crucial durante la síntesis del poliacrilato de sodio, dado que, como se detalló en las imágenes de la tabla 14, las pruebas 5 y 6 realizadas sin antiespumante mostraron una notable generación de espuma. Además, el antiespumante actuó como solvente, previniendo la formación de grumos.

Con base en las observaciones, se identificó que la muestra 7 fue la más adecuada, aunque todavía presentó problemas de separación de fases, como se evidenció en la Imagen 8. Para mitigar este problema, se planteó calentar nuevamente la mezcla para eliminar completamente el antiespumante que no fue miscible con el solvente. Asimismo, se llevó a cabo un ajuste de viscosidad mediante la adición gradual del agente espesante, ya que el dispersante inicial manifestó una viscosidad demasiado baja de 14 cPs.

Tabla 15.

Especificación de la formulación adecuada del dispersante

Experimento	Solvente	Solvente / Antiespumante	Monómero acrílico	Agente Iniciador	Agente Neutralizante	Agente Espesante
7	15%	18%	18%	0.5%	0.5%	3%

Nota. La tabla 15 muestra las especificaciones en porcentaje que tuvo el dispersante que mostro un mejor comportamiento.

Tras realizar 7 experimentos iniciales, se identificó la formulación adecuada para el dispersante a base de agua. Se llevaron a cabo 6 pruebas adicionales, variando las cantidades de las materias

primas según los niveles de pH, viscosidad y contenido de sólidos observados en los experimentos anteriores tabla 8.

Esta combinación cumplió con los parámetros de calidad exigidos y mostró una notable estabilidad en las propiedades del dispersante, garantizando su eficacia en aplicaciones prácticas. La metodología de ajuste y variación permitió mejorar la formulación y asegurar que el dispersante cumpliera con los estándares requeridos en la empresa.

Tabla 16.

Resultados fisicoquímicos de la formulación adecuada

Experimento	7
pH (Directo)	7
Viscosidad (cPs)	600
Contenido de sólidos (%)	40

Nota. La tabla 16 muestra los resultados fisicoquímicos de la formulación adecuada.

Figura 8.

*Separación de fases
experimento 7*



Nota. La figura 8 muestra la separación de fases que se presentó en el experimento 7.

Durante la evaluación de las muestras, se observó la separación de fases en ciertas formulaciones, lo cual fue un fenómeno crítico que requería un análisis más profundo. Esta separación de fases puede atribuirse a varios factores teóricos que afectan la compatibilidad y estabilidad de los componentes en la mezcla [12] [45] [46].

1. **Incompatibilidad de los Componentes:** La incompatibilidad entre el antiespumante y el solvente fue evidente en las pruebas realizadas. Dado que el antiespumante está diseñado para actuar en ciertas condiciones, su polaridad diferente en comparación con el solvente puede haber contribuido a la falta de mezcla adecuada. Esto sugiere que la selección de aditivos debe ser cuidadosa para asegurar que sean compatibles con los solventes utilizados en la formulación.
2. **Viscosidad y Estabilidad de la Mezcla:** Se observó que las formulaciones con mayor viscosidad tendieron a evitar la separación de fases. Esto se atribuye a varios factores:

- **Aumento de la resistencia al flujo:** Una mayor viscosidad incrementa la resistencia al flujo de la mezcla, lo que reduce la movilidad de las partículas y ayuda a mantener una distribución uniforme de los componentes.
 - **Mejor dispersión:** Las mezclas más viscosas permiten una mejor dispersión de los sólidos y otros componentes, lo que minimiza la probabilidad de agrupamientos que podrían resultar en la separación.
 - **Estabilidad estructural:** Una mayor viscosidad genera una estructura interna más estable, fortaleciendo las interacciones entre las moléculas y partículas, lo que previene la migración hacia diferentes fases.
 - **Retardo en la sedimentación:** En formulaciones líquidas, una mayor viscosidad disminuye la velocidad de sedimentación de las partículas, lo que contribuye a mantenerlas en suspensión.
3. **Diferencias en Polaridad:** La polaridad de los componentes es crucial en sistemas de pinturas a base de agua. Los antiespumantes, que a menudo son apolares, pueden no mezclarse bien con solventes polares, lo que puede resultar en la formación de fases distintas. Este aspecto debe considerarse al formular mezclas, ya que puede llevar a problemas de estabilidad en el producto final.
 4. **Condiciones de Proceso:** Las condiciones de temperatura y presión durante la síntesis también jugaron un papel importante en la solubilidad de los componentes. Si la temperatura no se mantuvo dentro de los rangos adecuados, esto podría haber afectado la solubilidad del antiespumante, contribuyendo a la separación de fases. Por lo tanto, es esencial optimizar estas condiciones para mejorar la estabilidad del dispersante.
 5. **Concentración de Materias Primas:** La variación en las concentraciones de las materias primas utilizadas en las formulaciones podría haber influido en la dispersión del antiespumante. Un exceso de antiespumante o solvente puede resultar en una mezcla inestable. Por lo tanto, es recomendable realizar ajustes finos en las proporciones de cada componente para lograr una mezcla más homogénea y evitar la separación de fases.
 6. **Recomendaciones para Futuras Investigaciones:** Para abordar estos problemas, se sugiere realizar experimentos adicionales que evalúen diferentes combinaciones de antiespumantes y solventes, así como la optimización de las condiciones de proceso. Esto incluiría pruebas a

diferentes temperaturas y la evaluación de la influencia de las concentraciones de materias primas en la estabilidad del dispersante.

Finalmente, considerando que el dispersante cumple con las especificaciones de pH y viscosidad, se procedió a formular una pintura a base de agua para evaluar su desempeño a nivel cualitativo y visual.

Figura 9.

Prueba de la pintura en superficie rugosa



Nota. La figura 9 muestra la prueba realizada en pintura acuosa en superficie rugosa.

En la Figura 9 se pudo observar que la placa café pintada sin dispersante parte superior de la imagen presentó un acabado menos uniforme en comparación con la placa pintada con dispersante parte inferior de la imagen, que mostró una mejor cobertura, mayor intensidad de color y mayor brillo. Adicionalmente, se realizó una prueba de pigmentación para verificar la efectividad del dispersante en su función.

Figura 10.

Prueba de dispersión de pigmentos



Nota. La figura 10 muestra la prueba realizada para pigmentos.

En la parte izquierda de la figura 10 se le añadió pigmento a la pintura sin dispersante, mientras que en la parte derecha se añadió pigmento a la pintura con dispersante, evidenciando una mayor intensidad de color y brillo en la pintura que contiene el dispersante.

La cantidad de dispersante necesaria para cada formulación de pintura depende de las características específicas de la pintura y de los pigmentos utilizados. Por lo tanto, es fundamental realizar una evaluación detallada de cada tipo de pintura para identificar la cantidad adecuada de dispersante que garantice una dispersión adecuada de los pigmentos y el desempeño deseado del producto final.

A pesar de que esta evaluación es crucial, la literatura ofrece directrices que pueden servir como punto de partida. En muchos casos, se recomienda una cantidad de dispersante de aproximadamente 0.1% calculado en peso sobre el pigmento [47].

Sin embargo, es importante tener en cuenta que esta recomendación puede no ser aplicable a todas las pinturas, ya que factores como la naturaleza del pigmento, la viscosidad de la base de la pintura y las condiciones de aplicación pueden influir en la efectividad del dispersante. Por ello, aunque las pautas de la literatura son valiosas, cada formulación debe ser evaluada de manera individual para asegurar un rendimiento adecuado.

Figura 11.

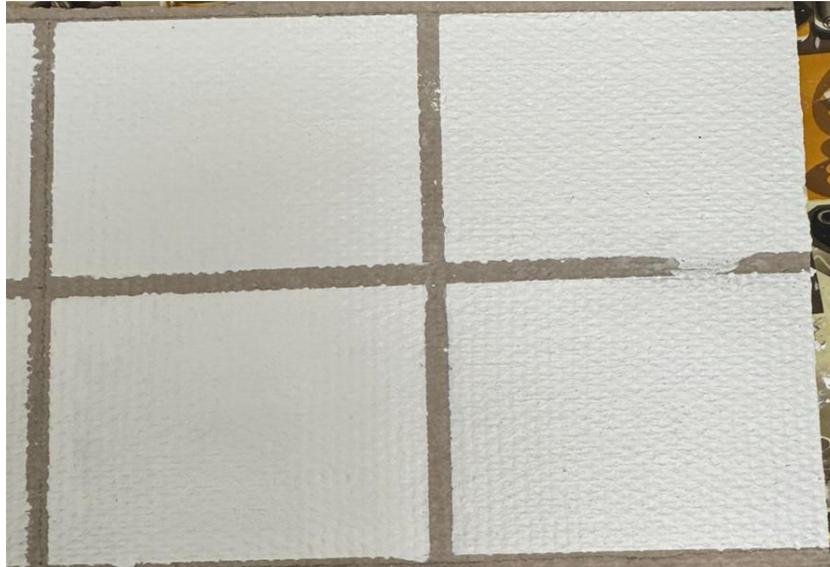
Prueba de inhibición de incrustaciones en pintura comercial



Nota. La figura 11 ilustra la prueba de inhibición de incrustaciones de una pintura comercial

Figura 12.

Prueba de inhibición de incrustaciones



Nota. La figura 12 ilustra la prueba de inhibición de incrustaciones de una pintura que contiene el dispersante.

La prueba realizada se hizo sobre una superficie semi rugosa con incrustaciones, la figura 11 muestra la prueba realizada con una pintura comercial mientras que la figura 12 se realizó con la pintura que contiene el dispersante, esta prueba evidencia el poder cubriente que tiene la pintura con el dispersante, así como su capacidad de inhibir las incrustaciones. Esta prueba de inhibición de incrustaciones es netamente visual ya que realizarlo con maquinaria como espectrofotometría sale muy costoso.

11. CONCLUSIONES

A lo largo de este proyecto, se logró desarrollar un nuevo dispersante para pinturas a base de agua con propiedades inhibidoras de incrustaciones. Aunque se presentaron desafíos relacionados a la separación de fases, el dispersante formulado (Experimento 7) mostró un desempeño prometedor. Se identificaron las propiedades químicas y físicas críticas para la efectividad del dispersante, tales como estabilidad de fase (0% de separación en 72 horas), control de pH ($\text{pH} = 7$), viscosidad adecuada (600 cPs) y reducción de espuma excesiva. Los resultados experimentales indicaron que el manejo adecuado de estas propiedades es fundamental para evitar la separación de fases y asegurar la funcionalidad del dispersante en aplicaciones industriales.

La formulación desarrollada alcanzó los estándares de calidad exigidos, particularmente en términos de pH, viscosidad y contenido de sólidos. Sin embargo, los resultados sugieren que es necesario optimizar la compatibilidad del antiespumante con el solvente para mejorar la estabilidad general del dispersante. Estas observaciones proporcionan una base sólida para la realización de futuras optimizaciones de la formulación, con el objetivo de perfeccionar su desempeño y estabilidad a largo plazo.

Las pruebas de rendimiento realizadas demostraron que el dispersante formulado mejora de manera significativa la calidad de la pintura a base de agua, evidenciando una mejor cobertura, mayor intensidad de color y brillo superior en comparación con la pintura sin dispersante. Además, los ensayos de pigmentación confirmaron la efectividad del dispersante, validando su capacidad para cumplir con los requisitos de calidad establecidos por la empresa un pH que este entre 6.4 a 7.1, un contenido de solidos entre el 39% al 41% y una viscosidad entre 400 cPs a 12000 cPs.

El desarrollo de este dispersante representa un avance importante en la formulación de aditivos para pinturas a base de agua con propiedades inhibidoras de incrustaciones. Si bien los resultados obtenidos son alentadores, se identificaron áreas de mejora que deben ser abordadas en trabajos futuros para optimizar la estabilidad y efectividad del producto. Con las mejoras adecuadas, el dispersante tiene el potencial de convertirse en una solución viable y eficiente para la industria de pinturas, cumpliendo con los estándares de calidad requeridos mejorando el desempeño del producto final.

La aplicación de las teorías de adsorción, dispersión coloidal y enlaces químicos permitió desarrollar un dispersante efectivo para pinturas a base de agua con propiedades inhibitoras de incrustaciones. Estas teorías facilitaron la optimización de la estabilidad, dispersión y funcionalidad del dispersante, asegurando una interacción adecuada con las partículas de pigmento y mejorando la calidad del producto final. Los principios adsorptivos y coloidales guiaron la prevención de aglomeración, mientras que las interacciones químicas mejoran la durabilidad y estabilidad del sistema.

REFERENCIAS

- [1] Química CMV - Colombia. Disponible en: <https://colombia.quimicacmv.com/nosotros/>.
- [2] Jiménez, F.A. (2021) *Fabricantes de Pinturas Enfrentan Escasez y Aumento de Precios de Materias Primas*, *www.elcolombiano.com*. Available at: <https://www.elcolombiano.com/negocios/empresas/insumos-para-produccion-de-pinturas-estan-escaso-y-caros-KC15716840>.
- [3] M. R. Alexander, A. E. Bradley, K. M. Doherty, and R. S. Nicholls, "Adsorption of surfactants on particles and the resulting stability of aqueous dispersions," **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, vol. 547, pp. 123-131, Jan. 2018.
- [4] L. Wang, J. Huang, and Y. Zhao, "Effect of dispersant adsorption on the stability of aqueous nano-suspensions," **Journal of Colloid and Interface Science**, vol. 542, pp. 156-162, Apr. 2019.
- [5] X. Liu, Y. Zhao, and Y. Feng, "Investigation of dispersant adsorption and stabilization mechanisms on particulate surfaces in aqueous media," **Langmuir**, vol. 35, no. 4, pp. 1056-1064, Feb. 2021.
- [6] R. J. Hunter, **Foundations of Colloid Science**, 2nd ed. Oxford, U.K.: Oxford University Press, 2001.
- [7] D. D. L. Chung and R. L. C. McCormick, "The role of surfactants in colloidal stability and flocculation," **Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects**, vol. 172, no. 1-3, pp. 151-161, 2000.
- [8] Y. Wang and J. J. E. Alexander, "Recent advances in colloidal dispersions for industrial applications," **Adv. Colloid Interface Sci.**, vol. 277, pp. 125-145, 2023.
- [9] L. M. B. De Graaf and J. C. De La Cruz, "Mechanisms of colloidal stabilization and flocculation in paints," **Prog. Org. Coat.**, vol. 102, pp. 191-205, 2021.
- [10] B. A. Moulton and C. A. Hunter, "Supramolecular chemistry: From molecules to nanomaterials," Oxford University Press, 2017.
- [11] K. S. Kim, "Chemical bonding and molecular structure: A modern introduction," Cambridge University Press, 2019. [12] M. D. Ward and F. C. MacDonald, "Supramolecular chemistry: Self-assembly and supramolecular devices," Wiley, 2021.
- [12] M. D. Ward and F. C. MacDonald, "Supramolecular chemistry: Self-assembly and supramolecular devices," Wiley, 2021.

- [13] J. S. Moore, "The new supramolecular chemistry: An overview of current research," **Angewandte Chemie International Edition**, vol. 60, no. 12, pp. 7430-7441, 2021.
- [14] F. y. caracterización., "pinturas, barnices y afines", Upm.es. Disponible en: https://oa.upm.es/39501/1/Pinturas_barnices_y_afines_2020.pdf. [15] J. C. Carbonell, **Pinturas y recubrimientos**, Ediciones Díaz de Santos, 2009.
- [15] J. C. Carbonell, **Pinturas y recubrimientos**, Ediciones Díaz de Santos, 2009.
- [16] *The indispensability of dispersants* (no date) *Lubrizol*. Available at: <https://espanol.lubrizol.com/Coatings/Blog/2019/02/Indispensability-of-Dispersants>.
- [17] *Dispersants 101 - why use a dispersant in Paints & Coatings* (no date) *Lubrizol*. Available at: <https://espanol.lubrizol.com/Coatings/Blog/2022/07/Dispersants-101>.
- [18] G. A. C. G., "Evolución de los dispersantes de pigmentos en la industria de recubrimientos", Com.co. Disponible en: <https://aquaterra.com.co/wp-content/uploads/PRESENTACION%CC%81NEVOLUCION%CC%81N-DE-DISPERSANTES-de-PIGMENTOS.pdf>.
- [19] G. Odian, **Principles of Polymerization**, Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2004.
- [20] F. W. Billmeyer, **Textbook of Polymer Science**, New York, NY, USA: John Wiley & Sons, 1984.
- [21] D. R. Paul and C. B. Bucknall, **Polymer Blends Volume 1: Formulation**, Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2000.
- [22] *Standard test method for pH of aqueous solutions with the glass electrode* (no date) *E70*. Available at: <https://www.astm.org/e0070-19.html>.
- [23] "Standard test method for pH of aqueous solutions with the glass electrode," ASTM.org. Disponible en: <https://www.astm.org/e0070-19.html>.
- [24] "¿Qué es la viscosidad?", Labomat Essor. Disponible en: <https://labomat.eu/es/preguntas-mas-frecuentes/824-que-es-la-viscosidad.html>.
- [25] "Standard test methods for rheological properties of non-Newtonian materials by rotational (Brookfield type) viscometer," ASTM.org. Disponible en: <https://www.astm.org/d2196-10.html>.
- [26] O. Chem, "Poliacrilato de sodio," Productos Industriales Perú. Disponible en: <https://www.productosindustriales.pe/2020/11/30/poliacrilato-de-sodio/>.

- [27] M. De trabajo y seguridad social, “Resolución 2400 de 1979,” SECRETARÍA JURÍDICA DISTRITAL, may-1979. Disponible en: <https://intranet.secretariajuridica.gov.co/transparencia/marcolegal/normatividad/resoluci%C3%B3n-2400-1979>.
- [28] “Ley 9 de 1979 - Gestor Normativo,” Gov.co. Disponible en: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=1177>.
- [29] Gov.co. Disponible en: <https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/normativa/2400%20-%201979.pdf>.
- [30] “Decreto 4741 de 2005,” Gov.co, 12-2005. Disponible en: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=18718>.
- [31] “Ley 55 de 1993 Congreso de la República de Colombia,” Gov.co. Disponible en: <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=37687>.
- [32] “Uso de emulsión epóxica de base agua como alternativa ecológica,” “Universidad Nacional de Ingeniería,” Archive.org. Disponible en: https://web.archive.org/web/20180504025323id_/http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/3612/1/vasquez_ch.pdf
- [33] G. Cannosa, P. V. Alfieri, y C. A. Giudice, “Pinturas acuosas basadas en dispersiones poliméricas modificadas para la protección de fachadas del patrimonio cultural,” Edu.ar. Disponible en: https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/77798/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- [34] E. D. C. es la S. de S. de un H. A. en S. A. D. C.-40 es un P. C. U. Ó. A. I. de la formación de incrustaciones asegura el mantenimiento de una excelente dispersión., “Información del producto,” Quimicacmv.com. Disponible en: <https://venezuela.quimicacmv.com/wp-content/uploads/2023/05/FICHA-TECNICA-Dispersante-CMV40-Homopolim-Acili-Sodio.pdf>.
- [35] “Homopolímero de ácido acrílico equivalente a Sokalan PA 25 CL,” Kylin-chemicals.com. Disponible en: <https://es.kylin-chemicals.com/acrylic-dispersant-polymers-thickeners/37118333.html>.
- [36] D. Kuila et al., “Polyacrylic acid (poly-A) as a chelant and dispersant,” *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 73, no 7, pp. 1097–1115, 1999.

- [37] “Qué es el poliacrilato de sodio,” Poliacrilato de sodio. Disponible en: <https://www.poliacrilatodesodio.com/>.
- [38] D. del Castillo and E. García, "Evaluación técnico-financiera a nivel de laboratorio de la utilización del poliacrilato de sodio como extendedor de bentonita en fluidos de perforación base agua.
- [39] Y. Bachra, A. Grouli, F. Damiri, X. X. Zhu, M. Talbi, y M. Berrada, “Synthesis, characterization, and swelling properties of a new highly absorbent hydrogel based on carboxymethyl guar gum reinforced with bentonite and silica particles for disposable hygiene products,” **ACS Omega**, vol. 7, no. 43, pp. 39002–39018, 2022.
- [40] D. Autor, “Dispersante acrílico modificado,” US Patent 6,326,478 B1, Dec. 4, 2001 y E.
- [41] Autor F. Autor, “Composición de dispersante y su uso,” European Patent EP1771447A1, Jan. 17, 2007.
- [42] A. Johnson and L. White, "Compatibility testing in waterborne coatings," **Journal of Coating Technology**, vol. 45, no. 3, pp. 123-135, Mar. 2018, doi: 10.1016/j.jct.2018.03.014.
- [43] D. Turner and K. Harris, "Dispersing pigments in waterborne coatings," **Advances in Paint Formulation**, vol. 50, no. 6, pp. 987-999, Jun. 2019, doi: 10.1002/adpf.2019.06.050.
- [44] R. Collins and E. Roberts, "Anti-fouling properties of dispersants in waterborne paints," **International Journal of Coatings Technology**, vol. 65, no. 2, pp. 213-225, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.ijct.2021.02.015.
- [45] J. H. Lee and S. Y. Kim, “Effects of viscosity on the stability of emulsions,” **Journal of Colloid and Interface Science**, vol. 295, no. 1, pp. 140-146, Nov. 2006.
- [46] P. M. K. Paranjpe and R. M. Bodade, “Phase separation in polymer blends: causes and remedies,” **Polymer Reviews**, vol. 52, no. 3, pp. 123-150, Aug. 2012.
- [47] J. D. Smith and L. M. Johnson, “Optimization of dispersant levels in paint formulations,” **Journal of Coatings Technology and Research**, vol. 8, no. 4, pp. 305-312, Jul. 2011.

ANEXO 1

FICHA TECNICA DEL DISPERSANTE

Hoja de Información
Técnica



QUIMICA CMV SAS

Parque Industrial del norte bodega 41
Tocancipá – Colombia

Tel (+57) 601 8786523
[https:// Quimicacmv.com/](https://Quimicacmv.com/)

Dispersante

El Dispersante es la sal de sodio de un homopolímero acrílico en solución acuosa conocido por su capacidad de secuestro de dureza, lo que lo convierte en un eficaz inhibidor y dispersante de incrustaciones.

Propiedades Físicoquímicas

Característica	Especificación
Apariencia	Líquido blanco/lechoso
Contenido de sólidos 135°C, 1h (%)	40
pH (directo)	7
Viscosidad Brookfield, 60 rpm (cPs)	600

Aplicación

Cada aplicación específica requiere evaluaciones tendientes a encontrar las dosis óptimas que optimicen la relación costo beneficio.

Les ofrecemos la información que es de nuestro conocimiento. Sin embargo, no nos hacemos responsables de ningún daño que pueda resultar de utilización, pues las condiciones de uso de nuestros productos escapan a nuestro control. Para las especificaciones del producto referimos al certificado del análisis. En materia de salud y seguridad los remitimos al SDS.