

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**“ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA FORMULACIÓN Y DEL
PROCESO DE ELABORACIÓN EN LA CALIDAD DE DIFERENTES
TIPOS DE RECUBRIMIENTOS ARQUITECTÓNICOS PARA UNA
FÁBRICA DE PINTURAS”**

REALIZADO POR:

JACKELINE ROSMERY RICO JARAMILLO

**Trabajo de Grado Presentado ante la Universidad de Oriente como
Requisito Parcial para Optar al Título de INGENIERO QUÍMICO**

PUERTO LA CRUZ, FEBRERO DE 2010.

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**“ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA FORMULACIÓN Y DEL
PROCESO DE ELABORACIÓN EN LA CALIDAD DE DIFERENTES
TIPOS DE RECUBRIMIENTOS ARQUITECTÓNICOS PARA UNA
FÁBRICA DE PINTURAS”**

REALIZADO POR:

Jackeline Rico

Ing. Quím. Alexis Cova M.Sc.

Asesor Académico

PUERTO LA CRUZ, FEBRERO DE 2010

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA



JURADO

Ing. Químico Fidelina Moncada
(M.S.C.)

Jurado Principal

Ing. Quím. Shirley Marfisi
M.Sc. Dra

Jurado Principal

Ing. Quím. Alexis Cova M.Sc.
Asesor Académico

PUERTO LA CRUZ, FEBRERO DE 2010

RESOLUCIÓN

De acuerdo al artículo 41 del reglamento de trabajos de grado de la Universidad de Oriente:

“Los trabajos de grado son de exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario”.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mis amados padres y hermanos, por su amor y apoyo incondicional.

Y por último, a todos los estudiantes de esta carrera, espero que este trabajo les permita despejar sus dudas e inquietudes y les sirva de ayuda en futuras investigaciones.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, le doy gracias a Dios y a la Virgen, por darme la fortaleza que me permitió levantarme después de mis caídas, sabiduría para comprender y aprender de mis errores y finalmente, por guiarme por el mejor camino para culminar en buen término la redacción de este trabajo de grado.

A mi mami Emma Jaramillo mi gran amiga por su amor incondicional, por haber luchado a lomo partido por mí y todos mis hermanos, gracias por ser mi madre, estoy muy orgullosa de ti. A mi papa Alfredo Rico que ha sido mi ejemplo a seguir, por el ingenio que tiene para resolver los problemas que se te presentan, siempre me hace ver las cosas más sencillas de lo que son, tú, quién me encamino por esta carrera, además de darme tu apoyo en todo momento. A Ingrid que se ha portado especial conmigo y con mis hermanos, siempre has estado pendiente de todo lo que nos pasa, te quiero mucho. A mis hermanos Alfredito, Leonardo, Alfonzo, Uvairis, Nathaly, Natasha, Yairubis y el consentido de la casa Jesús Alfredo, a todos por su amor, su compañía y porque siempre han estado allí para mí, por ayudarme en todo lo que pueden, gracias hermanos los amo. A mis sobrinos que me dan felicidad de sólo verlos.

A mis tías Jackeline y Merida, mujeres valientes y luchadoras, ejemplos a seguir, gracias por haberme dado algo de ustedes.

A mis amigas y compañeras de clases, Nathaly, Zubel, Mariangel y Lina, por su motivación a seguir estudiando cuando ya yo no quería continuar, sí se puede.

A mis siempre amigas y hermanas Anais, Maria, Monica, Yelitza y Yorlenis, siempre he contado con ustedes son únicas, sencillas, inteligentes, emprendedoras, cariñosas y optimistas, gracias por su apoyo.

Gracias al profesor Alexis Cova por ser mi guía en la elaboración y redacción de este trabajo.

Un agradecimiento especial a los integrantes de Pinturas América, por haberme dado la oportunidad de realizar esta investigación, además de brindarme las herramientas y conocimiento necesario para su elaboración.

RESUMEN

El objetivo de esta tesis fue evaluar las características de los diferentes tipos de recubrimientos arquitectónicos base agua, producidos por la empresa Pinturas América C.A., para lo cual fue necesario establecer las propiedades de los componentes asociados al producto y detallar las etapas de formulación. El trabajo se inició analizando las fórmulas y procedimientos originales de la empresa, los cuales posteriormente se variaron de manera controlada a fin de obtener resultados tendentes a mejorar su calidad, teniendo presente que el producto a obtener debe poseer características tales como: fácil aplicación o esparcimiento, bajo escurrimiento y a su vez permanecer lo más homogénea posible en el interior del envase entre otras. Antes de variar la composición de las formulas originales de las pinturas se estudio su comportamiento, obteniéndose que las mismas presentan las características de un fluido no Newtoniano, tipo pseudoplástico, dado que la viscosidad obtenida disminuyó a medida que se aumentó la velocidad de corte. También se apreció en las pinturas analizadas el fenómeno de tixotropía, es decir, que la viscosidad de las pinturas disminuyó a través del tiempo una vez en reposo el producto. Entre las pruebas realizadas están las variaciones en la composición del espesante, inicialmente se aumentó y disminuyó en un 20 % el espesante en la fórmula original obteniéndose que dicha variación sólo influye en la viscosidad a velocidades de corte bajas, en este caso en el rango de 3 a 10 rpm, y al incrementarse la velocidad de corte no hay una variación de viscosidad significativa, por ejemplo para un 20 % más de espesante a 60 rpm la viscosidad tiene un valor de 1208 centipoise, mientras que para la misma velocidad y a un 20% menos, el valor de la viscosidad es de 1270 cp; es decir las velocidades de corte baja influyen en la apariencia final de las pinturas, ya que la diferencia mostrada entre las pinturas con mayor o menor espesante es que tan líquida o espesa se visualiza la pintura en el envase. Cabe destacar que luego de realizar las variaciones de composición de espesante señaladas las pinturas mantuvieron su comportamiento pseudoplástico. Posteriormente se efectuaron cambios en la velocidad de agitación comprendidos en un rango desde 500 a 1500 rpm en la etapa de dispersión de la fabricación de las pinturas, así

como también se evaluó la variación del cambio en el porcentaje de agua disminuyéndola desde un 80% hasta un 20% en la misma etapa de dispersión a fin de evaluar el grado de finura. Es importante acotar que la finura de las pinturas analizadas sin hacer cambios en la formulación y agitación fue de 3,5 Hegman, mientras que al hacerle cambios en el procedimiento de elaboración y agitación la medida obtenida fue de 6,5 Hegman. Se analizó el comportamiento reológico de las pinturas a las diferentes finuras (3,5 y 6,5 Hegman), obteniéndose un incremento de la viscosidad de aproximadamente 12000 cp a velocidades de corte baja para pinturas con finura 6,5 Hegman; es decir al tener una buena dispersión de los pigmentos en las pinturas se obtendrán viscosidades altas, lo que disminuiría los costos de producción porque se podría reformular la pintura disminuyéndole el contenido de espesante. Finalmente se compararon las pinturas analizadas con otras de marcas reconocidas y de amplia aceptación por el mercado, y los resultados fueron similares en comportamiento reológico.

INDICE

RESOLUCIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
RESUMEN	vii
INDICE	ix
LISTA DE TABLAS	xiv
CAPÍTULO I	16
1 Introducción	16
1.1 Reseña histórica	16
1.2 Ubicación de la empresa	16
1.3 Planteamiento del problema	17
1.4 Objetivos de la Investigación	18
1.4.1 Objetivo General	18
1.4.2 Objetivos específicos	18
CAPÍTULO ii	19
2 Marco teórico	19
2.1 Antecedentes	19
2.2 Generalidades sobre las pinturas	20
2.2.1 Pintura	20
2.2.2 Pinturas acrovinílicas	20
2.2.3 Clasificación de las pinturas acrovinílicas	20
2.3 Viscosidad	21
2.3.1 Esfuerzo de corte o cizalla (τ)	24
2.4 Formulación de las pinturas	26
2.4.1 Concentración en volumen de pigmento (CVP)	26
2.4.2 Concentración del volumen de pigmento crítica “CVPC”	27
2.4.3 Densidad	28
2.4.4 Composición de las pinturas arquitectónicas base agua	29
2.4.4.1 Polímeros formadores de película	30
2.4.4.2 Pigmentos	30

Tabla 2.1 Índices de refracción de pigmentos, extendedores y otros. [7] ..	32
2.4.4.3 Descripción de algunos extendedores minerales y polímeros opacos.....	32
2.4.4.4 Dispersantes de pigmentos y cargas	36
2.4.4.5 Aditivos	38
2.4.5 Reología de la base de molienda.....	42
CAPÍTULO iii	44
3 Metodología	44
3.1 Análisis de las propiedades fisicoquímicas y reológicas de las pinturas tipo a, b y c, según la fórmula actual.....	44
3.1.1 Determinación de pH	44
3.1.2 Determinación de la viscosidad mediante viscosímetro Brookfield KU-2.	45
Tabla 3.1 Valores de pH y viscosidades de las diferentes tipos de pinturas evaluadas.....	45
3.1.3 Determinación del porcentaje de sólidos	46
3.1.4 Determinación de la densidad de las pinturas tipo A, B y C según la fórmula actual.	46
Tabla 3.2. Valores para determinar el porcentaje de sólido y la densidad de los diferentes tipos de pinturas estudiadas.	
	47
Tabla 3.3. Tamaño y distribución de partículas de los diferentes recubrimientos.....	47
3.1.5 Determinación del comportamiento reológico de las pinturas tipo A, B y C, según la fórmula actual.....	48

Pintura	Cápsula vacía (g)	Cápsula llena húmeda (g)	Cápsula llena seca (g)	Picnómetro vacío (g)	Picnómetro lleno (g)
A	78,66	88,66	84,34	130,00	250,62
B	72,60	81,60	77,33	130,00	248,14
C	84,77	94,77	89,60	130,00	245,62

3.2	Determinación de las composiciones adecuadas de espesantes celulósicos o acrílicos que permitan la reducción de los problemas de sinéresis y tixotropía de estos recubrimientos	48
	Tabla 3.4. Valores de viscosidad y de torque reportados por el viscosímetro Brookfield a diferentes velocidades y empleando la aguja 63 (formula actual). 49	
	Tabla 3.5. Valores de viscosidad y de torque reportados por el viscosímetro Brookfield a diferentes velocidades y empleando la aguja 64 (formula actual)... 50	
	Tabla 3.6 Efecto del tiempo de almacenamiento en las viscosidades de las pinturas (fórmula actual)	50
	Tabla 3.7 Efecto reológico para una pintura, disminuyendo la cantidad de Hidroxietilcelulosa usando el viscosímetro Brookfield a diferentes velocidades y empleando las agujas 63.	51
	Tabla 3.8. Efecto reológico para una pintura, aumentando la cantidad de Hidroxietilcelulosa usando el viscosímetro Brookfield a diferentes velocidades y empleando la aguja 63.....	52
	Tabla 3.9. Efecto reológico para una pintura, usando un espesante acrílico, viscosímetro Brookfield empleando la aguja 63.....	52
	Tabla 3.10 Efecto en el comportamiento reológico de otra marca comercial empleando la aguja 64 del Brookfield.	53
	Tabla 3.11 Efecto en el comportamiento reológico de la pintura Dominó empleando la aguja 63y 64 del Brookfield.	53
3.3	Evaluación de la influencia de agitación en el comportamiento reológico del producto.....	54
	Tabla 3.12. Viscosidad de una pintura tipo A, a diferentes velocidades y tiempo de agitación.	55
	Tabla 3.13 Datos de concentración de agua utilizada para la dispersión de pigmento y cargas para la pintura tipo A.	56
3.4	Establecer la mejor relación calidad-precio, en base a las modificaciones necesarias (pigmentos, cargas, espesantes y resina) en la formulación de las pinturas estudiadas	57

Tabla 3.14	Datos de velocidad, porcentaje de torque y viscosidad reportados por el viscosímetro Brookfield, utilizando la aguja 63 y 64, para una pintura tipo A de finura 6,5 Hegman.	57
Tabla 3.15	Determinación de la viscosidad de una pintura tipo A, a diferentes velocidades de agitación.....	58
Tabla 3.16	Cambios realizados a las pinturas tipo A, B y C (formulación propuesta).....	58
Tabla 3.17	Parámetros de calidad para una pintura tipo B de diferentes marcas en el mercado.	59
3.5	Equipos, materiales y sustancias.....	59
3.5.1	Equipos.....	59
3.5.2	Materiales.....	59
3.5.3	Sustancias:.....	60
3.6	Muestra de cálculos.....	60
3.6.1	Viscosidad y pH promedio.....	60
3.6.2	Porcentaje de sólidos.....	61
3.6.3	Determinación de la densidad de los recubrimientos.....	61
3.6.4	Determinación de la concentración de volumen de pigmento (CVP).	62
CAPITULO iv	65
4	RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	65
4.1	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y REOLÓGICAS DE LAS PINTURAS TIPO A, B y C, SEGÚN LA FÓRMULA ACTUAL	65
Tabla 4.1	Parámetros fisicoquímicos de los diferentes tipos de pinturas (formula actual).....	65
4.2	DETERMINACIÓN DE LAS COMPOSICIONES ADECUADAS DE ESPESANTES CELULÓSICOS O ACRÍLICOS QUE PERMITAN LA REDUCCIÓN DE LOS PROBLEMAS DE SINÉRESIS Y TIXOTROPÍA DE ESTOS RECUBRIMIENTOS	69

4.3	EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE AGITACIÓN EN EL COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DEL PRODUCTO	73
4.4	RELACIÓN CALIDAD-PRECIO, EN BASE A LAS MODIFICACIONES NECESARIAS (PIGMENTOS, CARGAS, ESPESANTES Y RESINA) EN LA FORMULACIÓN DE LAS PINTURAS ESTUDIADAS.....	76
	Tabla 4.2 Parámetros de calidad de los diferentes tipos de pinturas propuestas.....	76
	Tabla 4.3 Precios por galón de distintas marcas en el mercado	77
4.5	CONCLUSIONES	79
4.6	RECOMENDACIONES	81
	BIBLIOGRAFIA	82
	Anexo a.....	¡Error! Marcador no definido.
	Anexo B.....	¡Error! Marcador no definido.

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Índices de refracción de pigmentos, extendedores y otros. [7] ..	32
Tabla 3.1 Valores de pH y viscosidades de las diferentes tipos de pinturas evaluadas.....	45
Tabla 3.2. Valores para determinar el porcentaje de sólido y la densidad de los diferentes tipos de pinturas estudiadas.	47
Tabla 3.3. Tamaño y distribución de partículas de los diferentes recubrimientos.....	47
Tabla 3.4. Valores de viscosidad y de torque reportados por el viscosímetro Brookfield a diferentes velocidades y empleando la aguja 63 (formula actual). 49	
Tabla 3.5. Valores de viscosidad y de torque reportados por el viscosímetro Brookfield a diferentes velocidades y empleando la aguja 64 (formula actual)...	50
Tabla 3.6 Efecto del tiempo de almacenamiento en las viscosidades de las pinturas (fórmula actual)	50
Tabla 3.7 Efecto reológico para una pintura, disminuyendo la cantidad de Hidroxietilcelulosa usando el viscosímetro Brookfield a diferentes velocidades y empleando las agujas 63.	51
Tabla 3.8. Efecto reológico para una pintura, aumentando la cantidad de Hidroxietilcelulosa usando el viscosímetro Brookfield a diferentes velocidades y empleando la aguja 63.....	52
Tabla 3.9. Efecto reológico para una pintura, usando un espesante acrílico, viscosímetro Brookfield empleando la aguja 63.....	52
Tabla 3.10 Efecto en el comportamiento reológico de otra marca comercial empleando la aguja 64 del Brookfield.	53
Tabla 3.11 Efecto en el comportamiento reológico de la pintura Dominó empleando la aguja 63y 64 del Brookfield.	53
Tabla 3.12. Viscosidad de una pintura tipo A, a diferentes velocidades y tiempo de agitación.	55
Tabla 3.13 Datos de concentración de agua utilizada para la dispersión de pigmento y cargas para la pintura tipo A.	56

Tabla 3.14 Datos de velocidad, porcentaje de torque y viscosidad reportados por el viscosímetro Brookfield, utilizando la aguja 63 y 64, para una pintura tipo A de finura 6,5 Hegman.	57
Tabla 3.15 Determinación de la viscosidad de una pintura tipo A, a diferentes velocidades de agitación.....	58
Tabla 3.16 Cambios realizados a las pinturas tipo A, B y C (formulación propuesta).....	58
Tabla 3.17 Parámetros de calidad para una pintura tipo B de diferentes marcas en el mercado.	59
Tabla 4.1 Parámetros fisicoquímicos de los diferentes tipos de pinturas (formula actual).....	65
Tabla 4.2 Parámetros de calidad de los diferentes tipos de pinturas propuestas.....	76
Tabla 4.3 Precios por galón de distintas marcas en el mercado	77

CAPÍTULO I

1 Introducción

1.1 Reseña histórica

Pinturas América C.A., inició sus operaciones en el año 1996 como empresa productora de pinturas. Para esa misma fecha inauguró su primera tienda asegurando la distribución y venta de sus productos. Empezó con una capacidad productiva de 400 litros diarios. Con el pasar de los años, las oportunidades de crecimiento fueron aumentado, logrando así la expansión y traslado de la planta al sector industrial de la Ponderosa, obteniendo una mejor ubicación y un galpón con mayores dimensiones y condiciones, llegando a una capacidad de producción de 4.000 litros por día.

1.2 Ubicación de la empresa

La empresa se encuentra ubicada en el sector industrial la Ponderosa, manzana 20, calle 18 de octubre, en Barcelona, estado Anzoátegui, una referencia del lugar se indica en la figura 1.1

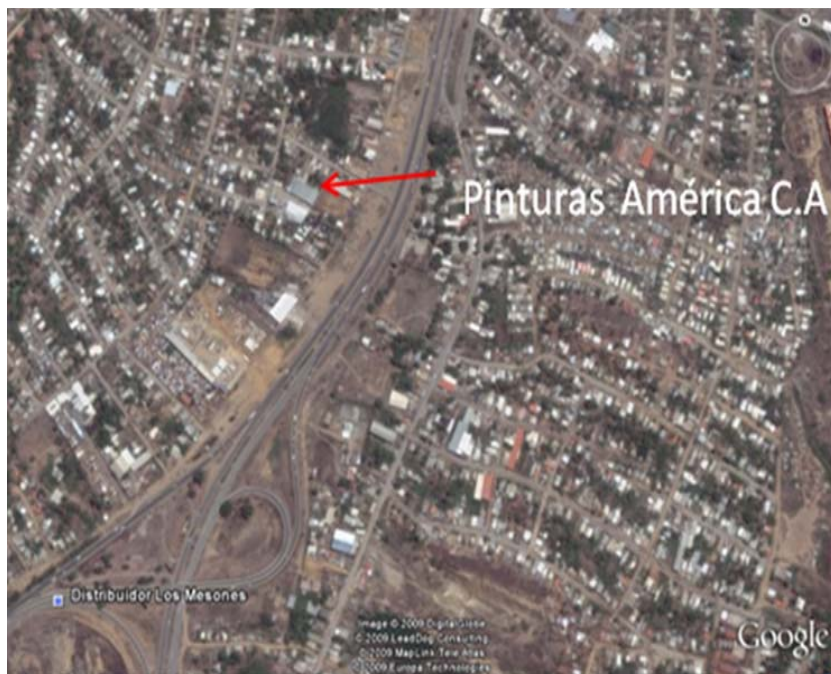


Figura 1.1 Ubicación de la empresa Pinturas América C.A

Fuente: <http://earth.google.es>. Fecha de actualización imágenes 19/05/2009

1.3 Planteamiento del problema

Durante el tiempo de operación de la planta, se han realizado (por diferentes motivos) cambios de proveedor o materia prima y se han observado que algunas propiedades reológicas de las pinturas obtenidas han disminuido en cuanto a su calidad previa, como por ejemplo los parámetros de estabilidad, dispersión, brochabilidad y poder cubriente. Otro problema que están presentando algunos de los recubrimientos elaborados es el efecto conocido como piel de naranja, que son pequeñas concavidades que quedan en la superficie del recubrimiento, y otorga poca suavidad a la película formada.

En cuanto a la aplicación en húmedo, la misma presenta un bajo cubrimiento, motivado entre otras causas al uso de extendedores, que sustituyen en parte al pigmento. Por otra parte, es importante destacar que estas pinturas están formuladas con espesantes celulósicos, los cuales confieren viscosidad a través de un mecanismo conocido como floculación por deflexión (depletion flocculation), el cual consiste en una región intercoloidal que es deflexionada por el polímero, en donde el mismo no es absorbido y permanece libre en el medio de dispersión. La deflexión causa una difusión del solvente entre el polímero y las partículas coloidales para disminuir el gradiente de concentración lo que produce el conglomerado o agregado de partículas coloidales. Cabe destacar, el comportamiento de estos espesantes muchas veces no es el ideal, ya que presenta baja resistencia al salpicado, nivelación y fluencia.

Como consecuencia de lo antes mencionado y con el objeto de alcanzar una reología óptima, que mejore las condiciones de estabilidad y aplicación de las pinturas estudiadas, se realizaron pruebas con otros tipos de espesantes, así como una evaluación cuidadosa de los balances de cargas, pigmentos y aditivos para varias composiciones (fórmulas), análisis de los métodos y condiciones de procesamiento empleados a fin de obtener el resultado más apropiado en cuanto a calidad y precio en el producto final, lo cual se traduce en beneficios para las ventas.

La empresa produce diversos tipos de recubrimientos, tales como grafiado, pasta profesional, texturizado, antialcalino, terracota proyectada y pinturas arquitectónicas, los cuales tienen aplicaciones específicas en el ámbito de la construcción y decoración. De estos productos, destacan tres clases de pinturas base agua, las cuales tienen mayor demanda. Éstas están clasificadas según sus propiedades, en tipos A, B y C, las cuales fueron el objeto de estudio del presente trabajo.

Los objetivos planteados, buscan mejorar las propiedades reológicas de las pinturas indicadas, lo que indica una mejor durabilidad, nivelación, aplicación y apariencia, que al ponerse en práctica se traducirían en un beneficio tanto para la empresa (al mejorar la calidad y por ende las ventas del producto) como al consumidor final (satisfacción y confianza en la pintura adquirida), y finalmente, esta tesis servirá como referencia para el desarrollo de nuevas investigaciones en la industria de los revestimientos.

1.4 Objetivos de la Investigación

1.4.1 Objetivo General

Estudiar la influencia de la formulación y del proceso de elaboración en la calidad de diferentes tipos de recubrimientos arquitectónicos para la Fabrica Pinturas América C.A.

1.4.2 Objetivos específicos

___ Analizar las propiedades fisicoquímicas y reológicas de las pinturas tipo A, B y C, según la fórmula actual.

___ Determinar las composiciones adecuadas de espesantes celulósicos o acrílicos que permitan la reducción de los problemas de sinéresis y tixotropía de estos recubrimientos.

___ Evaluar la influencia de la agitación en el comportamiento reológico del producto.

___ Establecer la mejor relación calidad-precio, en base a las modificaciones necesarias (pigmentos, cargas, espesantes y resina) en la formulación de las pinturas estudiadas.

CAPÍTULO II

2 Marco teórico

2.1 Antecedentes

En el año 2000, De Notta [1] realizó un trabajo que diserta sobre la importancia de la reología en el comportamiento de los fluidos y hace mención especial a las pinturas base agua y base alquídica, así como a las diferencias que existen entre éstas. Otro aspecto que destaca es que un sistema tixotrópico exhibe un descenso en la viscosidad como consecuencia de la acción de una fuerza de cizalla. Por otra parte, menciona que los fabricantes del viscosímetro Brookfield recomiendan el uso de muestras grandes (600 ml) para minimizar el efecto de las paredes del recipiente donde se aloja el material y que los factores de conversión utilizados para calcular la viscosidad no contemplan exactamente los efectos de borde de las diferentes agujas que se emplean en el instrumento.

En el año 2001, Esplugas [2] señala que la reología es determinante en la consecución de un acabado de calidad. En el artículo se mencionan algunos ensayos reológicos llevados a cabo con distintos tipos de recubrimientos y diferentes sustratos plásticos, así como imágenes de microscopía de las pinturas.

En el 2004, Maestro [3] estudió el comportamiento reológico en sistemas sencillos de pinturas (específicamente combinación de espesante más agua), encontró que estos sistemas tienen un comportamiento tixotrópico. Los fluidos tixotrópicos son emulsiones, suspensiones o soluciones de macromoléculas, entre las que se establecen fuerzas de unión físicas relativamente débiles, por lo que son fáciles de destruir al aplicar un esfuerzo sobre el fluido. Con frecuencia estas moléculas son cadenas largas o con ramificaciones, y es esta morfología la que provoca que los cambios estructurales inducidos por cambios de gradiente de esfuerzo de corte, muchas veces necesiten un período de tiempo para producirse lo suficientemente grande como para ser observables los cambios de viscosidad.

Estos trabajos recalcan la importancia de la composición adecuada del espesante celulósico para el producto, dado el impacto del mismo en la zona de baja velocidad de corte, así como también la importancia de la distribución del tamaño de partícula en la influencia de la zona de alta velocidad cortante.

2.2 Generalidades sobre las pinturas

2.2.1 Pintura

La pintura es una dispersión de pigmento finamente dividido en un líquido compuesto de una resina o aglutinante y un disolvente volátil. La parte líquida de la pintura se conoce como vehículo [5]. Es un producto basado en ligantes, pigmentos y aditivos, que cuando se aplica sobre un sustrato produce una película cohesiva, relativamente impermeable al agua (no absorbente), protectora y decorativa.

2.2.2 Pinturas acrovínicas

Conocidas como pinturas arquitectónicas diluibles en agua o pinturas base agua. Este tipo de pinturas se conocen también con el nombre de pinturas en emulsión debido a que su ligante se fabrica a partir de una polimerización que inicia la reacción en estado de emulsión, pero realmente es un producto que se encuentra en dispersión [4].

2.2.3 Clasificación de las pinturas acrovínicas

Las pinturas acrovínicas para uso interior y/o exterior se clasifican según sus propiedades en tres tipos, denotadas por las letras A, B y C; siendo la tipo A la de mayor calidad y costo, y disminuyendo los mismos según la secuencia correspondiente. Las mismas están generalmente compuestas por un polímero formador de película (resina o ligante), pigmentos, cargas o extendedores, agua, antiespumante, cosolvente, dispersante, preservante, agente coalescente, y aditivos reológicos, la diferencia radica en las cantidades de materia prima.

Pintura tipo A: Esta fabricada con resina vini-acrilica, de acabado mate, de excelente calidad, posee un alto poder cubriente, buena resistencia al fregado y 100% lavable.

Pintura tipo B: es de buena calidad, semilavable, se usa en todo tipo de superficie tanto en interiores como exteriores.

Pintura tipo C: Es una pintura básica de fácil aplicación, de buena resistencia a la intemperie y excelente relación costo-beneficio.

2.3 Viscosidad

Es la resistencia de un líquido a fluir. Para desarrollar un modelo de la viscosidad en términos de cantidades medibles se establece una situación en la cual un líquido está confinado entre dos platos paralelos. Un plano es movable y el otro permanece estacionario y están separados una distancia X. El gradiente de velocidad dv/dx "D" es referido como el flujo cortante (shear rate) y es uniforme desde el tope hasta el fondo. Se puede expresar mediante la ecuación 2.1

$$D = \frac{dv}{dx} = \frac{V}{X} \quad \text{Ec. 2.1}$$

Donde:

V: velocidad (cm/s)

X: espesor (cm)

D: s⁻¹.

La viscosidad absoluta es una propiedad de los fluidos que indica la mayor o menor resistencia que estos ofrecen al movimiento de sus partículas cuando son sometidos a un esfuerzo cortante. Algunas unidades a través de las cuales se expresa esta propiedad son el Poise (P), el Pascal-segundo (Pa-s) y el centipoise (cp), siendo las relaciones entre ellas las siguientes: 1 Pa-s = 10 P = 1000 cp. La viscosidad absoluta suele denotarse a través de la letra griega μ . Es importante resaltar que esta propiedad depende de manera muy importante de la temperatura, disminuyendo al aumentar ésta. Se define como la relación entre el esfuerzo de corte aplicado y la velocidad de corte adoptada por el fluido, lo cual se puede observar en la ecuación 2.2. La viscosidad en el sistema de unidades c.g.s se expresa en Poise

$$\mu (\text{viscosidad}) = \frac{\tau (\text{esfuerzo de corte})}{D (\text{velocidad de corte})} \quad \text{Ec.2.2}$$

Por otra parte la viscosidad cinemática es la relación entre la viscosidad absoluta y la densidad de un fluido. Esta suele denotarse como ν , por lo cual $\nu = \mu/\rho$. Algunas de las unidades para expresarla son m^2/s , Stokes (St) y centistokes (cSt), siendo las equivalencias las siguientes: $1 \text{ m}^2/\text{s} = 10000 \text{ St} = 1 \times 10^6 \text{ cSt}$. Supóngase dos fluidos distintos con igual viscosidad absoluta, los cuales se harán fluir verticalmente a través de un orificio. Aquél de los fluidos que tenga mayor densidad fluirá más rápido, es decir, aquél que tenga menor viscosidad cinemática [8]. Entre los instrumentos empleados para la medición de este importante parámetro se tienen los siguientes equipos:

Viscosímetro Brookfield LV (centipoise, cp)

Por medio del mismo, se mide la viscosidad relativa de los diferentes líquidos o fluidos industriales, debido a que la gran mayoría de estos presentan un comportamiento no newtoniano, y por lo tanto, la viscosidad dependerá de la velocidad de rotación que se elija para la aguja o vástago, y en un menor grado de la forma del mismo. En la figura 2.1 se muestra un viscosímetro Brookfield LV.



Figura 2.1 Viscosímetro Brookfield

Estos equipos dan su lectura en centipoise (cps), pero para que un dato quede completamente definido, deben incluirse otros parámetros como la

velocidad (rpm) a la cual se hizo la medida, aguja con la que se trabajo, y el modelo utilizado (RV, LV, RVT, LVII, entre otros). Los modelos RV manejan viscosidades altas mientras, que los LV son más limitados, por ejemplo, a 60 rpm, alcanza una viscosidad igual o menor de 10.000 cps mientras que el RV puede llegar a valores muchos más altos 40.000 ó 50.000 cps. Los modelos HA y HB entregan torques muchos mayores y son muy usados en morteros, lodos, etc. La tercera letra D o T significa si es digital o análogo, los números romanos corresponden a la versión del modelo. Y por último el símbolo “+” significa que tiene interfase con un computador.

Viscosímetro Brookfield KU (unidades Krebbs, KU)

Este equipo determina la resistencia que presenta un fluido y la fuerza de rozamiento que este ejerce sobre una paleta que gira. Este es el viscosímetro ideal para pinturas, ya que posee alto esfuerzo de corte o cizallamiento, y es el indicado para relacionar la viscosidad a una propiedad puntual de desempeño de un producto, como por ejemplo, su comportamiento a la brocha (brochabilidad). El viscosímetro es mostrado en la figura 2.2.



Figura 2.2 Viscosímetro Brookfield KU

2.3.1 Esfuerzo de corte o cizalla (τ)

Se define como la fuerza por unidad de área necesaria para alcanzar una dada deformación. Las unidades de esta magnitud son dinas / cm². Expresada en

$$\text{la ec 2. } \tau = \frac{F}{A} \quad \text{Ec. 2.3}$$

Donde:

F: fuerza (dinas)

A: área (cm²)

2.3.2 Reología

La reología es la ciencia que estudia la deformación de la materia. Esto se refiere al comportamiento de un material cuando se le aplica o imparte una fuerza determinada. En las pinturas base agua los aditivos reológicos juegan un papel importante en las propiedades del fluido, en cada una de las etapas de fabricación de las pinturas, hasta la aplicación del revestimiento. en cuanto a que determinan las siguientes propiedades:

Viscosidad

Lavabilidad

Resistencia a la abrasión en húmedo

Estabilidad en el almacenamiento

Salpicado durante la aplicación

Nivelación

Tiempo abierto

Sedimentación

Estabilidad de la dispersión

Existen dos tipos diferentes de comportamientos reológicos bien marcados: fluidos newtonianos y fluidos no newtonianos. En el primero la viscosidad es constante independientemente del esfuerzo de corte al cual se somete el fluido y en el segundo la viscosidad depende del esfuerzo de corte

aplicado. Un gráfico de esfuerzo de corte ó viscosidad en función de la velocidad de corte se conoce como reograma.

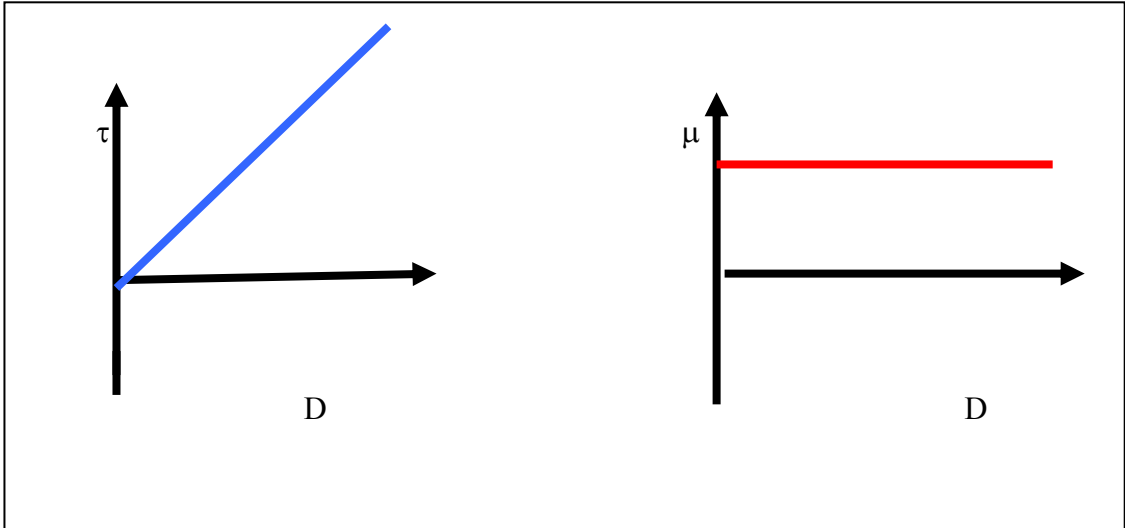


Figura 2.3 Curvas de fluidez y de viscosidad para un fluido newtoniano.

El reograma para un fluido newtoniano es una línea recta cuya pendiente es la viscosidad, como se muestra en la figura 2.3.

La mayoría de los materiales con alguna significancia industrial son no Newtonianos.

Hay varios tipos de comportamientos no Newtoniano entre los cuales se pueden mencionar:

___Flujo dilatante: La viscosidad aumenta a medida que aumenta el esfuerzo de corte al cual es sometido el fluido.

___Flujo pseudoplástico: La viscosidad disminuye a medida que aumenta el esfuerzo de corte sobre el fluido.

___Flujo de Bingham o plástico: El producto presenta un valor umbral de esfuerzo de corte (τ_y), el cual es necesario sobrepasar para que el fluido se ponga en movimiento.

Flujo tixotrópico: el producto disminuye la viscosidad con el paso del tiempo.

___Flujo reopéptico: el producto aumenta la viscosidad con el paso del tiempo.

2.4 Formulación de las pinturas

Las propiedades de una pintura o recubrimiento dependen de las variables de la formulación. Luego de realizada una adecuada selección de las materias primas, se debe definir la relación cuantitativa entre los diferentes componentes del producto, los cuales determinan las propiedades de la película.

Con las pinturas se usan tantas fórmulas referidas en peso como en volumen. Las indicaciones referidas al peso ya están predeterminadas por la fabricación de las pinturas en el laboratorio y la fábrica; también se utilizan para el control del perfil de propiedades de la pintura líquida, como por ejemplo, viscosidad, estabilidad de almacenamiento, comportamiento de sedimentación, brochabilidad, nivelación y secado, por nombrar solamente algunas.

El estado final de una pintura, sin embargo, es la película sólida seca, que consta solamente de los componentes no volátiles de la fórmula. Para la película de pintura sólida vale se aplica otro perfil de propiedades. Éste comprende el grupo de propiedades ópticas, al cual pertenece también el poder cubriente, propiedades mecánicas (por ejemplo tensión de la película) y propiedades de estabilidad (por ejemplo, la exposición a la intemperie o temperatura) [6].

2.4.1 Concentración en volumen de pigmento (CVP)

La CVP es una magnitud de cálculo esencial, definida como la relación del pigmento respecto al volumen total de la película de pintura, expresada en porcentaje. Se ha generalizado como “volumen de pigmento” a la suma de volumen de pigmento más la carga. En consecuencia, se debería hablar de la “CVP total”, la cual está definida en la ec. 2.4:

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

Ec. 2.4

Donde: P es pigmento; C es carga y L es ligante.

La ec. 2.4 indica que se tienen que expresar los valores numéricos en función del volumen de los productos sólidos del recubrimiento, para lo cual se hace uso de la densidad de cada uno de los productos. El peso o la masa de cada componente de la pintura se conocen en la formulación de la misma, ya que generalmente está expresada en kilogramos. Para la densidad, se recurre a la consulta en tablas o al cálculo experimental, considerando que debe ser en base seca.

Cuando la CVP se aproxima al 100 %, quiere decir que la pintura contiene muy poca cantidad de resina, lo que equivale a una pintura económica y de bajo desempeño. Cuando tiende a 0 %, quiere decir que el contenido de resina es muy alto, con lo cual seguramente se tendrá un muy alto desempeño, un alto costo, y posiblemente un acabado brillante.

2.4.2 Concentración del volumen de pigmento crítica “CVPC”

La CVPC es la concentración precisa de pigmento activo e inactivo en volumen para que justamente se rellenen todos los espacios libres entre las partículas de los mismos (pigmentos y extendedores), sin que exista un exceso de ligante sólido presente entre ellas. Esta concentración se puede considerar como el punto de equilibrio, en donde la resina o ligante en la formulación es suficiente para rodear todas y cada una de las partículas de pigmento y extendedores, sin alcanzar a cumplir su verdadera función de ligante entre estos y el sustrato sobre el que aplica el recubrimiento. Lo cual, es correspondiente con el índice de absorción verdadero de cada pigmento y extendedor, obtenido con el vehículo sólido que se utiliza en cada formulación.

La determinación de esta propiedad debe hacerse experimentalmente, debido a la dependencia de una gran cantidad de variables, tales como:

___ Porosidad, tamaño y distribución de partículas de cada uno de los pigmentos activos e inactivos.

___ Tamaño y distribución del tamaño de partícula del ligante sólido.

___ Coalescencia de la película.

Los dos métodos más usados para la determinación de la CVPC están asociados a la tensión superficial de la película y a la porosidad. El primer método se basa en que justo en el punto de la CVPC de una formulación se tiene la máxima tensión superficial de la película, es decir, si se hacen varias pinturas con las mismas materias primas y diferentes CVP, al hacer las aplicaciones sobre una leneta especial, después de un tiempo, éstas empiezan a curvarse; con el CVP que se logre la mayor curvatura, será el punto experimental, definido como CPVC, es decir, en este punto $CVP=CVPC$.

El segundo método se basa en que la porosidad de la película se comienza a presentar a partir de la CVPC, y se va incrementando en la medida que la CVP es mayor. La forma como se manifiesta esta porosidad se determina por medio de la mancha de gilsonite o asfalto natural, es decir, al igual que en el método anterior, a partir de las mismas materias primas se fabrican varias pinturas con diferentes CVP, posteriormente sobre la película seca se aplica la gilsonite, y se define como CVPC, aquél CVP a partir del cual hay manchado de la misma.

Debido a que los chequeos son complejos, largos y requieren condiciones especiales, se propone como una aproximación, valorar este concepto mediante la ec. 2.5:

$$CVP \text{ Crítico} = \frac{(\text{Volumen P} + \text{Volumen C})}{(\text{Volumen P} + \text{Volumen C} + \text{Volumen A})} * 100 \quad \text{Ec.2.5}$$

Donde: A es la absorción de agua de pigmentos y extendedores.

Si la $CVP > CVPC$, se tiene una deficiencia de aglomerante o ligante, por lo cual se tendrá una pintura con alta permeabilidad de la película, baja cohesión y elasticidad, baja intensidad del color en tonos profundos (debido a la fuerza de tinturación de los extendedores que aunque baja, están presentes en un gran volumen), bajo brillo y alta porosidad.

2.4.3 Densidad

Es simbolizada habitualmente por la letra griega ρ y denominada en ocasiones masa específica, es una magnitud referida a la cantidad de masa contenida en un determinado volumen, y puede utilizarse en términos absolutos o

relativos. La densidad absoluta expresa la masa por unidad de volumen, mientras que la densidad relativa es la relación entre la densidad de una sustancia y una densidad de referencia, resultando una magnitud adimensional y, por tanto, sin unidades. Para los líquidos y los sólidos, la densidad de referencia habitual es la del agua, mientras que para los gases es el aire.

Con la formulación expresada en peso y haciendo uso de las densidades en base seca, se pueden calcular los volúmenes que ocuparán cada uno de los componentes sólidos de la pintura seca. El valor de la densidad (ρ) de la resina en base seca se puede hallar experimentalmente, tomando una muestra de la resina seca, pesándola y calculando el volumen que ocupa (por desplazamiento de agua), también de manera teórica, este dato se puede calcular con una buena aproximación a partir de la hipótesis de que los volúmenes son aditivos, obteniéndose la ecuación 2.6:

$$\rho \text{ resina seca} = \frac{\% \text{ de sólidos}}{\left(\frac{100}{\rho \text{ resina húmeda}} \right) - (100 - \% \text{ sólidos})} \quad \text{Ec.2.6}$$

El porcentaje de sólidos se puede determinar mediante la ecuación:

$$\% \text{ Sólidos} = 100 - \frac{(\text{pintura húmeda} - \text{pintura seca})}{\text{pintura húmeda}} \times 100$$

Ec.2.7

2.4.4 Composición de las pinturas arquitectónicas base agua

Es función del formulador decidir la relación óptima en que se debe utilizar el ligante, pigmentos activos e inactivos, y demás componentes para conseguir entre otras un costo mínimo con el máximo poder cubriente, grado de brillo deseado, buena resistencia a la abrasión así como propiedades adecuadas de aplicación en líquido.

2.4.4.1 Polímeros formadores de película

Los formadores de película conocidos como ligante o resina constituyen uno de los componentes fundamentales para las pinturas. Estos materiales tienen la característica de unir las partículas dispersas de pigmentos y cargas sobre un sustrato formando una película continua. A continuación, se presentan brevemente las resinas utilizadas para la fabricación de pinturas base agua:

___ Acrílicas puras: son resinas fabricadas a partir del ácido acrílico y sus derivados (ésteres acrílicos).

___ Acrílicas estirenadas: son resinas fabricadas a partir del ácido acrílico y sus derivados (ésteres acrílicos), en mezcla con el monómero estireno.

___ Vinílicas puras: son resinas fabricadas a partir del monómero vinil acetato.

___ Vinil acrílicas: son resinas fabricadas a partir del monómero vinil acetato, en mezcla con los derivados del ácido acrílico.

Las funciones de las resinas son: aglutinar los pigmentos, promover adherencia, flexibilidad, brillo, durabilidad, resistencia. Las dispersiones poliméricas se diluyen con agua, aunque también puede realizarse con algún disolvente selectivo.

2.4.4.2 Pigmentos

Se definen como partículas sólidas finas e insolubles en el vehículo. De acuerdo con su origen, los pigmentos pueden clasificarse en naturales y sintéticos, dividiéndose a su vez cada uno de estos grupos en orgánicos e inorgánicos. Los pigmentos son los encargados de dar color y opacidad a la pintura, y de acuerdo a estas propiedades se conocen como activos e inactivos.

Pigmentos activos:

Usualmente, se designan como pigmentos blancos o coloreados activos aquellas sustancias blancas o coloreadas, cuyo índice de refracción sea mayor a 1,7. Un pigmento es activo cuando provee color y opacidad a la pintura, mientras que los inactivos no logran proveer color y opacidad a la pintura. En rigor, aquí entra en juego el concepto del CVP como parámetro de formulación, ya que un

pigmento inactivo puede contribuir al cubrimiento a CVP cercanos o por encima del CVPC.

Pigmentos inactivos:

Si el índice de refracción es menor a 1,7 se habla de pigmentos inactivos o extendedores. Estos sirven para incrementar el volumen de los recubrimientos o pinturas, como también para modificar y mejorar las propiedades técnicas y ópticas de la película. Su gran importancia radica principalmente en que se usan como sustitución parcial del pigmento activo, desde el punto de vista espacial, esto a raíz de que los extendedores o cargas entran a competir en espacio con el pigmento aumentando el rendimiento de éste, es decir distribuyéndolo o extendiéndolo.

Los extendedores también sirven para modificar las propiedades ópticas de un sistema pigmentado, por ejemplo a través de la influencia que ejercen en el estado de dispersión del pigmento, lo cual es una propiedad muy importante de las cargas especialmente finas y laminares, y una condición decisiva para el aprovechamiento óptimo de los pigmentos como también para la economía de los recubrimientos de emulsión. Las propiedades en las que las cargas influyen directamente son la resistencia a la intemperie, la resistencia al frote, el mateado o disminución del brillo, la reología, la sedimentación, el agrietamiento, la tensión de la película, para mencionar solamente algunas. Debido a su baja densidad, las cargas actúan como extendedores o diluyentes, ya que aumentan el volumen de la formulación. En razón a todas estas propiedades, las cargas minerales son materias primas muy importantes en la fabricación de pinturas de emulsión.

Las cargas son blancas en estado seco, pero son incoloras y casi transparentes cuando están humectadas por un ligante o vehículo, debido a que el valor del índice de refracción de las cargas es muy cercano al de los aglomerantes. El índice de refracción de la mayoría de las cargas usadas corrientemente se encuentra entre 1,45 y 1,64 (tabla 2.1). Los ligantes a su vez tienen un índice de refracción aproximado de 1,5, por tal razón una carga no provee propiedades colorantes directas en el ligante, debido a que prácticamente no existe una

diferencia notable entre el índice de refracción de la carga y el medio circulante, en este caso el ligante o vehículo.

Tabla 2.1 Índices de refracción de pigmentos, extendedores y otros. [7]

Producto	Índice de Refracción Relacionado al vacío ($\gamma = 589,3 \text{ nm}$)
Talco	1,55
Caolín	1,56
Carbonato de calcio	1,59
Dolomita	1,60
Tierras diatomeas	1,45
Mica	1,58
Barita	1,64
Dióxido de titanio (Anatasa)	2,55
Dióxido de titanio (Rutilo)	2,70
Resina alquídica	1,53
Resina poliacrílica en emulsión	1,48
Vacío	1,0000
Aire	1,0003
Agua	1,33

2.4.4.3 Descripción de algunos extendedores minerales y polímeros opacos

A) Carbonato de calcio natural:

Cuantitativamente es uno de los rellenos más importantes que se usa en pinturas de emulsión. Se encuentran en diferentes tamaños de partículas y también de brillo. Su amplio uso se debe a su bajo costo y su bajo índice de absorción de aceite que permite ser usado en altas cantidades, lo cual favorece el costo total de la formulación de la pintura. Se encuentra en la naturaleza como calcita cristalina de forma nodular y como Creta de constitución terrosa e irregular. El carbonato de calcio es ligeramente soluble en agua, pero esto no es un problema para las

pinturas arquitectónicas acuosas, porque sus partículas para el caso de una CVP inferior a la CVPC estarían encapsuladas por un polímero resistente al agua.

El carbonato de calcio al ser soluble en ácidos diluidos hace que no sea una buena opción para recubrimientos que deban tener cierto grado de resistencia química. Por otra parte, ocupa el segundo lugar.

En cuanto a su capacidad de transmitir la luz ultravioleta, esto hace que no sea la primera opción a la hora de formular una pintura para exteriores, lo cual se suma a su conocido efecto desfavorable de entizamiento en la película de la pintura. Por su forma nodular, los carbonatos de calcio de partícula fina (1 μm o menos % A. A = 25 %), son buenos en el efecto de extender el bióxido de titanio versus los de partícula gruesa (4 μm , % A.A = 21 %) que no lo son, pero ayudan a que la CVPC sea más alta por su baja absorción. Las dolomitas (carbonato de calcio y de magnesio) tienen para un mismo tamaño de partícula, absorciones de aceite más bajas que las de un carbonato de calcio tipo calcita, por esto son ventajosas en la estrategia de subir la CVPC.

B) Talco:

Por su mayor valor de absorción de aceite (42,3 % en talcos malla 400) y su elevado contenido de óxido de hierro (alrededor de 6 %), no es tan usado como el carbonato de calcio en pinturas, pero sus propiedades particulares lo hacen una excelente alternativa cuando se quieren lograr ciertos desempeños. El talco se encuentra en diferentes grados de molienda, aunque por su estructura laminar, tiene una relación de aspecto que dificulta la obtención de tamaños de partícula tan finos como los que se obtienen con un carbonato de calcio; no obstante a lo anterior, las cargas laminares como el talco son más eficientes que las nodulares para mejorar la distribución de las partículas del dióxido de titanio aún cuando se trate de tamaños de partícula un poco más gruesos.

Por otra parte, está comprobado que la estructura laminar del talco le imparte a la película de pintura una estructura de apilamiento en forma de tejas que dificulta la entrada de suciedad a la película de pintura, esto favorece el comportamiento en la prueba de mancha de gilsonite aunque estrictamente

hablando, no se trata de un incremento en la CVPC, pues su absorción de aceite es alta.

El talco es insoluble en agua y ofrece alta resistencia a ácidos y álcalis, su carácter hidrofóbico, le imparte esta característica en alguna medida a la película seca de la pintura y mejora la resistencia al agua. Adicionalmente el talco tampoco es muy favorable por el entizamiento, aunque es menos desfavorable que el carbonato de calcio y en cuanto a su capacidad de transmitir la luz ultravioleta, ocupa el primer lugar entre los extendedores comunes, por esto cuando se usa en pinturas para exteriores debe ser combinado con otros extendedores para neutralizar estos efectos adversos. Por otra parte el uso del talco mejora la resistencia a la sedimentación, la brochabilidad, la nivelación y la resistencia al chorreo además de mejorar la tersura de la película y facilitar la lijabilidad.

C) Caolín:

Igualmente es uno de los rellenos más importantes que se usa en pinturas de emulsión. Se encuentra en diferentes grados en cuanto a distribución de tamaño de partícula, brillo y tipo de procesamiento. El caolín natural es un silicato de aluminio hidratado que según la formación geológica particular que lo origine puede tener más o menos contaminantes y ser más o menos fino. Otra particularidad del caolín es su alta absorción de aceite.

El caolín es insoluble en agua y tiene una alta resistencia química y ocupa el último lugar en cuanto a su capacidad de transmitir la luz ultravioleta, esto hace que sea la primera opción a la hora de formular una pintura para exteriores, lo cual se suma a su conocido efecto favorable en cuanto al muy buen desempeño en relación al entizamiento y durabilidad de la película de la pintura.

Otro procesamiento que se le hace al caolín, es la calcinación, la cual pretende darle cierto nivel de estructura o aglomeración, a las partículas, las cuales con este procesamiento (según el tipo de calcinador usado); pueden dejar de ser laminares y pasar a convertirse en un material de mayor porosidad que aportaría un alto cubrimiento a las pinturas formuladas por encima del CVPC en razón al aire de sus poros. El caolín adecuadamente calcinado, si es de bajo contenido de óxido de hierro y de titanio, sería un caolín de alto brillo, alta

blancura y un alto poder de cubrimiento (en formulaciones por encima de la CVPC) por su porosidad y además se trata de un material de alta dureza que le imparte esta característica a la película seca de la pintura con lo que su utilización es una buena táctica para mejorar la resistencia a la abrasión de la pintura, característica que es significativamente mejorada. El caolín calcinado igualmente es un extendedor de baja transmisión de la luz ultravioleta.

D) Polímeros opacos:

Los polímeros opacos, no pueden considerarse estrictamente como pigmentos y tampoco forman película, por esto se deberán tener en cuenta entre los extendedores a la hora de hacer el cálculo de la CVP. Los polímeros opacos son unas esferitas de un copolímero acrílico estirenado en dispersión acuosa, que aportan cubrimiento no pigmentario a las pinturas arquitectónicas acuosas.

En esta dispersión polimérica no formadora de película, las esferitas son huecas con una coraza dura y en principio su núcleo está lleno de agua, estado que se conserva en la pintura envasada; luego de que la pintura es aplicada sobre un sustrato y comienza el secado, esa agua es difundida a fuera del núcleo de las microesferas y es reemplazada por aire, haciendo que su núcleo al quedar solo con aire pase a convertirse en un excelente medio para dispersar un rayo de luz y dar cubrimiento independientemente de la CVP de la formulación (pues la diferencia entre el índice de refracción del aire y del vehículo pasa a ser del orden de 0,6 frente a casi cero de diferencia entre el índice de refracción de un extendedor mineral y el vehículo, situación que no crea dispersión de un rayo de luz.

Por lo anterior la incorporación de aire para lograr dispersión de un rayo de luz es un efecto deseable siempre y cuando este no tenga efectos colaterales adversos como el incremento en la porosidad y la disminución en la lavabilidad de una pintura, especialmente para pinturas de alto desempeño formuladas por debajo de CVPC.

En un polímero opaco las partículas son completamente esféricas y de naturaleza uniforme si se les compara con las partículas de un extendedor mineral, esto hace que el aire este encapsulado en espacios confinados y bien definidos y

por lo tanto la incorporación del polímero opaco en la formulación de una pintura tiene el efecto de reducir el área superficial total de los materiales que aportan cubrimiento. (Dar cubrimiento con baja absorción y por lo tanto con baja demanda de vehículo), por esto el polímero opaco aumenta la opacidad y tiene menos efectos negativos en otras propiedades como la resistencia a la abrasión y la lavabilidad.

Esa menor área superficial, permite asegurar que el polímero opaco es una herramienta poderosa para lograr subir el CVPC y construir formulaciones óptimas en desempeño con economía.

Espesantes

Los espesantes para aplicación en la fabricación de recubrimientos se dividen en:

A) Espesantes sintéticos: Son sustancias obtenidas de reacciones químicas y básicamente se tienen dos tipos: a base de acrilatos (copolímeros de los ácidos acrílico) y los metacrilatos, que son conocidos como espesantes en emulsión solubles en álcali (ASE), los cuales pueden presentar modificaciones.

B) Espesantes celulósicos: Son espesantes a base de polisacáridos y son polímeros hidrofílicos e hidrofóbicos con tendencia a absorber agua o a repelerla y formar geles. Los más utilizados en producción de pinturas son éteres de celulosa tales como: carboximetil celulosa, hidroxietil celulosa, hidroxipropil celulosa, entre otros.

C) Espesantes inorgánicos: son materiales que se basan en una orientación tridimensional de minerales en forma de laminillas que forman un gel, esto es posible porque las laminillas forman puentes de hidrógeno, un ejemplo son los silicatos estratificados, bentonitas, entre otros.

2.4.4.4 Dispersantes de pigmentos y cargas

La dispersión efectiva de pigmentos y cargas es el primer y más importante procedimiento en la fabricación de pinturas y recubrimientos puesto que afecta directamente la calidad del recubrimiento. La distribución uniforme de los pigmentos en la dispersión de resina líquida previene:

___Floculación

- ___ Pérdida de brillo
- ___ Cambios de color
- ___ Flotación de pigmentos
- ___ Sedimentación
- ___ Sinéresis
- ___ Descuelgue
- ___ Nivelación
- ___ Estabilidad en el almacenamiento

Dado que se pretende lograr que la mezcla se mantenga estable aún después de retirar la agitación, se debe utilizar un producto cuya función permita lograr estabilidad, éste se denomina dispersante, el cual es una macromolécula que presenta simultáneamente comportamientos contrarios (atracción y repulsión) en cada uno de sus extremos.

La finura de la dispersión o de la pintura indica la calidad del proceso de dispersión, y debe comprobarse cuando la pintura está a la mitad del proceso, es decir, al finalizar la dispersión de los pigmentos y extendedores o cargas. La evaluación de la finura de dispersión se realiza mediante la utilización de un equipo denominado grindómetro, piedra de molienda o piedra Hegman, como se muestra en la figura 2.4, el cual consta de dos partes: una superficie de metal que presenta una o dos ranuras con una profundidad decreciente determinada y graduada, el más usado por los pintureros es en micras (0 a 100) o grados Hegman (0 a 8); y una barra o elemento aplicador.



Figura 2.4 Piedra Hegman y aplicador

2.4.4.5 Aditivos

Son sustancias que se le adicionan a una pintura o recubrimiento en pequeñas cantidades con el objeto de impartirle o modificar propiedades específicas al material en sí o al recubrimiento resultante, entre los más relevantes se tienen:

A) Antiespumantes

Una pintura está formulada con agentes antiespumantes, básicamente buscando evitar la inclusión de espuma o la incorporación de pequeñas burbujas de aire durante la fabricación de un producto, en el llenado de los envases y durante la aplicación del mismo. En primer lugar, esta espuma afecta la apariencia o aspecto de la pintura al ser destapado el envase, en la aplicación de los productos con alto contenido de espuma se observan problemas de formación de película, poca nivelación y en consecuencia un cubrimiento bajo.

La generación de espuma se debe a la incorporación de aire en el producto líquido durante el proceso de fabricación debido a la reducción de la tensión superficial del agua por sustancias tensoactivas tales como humectantes y dispersantes. Los tensoactivos en general, contienen una parte hidrofílica (afinidad al agua) y una parte hidrofóbica (sin afinidad al agua), los cuales al diluirse en agua hacen que las partes hidrofílicas se orienten hacia la fase acuosa, mientras que la parte hidrofóbica se oriente hacia la fase del aire, produciendo espuma.

Los antiespumantes deben cumplir generalmente las siguientes características:

- ___ Tensión superficial e interfacial baja
- ___ Insoluble en el medio a despumar
- ___ Coeficiente de penetración positivo
- ___ Coeficiente de distribución positivo

Es importante tener en cuenta los efectos secundarios que puede causar la incorporación de un exceso de antiespumante, como son pérdida de brillo, formación de cráteres, mala adherencia entre capas, efecto ojos de pescado, entre otros. En la práctica, se acostumbra adicionar entre el 0,1 y 0,5% del valor total de la formulación del antiespumante y generalmente se usa, repartiendo su adición

de la siguiente manera: una tercera parte antes de agregar las cargas, otra después de finalizada la dispersión y la restante tercera parte se adiciona en la etapa de terminación del producto a fin de eliminar la espuma generada durante su elaboración y aplicación.

B) Retardantes de secado o cosolventes

Estos solventes o cosolventes se añaden a las pinturas base agua en pequeñas cantidades para regular algunas propiedades físicas. Generalmente son hidrosolubles y se ubican principalmente en la fase acuosa de la pintura.

La función principal del cosolvente es mantener la película húmeda y prolongar el tiempo de secado; esto se debe a que el punto de ebullición del cosolvente es mayor al del agua, permitiendo que su evaporación se realice en un mayor tiempo. El cosolvente participa directamente en la formación de la película, en el tiempo de secado de la película en la orilla de la pintura aplicada, la nivelación, la brochabilidad, y las propiedades de congelación y descongelación de las pinturas.

Los monoéteres de etilenglicol y de dietilenglicol preparados con alcoholes de bajo peso molecular (metilo, etilo y propilo) son completamente hidrosolubles y son los cosolventes más utilizados en la industria de pinturas (etilenglicol, propilenglicol, mono etilenglicol).

C) Preservantes

Las pinturas arquitectónicas base agua, tanto en el envase como después de aplicadas están expuestas al ataque de microorganismos debido a que la mayoría de los componentes son medios de cultivo propicios y con nutrientes para la proliferación de los mismos. Los espesantes, coloides protectores, emulsionantes y antiespumantes, entre otros, son el blanco perfecto de los microorganismos para su reproducción. La contaminación microbiana genera problemas como:

- ___ Variación del pH
- ___ Decoloración
- ___ Coagulación
- ___ Descomposición de la emulsión
- ___ Olor fétido

___ Abombamiento de los envases por generación de gases
 ___ Pérdidas de viscosidad
 ___ Crecimiento bacteriano visible en la superficie de los productos en el envase y en la película aplicada.

Para la preservación en el envase se utilizan entre otros:

___ Cloro metil isotiazilina (CIT) y metil isotiazolinona (MIT).
 ___ Benzo isotiazolinona (BIT)
 ___ Liberadores de formaldehído

Para la preservación de la película se utilizan comúnmente:

___ Octilisotiazolinona (OIT)
 ___ Dicloro octil isotiazolinona
 ___ Agente Coalescente

La formación de la película es ayudada, y en algunos casos sólo es posible debido a la adición de un agente coalescente, el cual es un solvente que transitoriamente produce una disolución superficial de las partículas de resina, facilitando la fusión entre las partículas y formando eficientemente la película en la fase de secado. En las pinturas arquitectónicas base agua la formación de la película se logra en la etapa de secado debido a la deformación y soldado de las partículas del polímero, esto se logra a determinada temperatura conocida como la temperatura mínima de formación de película (TMFP) como se verá más adelante; el agente coalescente funde a las partículas del polímero disminuyendo este valor y permitiendo que el polímero se funda uniformemente.

Proceso de dispersión

El desplazamiento del aire dentro de los intersticios de la masa de pigmento es inicialmente facilitado por la carga del pigmento sobre el vehículo líquido [6]. La velocidad con la cual un vehículo penetra un lecho de partículas de pigmento se puede expresar por la siguiente ecuación:

$$V = K \left(\frac{r}{\mu} \right) \quad \text{Ec.2.8}$$

Donde:

r: radio promedio de los capilares del lecho de pigmento

μ : viscosidad del vehículo

K: constante de proporcionalidad del esfuerzo de dispersión

El tamaño de partícula de una pintura emulsionada tiene una influencia marcada en propiedades tales como:

___ Poder cubriente en húmedo y seco.

___ Propiedades reológicas del polímero.

___ Interacción con espesantes asociativos.

___ Resistencia al frote húmedo.

Dispensador de alta velocidad (HSD)

La existencia actual de pigmentos fácilmente dispersables, dispersiones de color accesibles junto con la posibilidad de un compacto y eficiente equipo como la dispersor de alta velocidad (High Speed Dispenser o HSD) han llevado a empastar, moler (dispersar) y adelgazar en un solo equipo.

En la figura 2.5 se puede observar el arreglo de un HSD, en términos del diámetro "D" del agitador, la posición correcta del disco y dimensiones óptimas del recipiente [6].

La incorporación de partículas de pigmento puede ser visualizada en tres etapas:

___ Mojado: se refiere al desplazamiento de aire u otros contaminantes absorbidos en la superficie del pigmento y su reemplazo por líquido.

___ Molienda: es la ruptura mecánica y separación de los aglomerados de partículas para obtener entidades aisladas. Cuando los vehículos y solventes necesarios para elaborar un producto terminado son añadidos a la base de la molienda, es mejor agregar lentamente los líquidos reductores con la agitación adecuada. Una reducción rápida puede ocasionar que la base rígida se rompa en trozos que no pueden ser fraccionados por el agitador, debido al líquido relativamente delgado que los rodea.

___ Dispersión: Se refiere al movimiento de partículas mojadas dentro del seno del líquido de manera tal de asegurar una separación permanente.

Se debe considerar que el tiempo total de dispersión se inicia sólo cuando se ha cargado la totalidad de los pigmentos y extendedores o cargas. La eficiencia de la operación de dispersión está directamente relacionada con la habilidad de un vehículo a mojar los aglomerados de pigmento, la facilidad de esparcirse sobre la superficie de las partículas y finalmente mantener las partículas separadas por largo tiempo, es decir estabilizar la dispersión. Igualmente es importante tener en cuenta un control de la temperatura de operación, a fin de que la viscosidad del producto obtenido se mantenga uniforme entre cada lote de pintura elaborada.

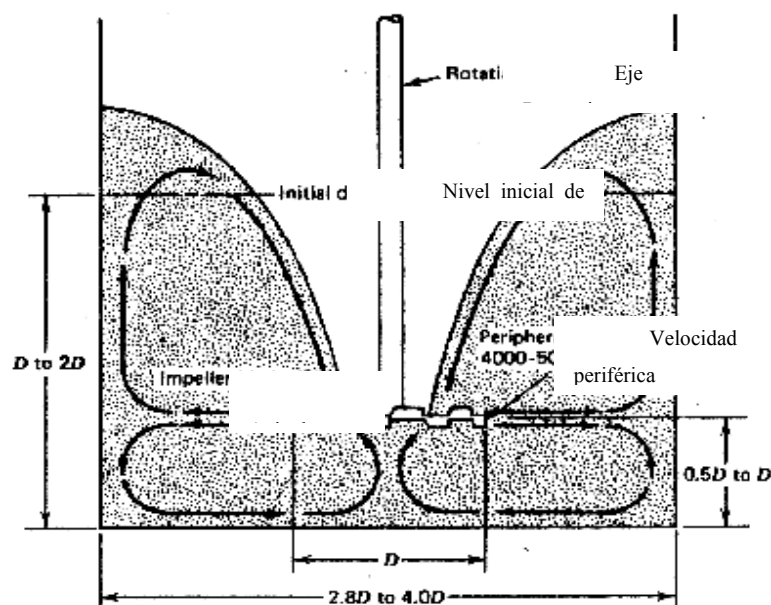


Figura 2.5 Dispersor de alta velocidad (HSD)

Fuente: Garay R. y de Notta H., "Proceso de producción de pinturas"

2.4.5 Reología de la base de molienda

La dispersión de un pigmento por fricción ocurre en flujo laminar. Se produce por acción de la velocidad del disco entre este y el piso que esta a velocidad cero, un gradiente de velocidades que provoca una rotación del aglomerado de pigmentos, actuando la viscosidad como un freno a esa rotación y provocando la rotura al no poder girar libremente, cuanto mayor es la partícula

mayor es este efecto. En otras palabras a medida que se reduce el tamaño de la partícula, más pobre será la acción de la dispersora [6].

CAPÍTULO III

3 Metodología

3.1 Análisis de las propiedades fisicoquímicas y reológicas de las pinturas tipo a, b y c, según la fórmula actual.

Los parámetros a medir son los siguientes:

- ___ pH
- ___ Viscosidad
- ___ Porcentaje de sólidos
- ___ Densidad
- ___ Tamaño y distribución de las partículas
- ___ Comportamiento reológico

3.1.1 Determinación de pH

Esta prueba se realizó según lo contemplado en la norma venezolana COVENIN 676, la cual consiste en tomar una muestra de pintura líquida, de un volumen tal donde se pueda sumergir aproximadamente la mitad del electrodo de medición. El equipo utilizado se ilustra en la figura 3.1.

El procedimiento seguido fue:

- 1) Se tomó una muestra de pintura de los diferentes tipos A, B y C.
- 2) Posteriormente se ajustó la temperatura de las muestras a 25 °C .
- 3) Se sumergió el electrodo en la muestra y se esperó a que se estabilizara la lectura.
- 4) Finalmente se registró el valor de pH.

Los valores obtenidos se muestran en la tabla 3.1



Figura 3.1 medidor de pH

3.1.2 Determinación de la viscosidad mediante viscosímetro Brookfield KU-2.

Este ensayo se realizó bajo la norma venezolana COVENIN 684, la cual consiste en determinar la viscosidad o consistencia de las pinturas utilizando el viscosímetro Stormer. La empresa dispone actualmente del viscosímetro Brookfield ku-2 , con el cual se realizaron los análisis de viscosidad, siguiendo el procedimiento establecido en la norma.

El procedimiento empleado fue:

1) Se mezcló la muestra de pintura y se vertió en el recipiente hasta llenar las $\frac{3}{4}$ partes del mismo.

2) Luego se colocó el recipiente con la muestra en el viscosímetro y se bajó la aguja mediante la palanca hasta la muestra de pintura.

3) Se activó el viscosímetro y se dejó en funcionamiento hasta que se estabilizó la medida.

4) Se reportó la viscosidad con el valor numérico en unidades Krebbs (Ku). Como lo establece la norma.

Se repitió esta operación con tres muestras distintas por cada tipo de pintura. Los datos obtenidos fueron reportados en la tabla 3.1

Tabla 3.1 Valores de pH y viscosidades de las diferentes tipos de pinturas evaluadas.

Tipo	Muestra	Valor de pH	Viscosidad (Ku)
A	1	7,1	108
	2	7,3	109
	3	7,1	107
B	1	7,5	98
	2	7,6	110
	3	8,0	94
C	1	7,6	93
	2	8,0	89
	3	8,3	92

3.1.3 Determinación del porcentaje de sólidos

Esta prueba es de relevancia, porque en general las materias primas usadas en la fabricación de las pinturas (cargas, pigmentos, espesantes, resinas, dispersantes, etc), contienen algún porcentaje de humedad, la cual, se puede encontrar entre 1% hasta 80%, y adicionalmente siempre se cuenta con un porcentaje de agua que lleva la formulación de pintura fabricada. Por lo anterior es necesario controlar el porcentaje de sólidos tanto en las materias primas como en el producto.

El procedimiento realizado fue el siguiente:

- 1) Se pesó una cápsula de porcelana vacía.
- 2) Posteriormente se colocó en la cápsula unos 10 g de pintura húmeda, bien distribuida y se pesó.
- 3) Se introdujo en una estufa a 90 °C por una hora, se dejó enfriar y se pesó la cápsula con la muestra.
- 4) Finalmente se registró el valor para las tres muestras en la tabla 3.2.

3.1.4 Determinación de la densidad de las pinturas tipo A, B y C según la fórmula actual.

Esta propiedad es sumamente importante, considerando que los fabricantes de pinturas compran sus materias primas por masa y venden su producto de acuerdo al volumen; por lo tanto lo ideal es tener bajas densidades.

El procedimiento seguido fue:

- 1) Se pesó el picnómetro de 83,2 ml vacío.
- 2) Seguidamente se llenó el picnómetro con la pintura, evitando las burbujas de aire, 3) se tapó y retiró el exceso de producto.
- 4) Posteriormente se peso el picnómetro lleno.

Los datos son reportados en la tabla 3.2

Tabla 3.2. Valores para determinar el porcentaje de sólido y la densidad de los diferentes tipos de pinturas estudiadas.

Pintura	Cápsula vacía (g)	Cápsula llena húmeda (g)	Cápsula llena seca (g)	Picnómetro vacío (g)	Picnómetro lleno (g)
A	78,66	88,66	84,34	130,00	250,62
B	72,60	81,60	77,33	130,00	248,14
C	84,77	94,77	89,60	130,00	245,62

Determinación del tamaño y distribución de partículas de los diferentes tipos de pinturas, según la fórmula actual

Para llevar a cabo el ensayo se utilizaron dos instrumentos: el primero fue empleando la piedra Hegman y posteriormente el equipo Malvern Mastersizer. Los valores obtenidos se muestran en la tabla 3.3

El ensayo se realizó empleando el siguiente procedimiento:

Se colocó una muestra de pintura proveniente de la etapa de dispersión, en la parte más profunda de la piedra.

Se realizó el barrido con el aplicador, posteriormente se levantó la piedra con la muestra aún húmeda.

Finalmente, en contra luz se realizó la medida correspondiente, el resultado se encuentra en la tabla 3.3

La segunda forma de determinar el tamaño de partícula consistió en colocar una pequeña muestra de las diferentes pinturas en el equipo Malvern Mastersizer, con el mismo se pudo obtener un registro gráfico inmediato, en el cual se observa la distribución de tamaño de partícula. Las figuras se pueden apreciar en el anexo C.

Tabla 3.3. Tamaño y distribución de partículas de los diferentes recubrimientos.

Parámetros	Pinturas		
	A	B	C
Finura (Hegman)	3,50	3,50	3,50
D (v, 0,5)	5,71	8,04	9,12
D (v, 0,9)	15,80	21,36	25,59

3.1.5 Determinación del comportamiento reológico de las pinturas tipo A, B y C, según la fórmula actual

Para obtener información para el desarrollo de este análisis fueron necesarios hacer ensayos de determinación de viscosidad mediante el uso de los viscosímetros Brookfield LV y KU-2. En el viscosímetro Brookfield LV se tomaron medidas de viscosidad y porcentaje de torque a diferentes velocidades que van desde 1 hasta 100 rpm, para los diferentes tipos de pinturas. En el KU-2, dado que no se puede variar la velocidad, se trabajó a una velocidad constante de 200 rpm, equivalente a una velocidad de corte de 50 seg^{-1} .

El procedimiento empleado durante el uso del viscosímetro Brookfield se describe a continuación, mientras que en las tablas 3.4 y 3.5 se muestran las datos obtenidas, empleando las agujas 63 y 64 respectivamente.

Se seleccionó la aguja adecuada para cada muestra, la cual depende de la viscosidad.

Mediante ensayo y error se encontró que las agujas correctas para medir las viscosidades de pinturas son la 63 y 64.

Los datos de viscosidad fueron aquellos en los que el porcentaje de torque fue mayor a 10 %.

Las muestras se mezclaron hasta homogeneizar y se agregaron en un vaso de precipitado de 600 ml.

Se tomaron los datos de viscosidad y porcentaje de torque reportados por el equipo, para determinar la velocidad de corte y esfuerzo cortante.

3.2 Determinación de las composiciones adecuadas de espesantes celulósicos o acrílicos que permitan la reducción de los problemas de sinéresis y tixotropía de estos recubrimientos

En esta sección del trabajo se tomó una muestra de cada una de las diferentes clases de pinturas (A, B y C), con la fórmula original, para evaluar el comportamiento de la viscosidad en función del tiempo, empleando para ello el viscosímetro Brookfield KU-2. Este viscosímetro rotacional está compuesto de un huso y una paleta. El huso gira a 200 rpm y al sumergir la paleta en el revestimiento de muestra, el equipo calcula automáticamente el valor de la

viscosidad a la potencia necesaria para que el huso gire a 200 rpm. A las muestras se les realizaron un seguimiento de la viscosidad cada 15 días durante tres meses y medio, se tomó este intervalo ya que el mismo es el mayor tiempo que tarda una pintura en almacenamiento dentro de la empresa. Cabe destacar que no se midió la viscosidad diariamente para evitar la dilución del material por descomposición en su estructura, es decir, si se destapa diariamente el envase donde está contenida la pintura se produce contaminación de la misma. Los datos obtenidos están reportados en la tabla 3.6

Tabla 3.4. Valores de viscosidad y de torque reportados por el viscosímetro Brookfield a diferentes velocidades y empleando la aguja 63 (formula actual).

Pintura	Velocidad (rpm)	Torque (%)	Viscosidad (cp)
C	1	18,4	21600
	1,5	26,7	18800
	2	30,7	17400
	2,5	35,9	15980
	3	38,8	15520
	4	46,5	13950
	5	53,2	12770
	6	59,2	11800
	10	79,9	9590
	12	88,5	8850
B	1	21	25200
	1,5	29,5	23600
	2	35,3	21180
	2,5	40,3	19340
	3	44,8	17920
	4	52,7	15810
	5	59,7	14330
	6	65,5	13100
	10	86,7	10400
	12	95,2	9520
A	1	28,1	35500
	1,5	32,7	26000
	2	35,4	21120
	2,5	38,8	18480
	3	42,2	16840
	4	49,1	14730
	5	55,9	13420
	6	61,3	12280
	10	83,2	9970
	12	92,3	9220

Tabla 3.5. Valores de viscosidad y de torque reportados por el viscosímetro Brookfield a diferentes velocidades y empleando la aguja 64 (formula actual)

Pintura	Velocidad (rpm)	Torque (%)	Viscosidad (cp)
C	20	33,4	8100
	30	41,3	7030
	50	52,6	6000
	60	57,3	5730
	100	71,8	4308
B	20	41.8	8200
	30	51.1	7900
	50	64.1	7100
	60	68.8	6880
	100	83	4980
A	20	25,1	7470
	30	31,2	6240
	50	39,7	4750
	60	43,2	4320
	100	52,6	3150

Tabla 3.6 Efecto del tiempo de almacenamiento en las viscosidades de las pinturas (fórmula actual)

Tiempo (días)	Viscosidad Stormer (cp)		
	TIPO A	TIPO B	TIPO C
0	1170	985	944
15	1137	980	930
30	1120	976	910
45	1117	963	884
60	1115	960	860
75	1100	940	830
90	1090	910	800
105	1040	850	780

Con el fin de reducir los problemas de sinéresis y tixotropía que presentan los diferentes tipos de pinturas se realizaron los siguientes ensayos:

Formulación de una pintura con menos espesante (hidroxietilcelulosa) y variar el resto de los componentes (cargas, pigmentos, ligante, etc.) y manteniendo las mismas proporciones.

Formulación de una pintura con más espesante, y el resto sin variar

Formulación de una pintura con un espesante acrílico

Para cada uno, se determinó la viscosidad y el torque, usando el Brookfield, con estos valores (reportados en la tabla 3.7 hasta 3.9) y empleando el mismo procedimiento y los cálculos que para el análisis del comportamiento reológico de las pinturas según la fórmula actual, se determinó la velocidad de corte y esfuerzo de corte; posteriormente se construyeron las respectivas curvas para compararlas con las fórmulas actuales.

Tabla 3.7 Efecto reológico para una pintura, disminuyendo la cantidad de Hidroxietilcelulosa usando el viscosímetro Brookfield a diferentes velocidades y empleando las agujas 63.

Velocidad (rpm)	Torque (%)	Viscosidad (cp)
3,0	10,3	4160
4,0	11,9	3570
5,0	13,2	3170
6,0	14,6	2900
10,0	20,0	2400
12,0	22,5	2260
20,0	31,0	1860
30,0	40,3	1616
50,0	55,8	1339
60,0	63,4	1270
100,0	85,7	1031

Tabla 3.8. Efecto reológico para una pintura, aumentando la cantidad de Hidroxietilcelulosa usando el viscosímetro Brookfield a diferentes velocidades y empleando la aguja 63.

Velocidad(rpm)	Torque (%)	Viscosidad(cp)
3,0	30,6	16600
4,0	34,4	14970
5,0	36,7	13660
6,0	38,5	12600
10,0	40,0	10210
12,0	42,9	9450
20,0	45,0	1800
30,0	46,6	1492
50,0	54,6	1147
60,0	57,0	1032
100,0	63,0	770

Tabla 3.9. Efecto reológico para una pintura, usando un espesante acrílico, viscosímetro Brookfield empleando la aguja 63.

Velocidad (rpm)	Torque (%)	Viscosidad (cp)
3,0	13,6	5540
4,0	15,3	4590
5,0	16,6	3980
6,0	17,9	3580
10,0	22,9	2750
12,0	25,2	2520
20,0	32,9	1974
30,0	41,2	1644
50,0	54,4	1308
60,0	60,5	1208
100,0	81,5	977

También se tomaron muestras de pinturas de marcas reconocidas como por ejemplo Solintex y Dominó a las cuales se les midió el torque y la viscosidad con el Brookfield, para la primera mencionada se trabajo solamente con la aguja 64, mientras que para la segunda se utilizó la aguja 63 en la mayoría del rango de

velocidad desde (1 hasta 60) rpm y solo para 100 rpm la aguja 64, los datos se encuentran en la tabla 3.10 y 3.11 respectivamente.

Tabla 3.10 Efecto en el comportamiento reológico de otra marca comercial empleando la aguja 64 del Brookfield.

Velocidad (rpm)	Torque (%)	Viscosidad (cp)
4	12,1	18200
5	13,2	15800
6	14,4	14400
10	18,4	11040
12	20,1	10050
20	25,6	7650
30	31,1	6220
50	39,0	4680
60	42,2	4220
100	51,7	3102

Tabla 3.11 Efecto en el comportamiento reológico de la pintura Dominó empleando la aguja 63y 64 del Brookfield.

Velocidad (rpm)	Torque (%)	Viscosidad (cp)
4	31,7	9480
5	35,1	8420
6	38,4	7660
10	51,0	6100
12	55,7	5550
20	72,7	4350
30	89,5	3576
50	91,7	1098
60	93,0	480
100	32,1	384

3.3 Evaluación de la influencia de agitación en el comportamiento reológico del producto

En la fabricación de las pinturas es fundamental que los pigmentos estén bien dispersados para aprovechar el poder tintóreo y de esa manera mejorar el cubrimiento de la superficie al aplicar el revestimiento.

Para determinar la influencia de la agitación en el comportamiento reológico de las pinturas se efectuaron varios ensayos, en la etapa de dispersión de los pigmentos y cargas en la máquina mezcladora, para lo cual fue necesario realizar variaciones de la velocidad de agitación del dispersor. Las especificaciones del proceso de agitación son las siguientes:

___ El dispersor puede operar hasta una velocidad máxima de 1500 rpm.

___ La velocidad se puede variar en tres intensidades (500, 1000 y 1500) rpm

___ La velocidad de operación normal en la etapa de dispersión es de 1000 rpm, ___ siendo esta la mayor velocidad que se alcanza en todo el proceso.

___ En la etapa de completado, la velocidad debe ser menor (500 rpm) para evitar la formación de espuma.

___ El tiempo de agitación de la dispersión es de 5 a 10 min.

Después del proceso de dispersión se midió el tamaño de partícula, empleando el medidor de finura Hegman, cuyo uso fue descrito previamente en el punto 3.1.5 y en la sección 2.3.3.5 de este trabajo, esta medida resultó complicada realizar ya que la muestra que se tomó, tenía baja viscosidad, por la cantidad considerable de agua que se utiliza para esta etapa del proceso, sin embargo una vez finalizado el proceso de elaboración se tomo la respectiva muestra de pintura tipo A a 1000 rpm.

Posteriormente se varió la velocidad a 500 y 1500 rpm para una pintura tipo A, sin hacer ningún otro cambio en la formulación, utilizando el viscosímetro Brookfield KU-2, y se determinó la viscosidad, los datos están referidos en la tabla 3.12.

Tabla 3.12. Viscosidad de una pintura tipo A, a diferentes velocidades y tiempo de agitación.

Velocidad de agitación (rpm)	Tiempo (min)	Viscosidad (ku)
	5	103
500	10	106
	15	108
	20	106
	5	105
1000	10	102
	15	106
	20	110
	5	109
1500	10	108
	15	110
	20	107

Se puede deducir por las medidas de viscosidad obtenidas, que no hay un cambio significativo en la viscosidad de las pinturas al variar la velocidad de agitación del proceso, lo mismo ocurre al prolongar el tiempo. Esto puede ser atribuido al uso de una elevada cantidad de agua, es por esta razón se realizaron evaluaciones variando la cantidad de agua empleada en esta etapa. Para cada corrida se realizó la medida de dispersión empleando la piedra Hegman.

Inicialmente se realizaron las corridas basadas en la metodología empleada por la empresa, la cual usa la proporción más alta de agua para la dispersión de los pigmentos y cargas. Luego se fueron realizando otras corridas disminuyendo progresivamente el volumen de agua. En la tabla 3.13 se muestran las corridas efectuadas y los resultados obtenidos.

En la misma se puede visualizar que se varió la proporción de agua empleada en la dispersión desde el 80% en volumen (procedimiento original) hasta el 20%, obteniéndose para esta última una mejor dispersión, como así lo indica la lectura del grindómetro. Para cada corrida, una vez realizada la medida de la dispersión se procedió a agregar el agua restante de la formulación para terminar la carga con la formulación original del fabricante. Cabe destacar que se

repitió el mismo procedimiento en una segunda oportunidad, es decir se varió nuevamente la cantidad de agua de 80 a 20% en volumen con el fin de corroborar la información obtenida, razón por lo cual se realizaron un total de 14 corridas.

Tabla 3.13 Datos de concentración de agua utilizada para la dispersión de pigmento y cargas para la pintura tipo A.

Corridas	% Agua	Finura (Hegman)
1	80	3,5
2	70	3,5
3	60	3,5
4	50	3,5
5	40	4
6	30	4,5
7	20	5,5
8	80	3,5
9	70	3,5
10	60	3,5
11	50	4
12	40	4,5
13	30	5,5
14	20	6,5

Es importante mencionar que durante la elaboración de la pintura, del total de agua a emplear en la formulación, el fabricante utiliza un 80% para la dispersión de la carga y pigmentos y destina un 20% para la dilución del espesante antes de agregarlo a la maquina mezcladora para completar la formulación.

Posteriormente se tomaron dos muestras de pinturas del mismo tipo sin variar las proporciones y componentes de sus formulaciones, con la única diferencia del grado de finura de la dispersión, una con una finura de 3.5 Hegman y la otra de 6,5 Hegman, a cada una se les evaluó el comportamiento reológico, los datos están reportados en la tabla 3.14

Demostrado que se debe tener alta consistencia si se desea obtener buena fineza, se repite el procedimiento variando la velocidad de agitación de la

maquina mezcladora, manteniendo un tiempo constante de 10 min. Los datos se encuentran referidos en la tabla 3.15

3.4 Establecer la mejor relación calidad-precio, en base a las modificaciones necesarias (pigmentos, cargas, espesantes y resina) en la formulación de las pinturas estudiadas

Con el propósito de obtener la mejor relación calidad precio, se realizaron cambios en las proporciones de los diferentes tipos de pinturas (A, B y C) elaborados por la empresa, estos cambios se muestran en la tabla 3.16.

Para llevar a cabo este objetivo, se tomaron como base la calidad y el precio de las pinturas de diferentes marcas reconocidas, para compararlas con las pinturas elaboradas por la empresa con la formulación actual y la propuesta.

En la tabla 3.17 se reportan los parámetros de calidad con sus respectivos precios para una pintura tipo B.

Tabla 3.14 Datos de velocidad, porcentaje de torque y viscosidad reportados por el viscosímetro Brookfield, utilizando la aguja 63 y 64, para una pintura tipo A de finura 6,5 Hegman.

Aguja	Velocidad (rpm)	Torque (%)	Viscosidad (cp)
63	1,0	41,6	49900
	1,5	52,2	41760
	2,0	61,1	36660
	2,5	68,6	32930
	3,0	75,1	29984
	4,0	86,7	25957
	5,0	96,4	23160
64	6,0	12	21500
	10,0	16,8	19500
	12,0	18,7	17800
	20,0	25,1	13320
	30,0	31,2	10460
	50,0	39,7	7640
	60,0	43,2	6820
	100,0	52,6	4938

Tabla 3.15 Determinación de la viscosidad de una pintura tipo A, a diferentes velocidades de agitación

Velocidad de agitación (rpm)	Numero de muestra	Viscosidad (ku)
500	1	89,70
	2	90,00
	3	92,30
1000	1	110,60
	2	111,00
	3	111,30
1500	1	120,30
	2	124,00
	3	125,70

Tabla 3.16 Cambios realizados a las pinturas tipo A, B y C (formulación propuesta).

Componentes	Tipo A	Tipo B	Tipo C
Pigmentos	Se aumentó	Se aumentó	Se aumentó
Cargas	No se vario	Se disminuyó	Se disminuyó
Espesante	Se disminuyó	Se disminuyó	Se disminuyó
Resina	Se aumentó	Se aumentó	No se vario
Dispersante	No se vario	No se vario	No se vario
Agua	No se vario	Se disminuyó	No se vario
Aditivos	No se vario	No se vario	No se vario

Nota: La información reportada en la tabla 3.16 es de carácter cualitativo ya que no se pueden indicar los valores reales por que son confidenciales de la empresa.

Tabla 3.17 Parámetros de calidad para una pintura tipo B de diferentes marcas en el mercado.

Características	América actual	Domino	Solintex	América propuesta
% de sólidos	52,64	37,00	49,00	46,00
pH	7,7	7,46	7,68	7,69
Densidad (g/ml)	1,43	1,20	1,37	1,39
Viscosidad (ku)	98,00	91,60	97,00	92,80
Cubrimiento	Bueno	Bueno	Excelente	Excelente
CVP (%)	82,00	N.D	N.D	70,00
Finura (Hegman)	3,50	N.D	N.D	6,50
Precio por Gal (Bs)	39,00	96,00	56,00	47,00

3.5 Equipos, materiales y sustancias

3.5.1 Equipos

___ Viscosímetro KU-2, marca BYK Gardner

___ Balanza analítica de precisión. 3000 g +/- 0,01 gramos, marca Saltorius.

___ Medidor de pH, marca OAKTON, pH 11 Series.

___ Medidor de tamaño de partícula, modelo Malvern.

___ Dispensor de alta velocidad (diseño propio de la empresa).

___ Medidor de finura, piedra Hegman, precisión Gage & tool c.o.

___ Viscosímetro LV, marca Brookfield

3.5.2 Materiales

___ Lenetas para medir cubrimiento BYK # 3305702.

___ Beakers (20, 50, 100, 200, 500 y 600) ml

___ Cilindros Graduados (100, 500) ml

- ___ Varillas de vidrio.
- ___ Termómetro (0 a 100 °C)

3.5.3 Sustancias:

- ___ Pinturas emulsionadas tipo A, B y C.
- ___ Resinas (acrovínicas)
- ___ Antiespumantes
- ___ Carbonatos (base carbonato de calcio)
- ___ Dióxido de titanio (tipo rutilo)
- ___ Dispersante (tipo silicato de sodio)
- ___ Espesante (hidroxietil celulosa)

Todos los equipos, materiales y sustancias mencionadas se encuentran disponibles en el laboratorio de la empresa, a excepción del medidor de tamaño de partículas Malvern. Se pudo tener acceso a dicho medidor de partículas con la colaboración del proveedor de carbonatos de la empresa (Micronizados Caribe C.A). Igualmente se contó con el apoyo del Laboratorio de Hidrocarburos de la Universidad de Oriente Núcleo de Anzoátegui para el uso del viscosímetro marca Brookfield LV.

3.6 Muestra de cálculos

3.6.1 Viscosidad y pH promedio

Con los datos de viscosidad y pH de las muestras de cada tipo de pintura mostrados en la tabla 3.1 se calculó la viscosidad y el pH promedio.

Por ejemplo para una pintura tipo A:

$$\bar{\mu} = \frac{(\mu_1 + \mu_2 + \mu_3) \text{Ku}}{3}$$

$$\bar{\mu} = \frac{(108 + 109 + 107) \text{Ku}}{3} = 108 \text{Ku}$$

$$\bar{\text{pH}} = \frac{(\text{pH}_1 + \text{pH}_2 + \text{pH}_3)}{3}$$

$$\overline{\text{pH}} = \frac{(7,1+7,3+7,1)}{3} = 7,17$$

El mismo procedimiento se aplicó para las pinturas tipo B y C, los resultados están reportados en la tabla 4.1.

3.6.2 Porcentaje de sólidos

Se calcula el porcentaje de sólidos para cada tipo de pintura empleando los datos mostrados en la tabla 3.2 y la ecuación 2.4.

Para una pintura tipo A:

$$\text{Pintura húmeda} = (78,66 - 88,66) \text{ g} = 10,00 \text{ g}$$

$$\text{Pintura seca} = (84,34 - 78,66) \text{ g} = 5,68 \text{ g}$$

$$\% \text{ Sólidos} = 100 - \frac{(10,00 - 5,68)}{10} \times 100$$

$$\% \text{ Sólidos} = 56,80 \%$$

El mismo procedimiento se aplica para la pintura tipo B y C, los resultados están reportados en la tabla 4.1.

3.6.3 Determinación de la densidad de los recubrimientos

Empleando los datos de la tabla 3.2 se calcula la densidad, por ejemplo para una pintura tipo A, es como sigue:

$$\text{Masa de pintura} = \text{picnómetro lleno} - \text{picnómetro vacío}$$

$$\text{Volumen del picnómetro} = 83,2 \text{ ml}$$

$$\text{Masa de pintura} = (250,62 - 130,00) \text{ g} = 120,62 \text{ g}$$

$$\rho = \frac{120,62 \text{ g}}{83,20 \text{ ml}} = 1,45 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$$

El mismo procedimiento se aplica para la pintura tipo B y C, los resultados están reportados en la tabla 4.1

3.6.4 Determinación de la concentración de volumen de pigmento (CVP).

El CVP se calculó mediante las ecuaciones 2.1 y 2.3 La fórmula indica que se deben expresar los valores numéricos en función del volumen de los productos sólidos del recubrimiento, para lo cual se hace uso de la densidad de cada uno de los materiales.

La masa de cada componente de la pintura, se conoce de la formulación de la misma, la cual en este caso está expresada en kilogramos y a partir de los datos suministrados por el proveedor de resina acrovínica de la empresa, cuya hoja de especificaciones indica que el porcentaje de sólidos que contiene es de 55% y una densidad de 1,08 kg/l de resina húmeda.

$$\rho \text{ resina seca} = \frac{55}{\left(\frac{100}{1,08}\right) - (100 - 55)} \times 100$$

$$\rho \text{ resina seca} = 1,16 \frac{\text{kg resina seca}}{\text{litro de resina seca}}$$

$$\text{masa resina seca} = \text{masa resina húmeda} \cdot \frac{\text{kg resina seca}}{\text{kg resina húmeda}}$$

$$\text{masa resina húmeda} = 4 \text{ kg}$$

$$\text{masa resina seca} = 4 \text{ kg resina húmeda} \times 0,55 \frac{\text{kg resina seca}}{\text{kg resina húmeda}}$$

$$\text{masa resina seca} = 2,22 \text{ kg}$$

El volumen de resina seca también puede expresarse como:

$$\text{volumen resina seca} = \frac{m}{\rho}$$

$$\text{volumen resina seca} = \frac{2,22 \text{ kg resina seca}}{1,16 \left(\frac{\text{kg resina seca}}{\text{litros resina seca}} \right)}$$

$$\text{volumen resina seca} = 1,897 \text{ litros resina seca}$$

Para una pintura A:

$$\text{CVP} = \frac{(0,31 + 4,08) \text{ litros}}{(0,31 + 4,08 + 1,897) \text{ litros}} \times 100$$

$$\text{CVP} = 69,90 \%$$

De igual forma se calculo el CVP de la pintura tipo B y C, los resultados obtenidos fueron reportados en la tabla 4.1

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

Con los datos arrojados por el viscosímetro Brookfield LV y reportados en las tablas 3.4 y 3.5 para las agujas 63 y 64 respectivamente, se determinó la velocidad de corte a través de una ecuación que emplea un factor según el modelo de viscosímetro y las revoluciones por minuto (rpm), la cual está señalada en el manual del instrumento.

La relación señalada por el manual para calcular la velocidad de corte, es la siguiente:

$$\text{Velocidad de corte} = 0,209 N$$

$$\text{Donde } N = \text{RPM}$$

Por ejemplo para una pintura tipo A, y un valor de $N = 10 \text{ RPM}$

$$\text{Velocidad de corte} = 0,209 \times 10 = 2,09 \text{ seg}^{-1}$$

De igual forma se calculan las velocidades de corte para el resto de las rpm que va desde 1 hasta 100, las cuales están reportadas en la tabla 4.2, ahora con la velocidad de corte y la viscosidad que también es dada por el viscosímetro para cada rpm, se calcula el esfuerzo de corte, que se despeja de la Ec.2.2 quedando como sigue:

$$\tau = D \times \mu$$

$$\tau = 2,09 \text{ seg}^{-1} \times 9970 \text{ cp} \times \frac{1 \text{ poise}}{100 \text{ cp}} = 208,37 \frac{\text{dinas}}{\text{cm}}$$

De la misma forma se calcula para todo el rango de rpm y para el resto de las pinturas, los resultados se encuentran reportados en los gráficos del capítulo 4. Para todos los datos reportados por el viscosímetro Brookfield LV referidos en este capítulo se utilizó la ec.5 para calcular el esfuerzo de corte con el cual se obtuvo el comportamiento reológico de todas las pinturas analizadas.

CAPITULO IV

4 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

4.1 ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y REOLÓGICAS DE LAS PINTURAS TIPO A, B y C, SEGÚN LA FÓRMULA ACTUAL

Con los resultados de viscosidad para cada tipo de pintura, reportado en la tabla 4.1, los cuales son relativamente cercanos, se infiere que las mismas presentan una buena consistencia, por lo cual al ser visualizadas tienden a tener una buena aceptación, motivado a la generalización del concepto de que “a mayor viscosidad se tiene mayor calidad”. Cabe destacar que en cuanto al porcentaje de sólidos la pintura tipo C tiene el menor porcentaje, la misma está formulada de esa manera para minimizar su valor económico, mientras que por el contrario la tipo A tiene mayor porcentaje de sólidos porque debe tener mayor poder cubriente, conferido por el pigmento y las cargas así como la resistencia al desgaste que le atribuye la película de resina seca.

Tabla 4.1 Parámetros fisicoquímicos de los diferentes tipos de pinturas (formula actual).

Parámetros	Pinturas		
	A	B	C
Viscosidad (ku)	108,00	100,66	91,33
CVP (%)	69,90	82,00	90,00
Porcentaje de sólidos (%)	56,80	52,64	48,37
pH a 25 °C	7,16	7,70	7,96
Densidad (g/ml)	1,45	1,42	1,39
Finura (Hegman)	3,50	3,50	3,50
D (v, 0,5)	5,71	8,04	9,12
D (v, 0,9)	15,80	21,36	25,59

La concentración en volumen de pigmento es mayor para la pintura tipo C, lo que indica que posee menor resistencia a la intemperie. Aunque por el valor del CVP de la misma se puede suponer un buen cubrimiento, éste no es el caso, debido a la calidad de las cargas que la conforman, las cuales confieren el índice de refracción según el tipo de material. Para las pinturas B y A, la Concentración de volumen de pigmento (CVP) también es elevado, lo cual es atribuido a una alta cantidad de carga.

Los valores de pH están dentro de los parámetros establecidos por la norma covenin 676, se puede decir que las pinturas presentan un pH que no es abrasivo para la salud del cliente.

En cuanto al grado de finura de las pinturas, resultante de la etapa de dispersión de cada una, se tiene un valor similar y bastante alto al medirlo empleando la piedra Hegman. Con estos resultados se puede establecer que no se aprovecha todo el poder tintóreo del pigmento, además de afectar la estabilidad de la dispersión induciendo a la sedimentación (por lo grueso del aglomerado de partículas).

En cuanto a la distribución del tamaño de partícula entre las pinturas cuando se emplea el Mastersizer, se observa diferencias entre ellas, siendo la de mayor distribución la pintura tipo A para un 50% de la muestra y aún superior para un 90%.

En la figura 4.1 se muestra que a medida que se incrementa la velocidad de corte el esfuerzo de corte aumenta de manera desproporcional para los diferentes revestimientos base agua estudiados (Tipo A, B y C), el comportamiento reológico es de fluidos no Newtonianos. También se puede observar que para una velocidad de corte menor a 4 seg^{-1} el comportamiento es similar, lo cual puede atribuirse a que presentan en su formulación porcentajes de sólidos cercanos, sin embargo la tendencia de la curva de la pintura A es más uniforme, ya que el gradiente de esfuerzo de corte es menor y a medida que esta aumenta se diferencia del resto de las pinturas, esto es atribuible a la presencia de

mayor contenido de ligante (resina) y de menor concentración de volumen de pigmento y por otra parte aunque la pintura tipo B debería tener menor esfuerzo de corte que la pintura tipo C, lo cual no es el caso, posiblemente motivado a la distribución de tamaño de partícula de las mismas, es decir que no hubo una buena dispersión de los pigmentos en la pintura tipo B.

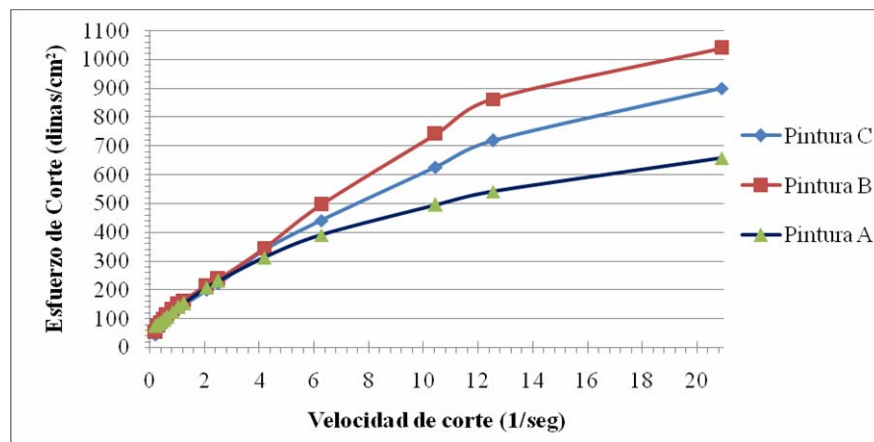


Figura 4.1 Variación reológica de las pinturas base agua (formula actual).

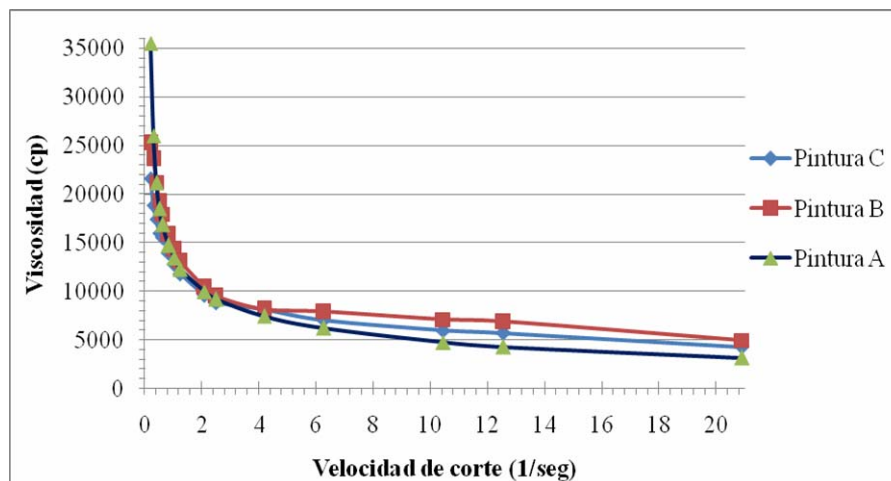


Figura 4.2 Variación de la viscosidad con la velocidad de corte para los diferentes tipos de pinturas.

En la figura 4.2 se puede observar que la viscosidad disminuye a medida que aumenta la velocidad de corte, donde se describe el comportamiento pseudoplástico de las pinturas, es decir; a baja velocidad de corte se tiene alta viscosidad y a medida que aumenta la velocidad cortante disminuye la misma.

Este comportamiento indica una ruptura o reorganización continua de la estructura molecular, dando como resultado una menor resistencia al flujo. Para valores mayores a 4 seg^{-1} las curvas presentan un comportamiento cercano al Newtoniano.

También se puede observar que la pintura que tiene muy alta viscosidad a bajo esfuerzo de corte es la tipo A, entonces se puede deducir que aunque tiene menor cantidad de espesante celulósico que las pinturas tipo B y C, el contenido del mismo sigue siendo alto para la formulación actual, por lo que se pudiera disminuir el mismo sin afectar considerablemente la calidad del producto y de esa manera disminuir el costo de fabricación.

En la figura 4.3 se puede visualizar ampliamente el rango de comportamiento reológico de las pinturas estudiadas, se puede observar que después de una velocidad de corte de 20 seg^{-1} las pinturas muestran un comportamiento diferente, en donde el esfuerzo de corte disminuye, a diferencia de la pintura tipo A, la cual sigue presentando un comportamiento cercano al Newtoniano.

En la figura 4.4 se aprecia que los diferentes tipos de pinturas mantienen un comportamiento pseudoplástico. Aunque para velocidades de corte superior a 20 seg^{-1} tienen un comportamiento constante, lo que se puede traducir como la existencia de una buena capacidad de aplicación de los recubrimientos, ya que a velocidades de corte alta se puede simular la aplicación de la pintura, y un comportamiento uniforme supone que la pintura se expande sobre la superficie adecuadamente, es decir sin producir el efecto de lluvia (escurrimiento).

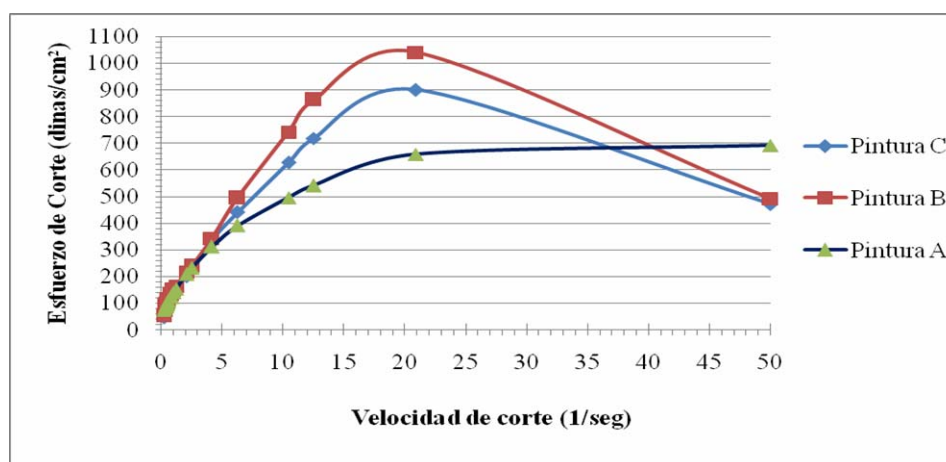


Figura 4.3 Variación del esfuerzo cortante de los diferentes tipos de pintura.

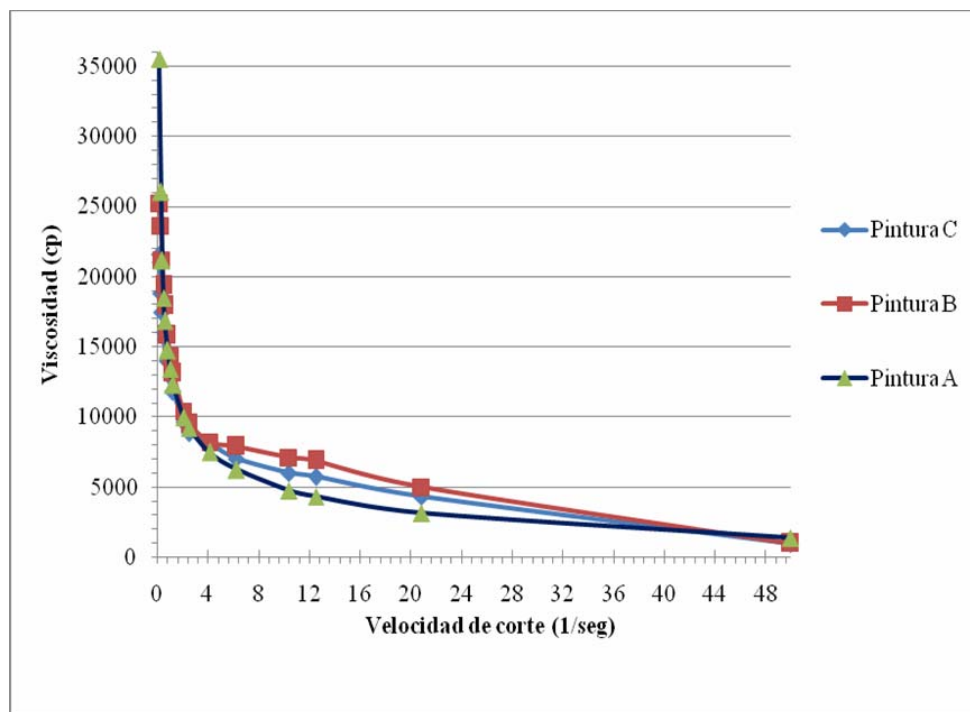


Figura 4.4 Variación de la viscosidad de las pinturas con la velocidad de corte.

4.2 DETERMINACIÓN DE LAS COMPOSICIONES ADECUADAS DE ESPESANTES CELULÓSICOS O ACRÍLICOS QUE PERMITAN LA REDUCCIÓN DE LOS PROBLEMAS DE SINÉRESIS Y TIXOTROPÍA DE ESTOS RECUBRIMIENTOS

Se ha observado que en las pinturas base agua obtenidas, a medida que transcurre el tiempo disminuyen sus viscosidades, posiblemente como consecuencia de diversas interacciones entre sus componentes, inestabilidad de la dispersión alcanzada y/o de la degradación natural del producto entre otras causas. De las diferentes tipos de pintura analizadas, la tipo C, es la que presenta una mayor disminución de la misma, aunque tiene un valor alto para un tiempo cero, entendiéndose como cero el tiempo en que se toma la primera medida de viscosidad un día después de fabricada la pintura.

Aunque la pintura tipo C contiene más espesante que el resto de las pinturas, también es la que posee el menor contenido de sólidos (mayor porcentaje de concentración de volumen de pigmento). Cuando la CVP se aproxima al 100 %, quiere decir que la pintura contiene muy poca cantidad de resina, lo que equivale a una pintura económica y de bajo desempeño. Cuando tiende a 0 %, quiere decir que el contenido de resina es muy alto, con lo cual seguramente se tendrá un muy alto desempeño, un acabado brillante y también alto costo.

La pintura tipo C es también la que posee mayor porcentaje de agua, la cual tiende a favorecer la degradación del producto en el tiempo.

Se puede establecer entonces que aunque una pintura esté formulada con mayor cantidad de espesante no necesariamente será de mayor calidad y se verá afectada por el tiempo de almacenaje. Estos comportamientos se muestran en la figura 4.5.

En cuanto al fenómeno de tixotropía, se pudo constatar en base al cambio de la viscosidad en función del tiempo, que el mismo disminuye a medida que aumenta la calidad de la pintura, recordando que la pintura tipo C es la de menor calidad y precio, la tipo B es intermedia y la tipo A posee los valores más altos.

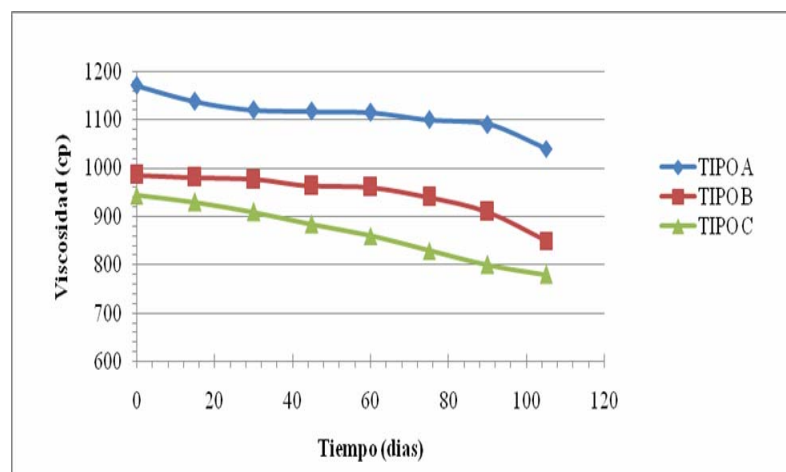


Figura 4.5 Variación de la viscosidad en función del tiempo de almacenamiento para los diferentes recubrimientos a base de agua (curva tixotrópica).

Se realizaron ensayos variando la cantidad de espesante para una misma formulación de pinturas, a fin de conocer la influencia del mismo. A nivel visual las pinturas se notan diferentes ya que algunas se ven mas espesas que otras; sin embargo durante las pruebas realizadas se obtuvo que su comportamiento reológico durante la aplicación es igual ya que se comportan de la misma manera a velocidades de corte superiores a 5 seg^{-1} (zona de baja velocidad de corte que es donde se aprecia la consistencia del producto final). En la figura 4.6 se aprecia este comportamiento. Cuando se aumentó el espesante se observa que tienen alta viscosidad mientras que en los casos donde se sustituyó la hidroxietilcelulosa (espesante celulósico) por espesante acrílico o se disminuyó la proporción de la hidroxietilcelulosa, se tiene un comportamiento relativamente constante, lo que se traduce en una menor tixotropía.

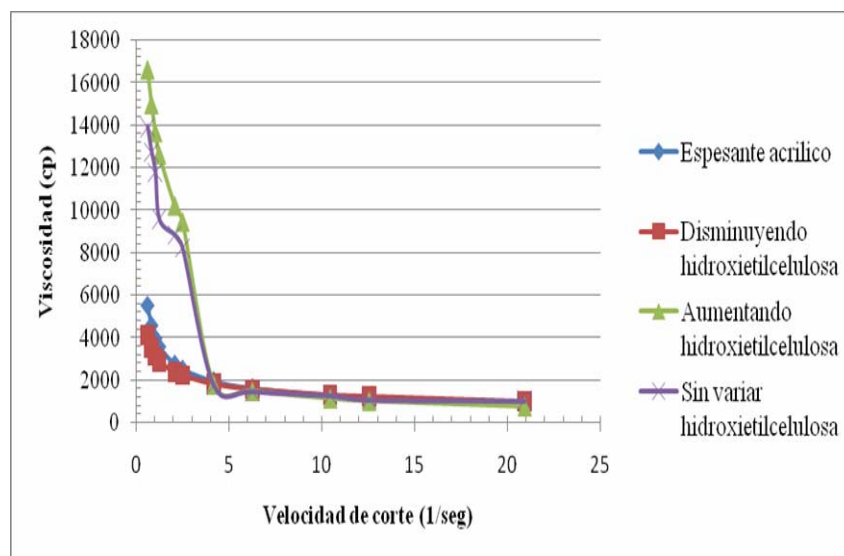


Figura 4.6 Variación de la viscosidad con la velocidad de corte modifica el Contenido de espesante en las pinturas.

En la figura 4.7 se observa que la formulación actual de la pintura tipo B tiene un comportamiento distinto al resto de las pinturas con las cuales se comparó. Mientras que la fórmula propuesta para la pintura tipo B se encuentra dentro de los rangos de dos pinturas de otras marcas, donde la pintura Dominó tiene menor gradiente de esfuerzo cortante, lo que supone bajo CVP, por lo cual

posee un mejor comportamiento reológico, buena resistencia al manchado y a la intemperie. La fórmula propuesta también posee mayor cantidad de ligante o resina que la Solintex lo que le aporta mayor resistencia a la intemperie que esta, pero sin embargo muestra una resistencia menor que la pintura Dominó. En la figura 4.8 se observa que la fórmula propuesta (cuya composición es de uso exclusivo de la empresa) y la dominó son las que tienen mejor comportamiento en la zona de baja viscosidad, ya que la fórmula actual y la Solintex tienen muy alta viscosidad a baja velocidad de corte.

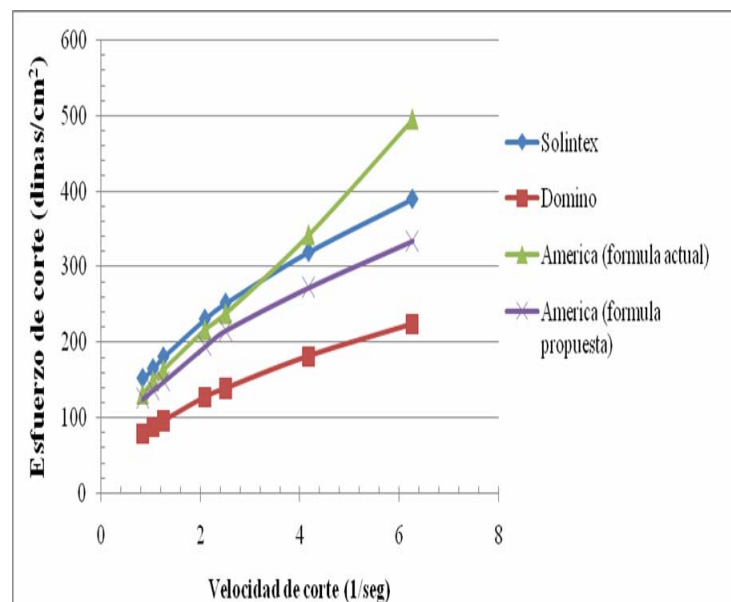


Figura 4.7 Variación del esfuerzo de corte con la velocidad para la fórmula actual de una pintura tipo B, la fórmula propuesta y otras marcas de tipo similar.

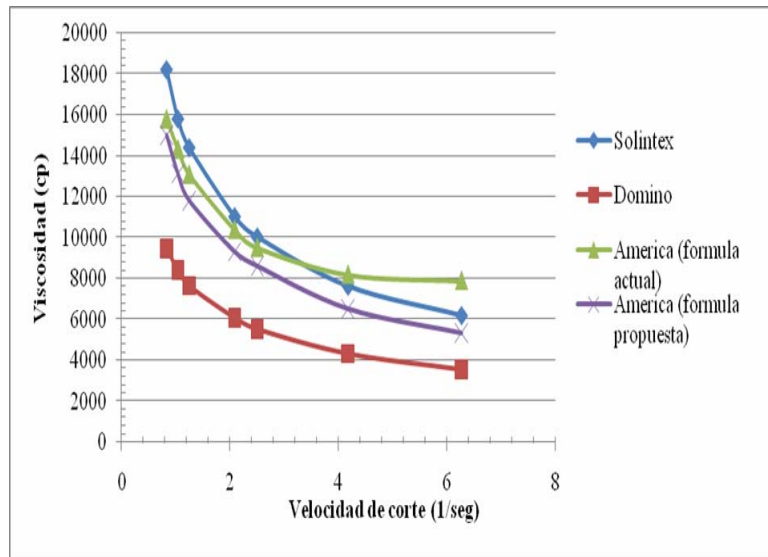


Figura 4.8 Variación de la viscosidad con la velocidad de corte para la fórmula actual de una pintura tipo B, la fórmula propuesta y otras marcas de tipo similar.

4.3 EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE AGITACIÓN EN EL COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DEL PRODUCTO

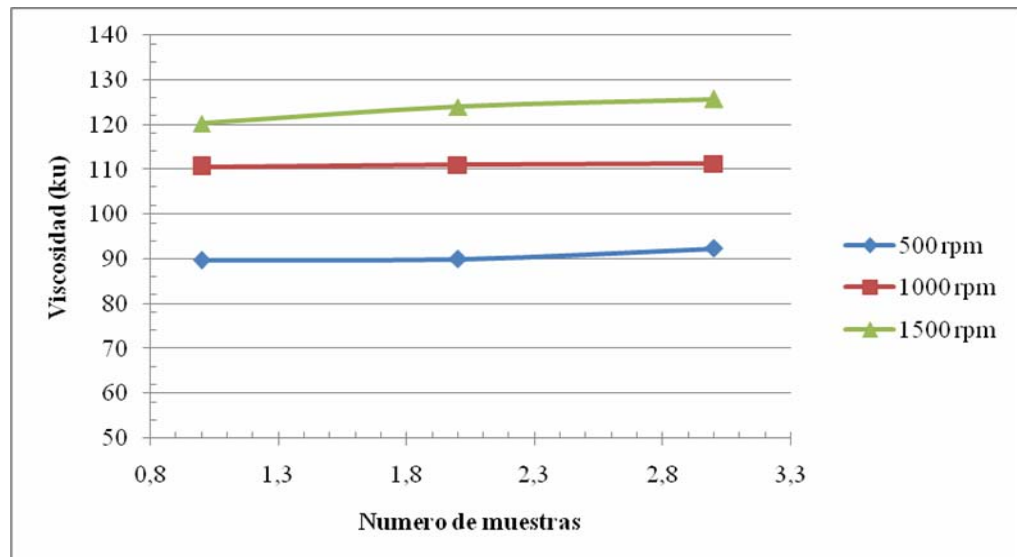


Figura 4.9 Variación de viscosidad de las pinturas a diferentes velocidades de agitación.

En cuanto a la influencia de la velocidad de agitación en la etapa de dispersión de los pigmentos, se determinó que la misma no era la más adecuada. Debido a que aún cuando se variaban las revoluciones del eje de agitación desde 500 rpm a 1500 rpm, no se obtenía una buena dispersión de la carga. Esto se atribuyó finalmente a la poca consistencia que posee la carga siguiendo el procedimiento normal de preparación que emplea la empresa, ya que cuando la carga tiene alto contenido de agua, se tiene poca efectividad al momento de realizar los choques entre partículas y las tensiones de cizallamiento entre los componentes la etapa de dispersión. Por esta razón, se hizo una evaluación de la consistencia más adecuada durante la etapa de preparación de la pintura. Mediante los ensayos realizados se obtuvo que la mezcla de pigmento y cargas debían agregarse con un menor contenido de solvente (agua) a fin de tener una mayor viscosidad, la cual a su vez favorece la fricción entre las partículas de la carga y produce una buena finura en el producto.

En la figura 4.9 se observa que a medida que se incrementa el cizallamiento o la tensión del impacto sobre las partículas, éstas se rompen aumentando la dispersión. Cuando se dispersa en mayor grado el dióxido de titanio, es posible obtener una mejor finura en un lapso de 5 a 10 minutos; y este parámetro no mejora de manera apreciable cuando se aplican tiempos mayores, es decir que prolongar el tiempo de dispersión en la fabricación de las pinturas no reduce el tamaño de partícula de los pigmentos y cargas sino se selecciona correctamente el esfuerzo de cizallamiento.

Como se puede apreciar en la figura 4.10, la finura juega un papel fundamental en el comportamiento reológico de las pinturas, mientras mayor sea la finura la misma presenta un mayor esfuerzo cortante para los mismos valores de velocidad de corte, es decir, que si las propiedades de dispersión son deficientes, no se aprovecharía el comportamiento reológico más adecuado de las pinturas. Con este cambio en el procedimiento, la pintura emplearía la misma formulación, pero se obtendría mejor grado de finura. El cambio sería a nivel de procedimiento de preparación y no en la variación de las velocidades del eje del dispersor.

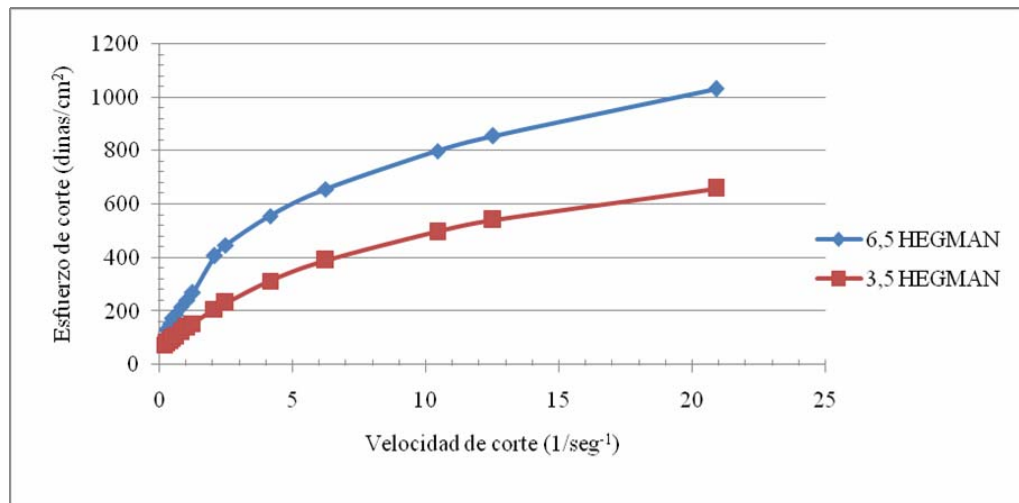


Figura 4.10 Variación del esfuerzo de corte con la velocidad para diferentes grado de finura.

En la figura 4.11 se observa que la pintura con una finura superior alcanza una mayor viscosidad para un determinado valor de velocidad de corte, es por ello que se propone mejorar las propiedades de dispersión aumentando la velocidad de cizallamiento en el proceso de dispersión, para obtener altas viscosidades, además de aprovechar todo el poder de cubrimiento que brindan los pigmentos cuando se encuentran bien dispersos.

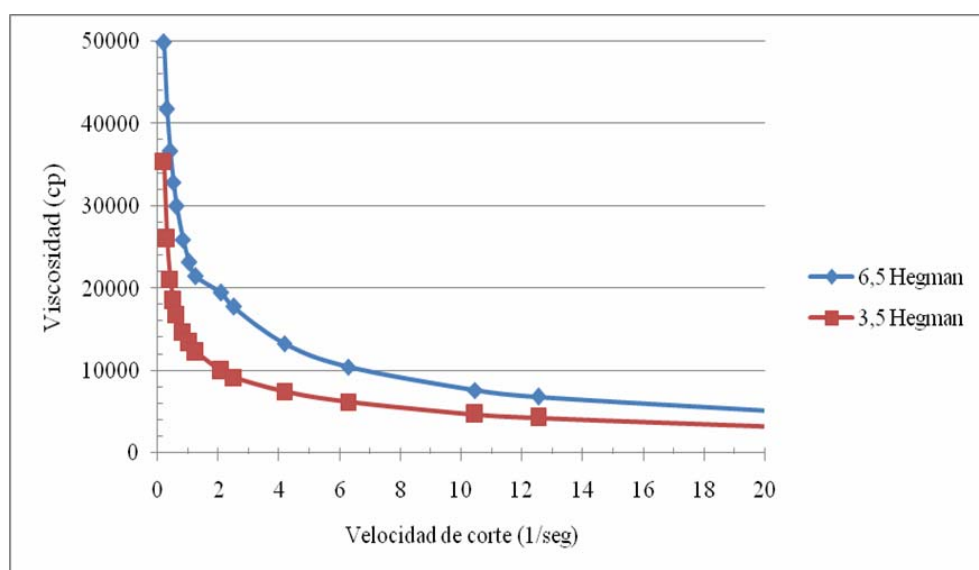


Figura 4.11. Variación de la viscosidad con la velocidad de corte para diferentes grado de figura.

4.4 RELACIÓN CALIDAD-PRECIO, EN BASE A LAS MODIFICACIONES NECESARIAS (PIGMENTOS, CARGAS, ESPESANTES Y RESINA) EN LA FORMULACIÓN DE LAS PINTURAS ESTUDIADAS

Para establecer una mejor relación calidad precio, se propone realizar los cambios mostrados en la tabla 3.15, en cuanto al incremento de pigmento así como también la mejora en el procedimiento de elaboración que otorga una mayor velocidad de cizallamiento en la etapa de dispersión de pigmentos y cargas, con los cuales se obtienen nuevos parámetros de calidad referidos en la tabla 4.2, donde se puede apreciar una mejora en el cubrimiento de las pinturas arquitectónicas; y aunque el porcentaje de sólidos y el CVP disminuyeron, la calidad aumentó, porque aquí interviene el reemplazo de unos sólidos de calidad inferior (carbonatos) por otros de calidad superior (dióxido de titanio).

Tabla 4.2 Parámetros de calidad de los diferentes tipos de pinturas propuestas.

Características	Tipo A	Tipo B	Tipo C
% de sólidos	50,00	46,00	43,60
pH	7,07	7,69	7,77
Densidad (g/ml)	1,40	1,39	1,30
Viscosidad (ku)	98,00	92,80	89,0
Cubrimiento	Excelente	Excelente	Bueno
CVP (%)	62,00	70,00	80,00
Finura (Hegman)	6,50	6,50	6,50
Precio por Gal (Bs)	77,00	47,00	25,00

En la tabla 4.3 se muestran los precios por galón de los recubrimientos según su formulación actual y la propuesta comparándola con los precios de pinturas de buena calidad de marcas reconocidas por el mercado, donde se puede apreciar que las pinturas elaboradas por la empresa tiene los precios más bajos del mercado, y aunque los precios aumentaron para las formulaciones propuestas también se incrementó considerablemente su calidad manteniendo una buena relación calidad precio. En la figura 4.12 se resume dicha información.

Tabla 4.3 Precios por galón de distintas marcas en el mercado

Marcas	BOLIVARES POR GALÓN	
	Tipo C	Tipo A
Solintex	-	-
Domino	47,00	170,00
América(actual)	19,00	69,00
América (propuesta)	25,00	77,00

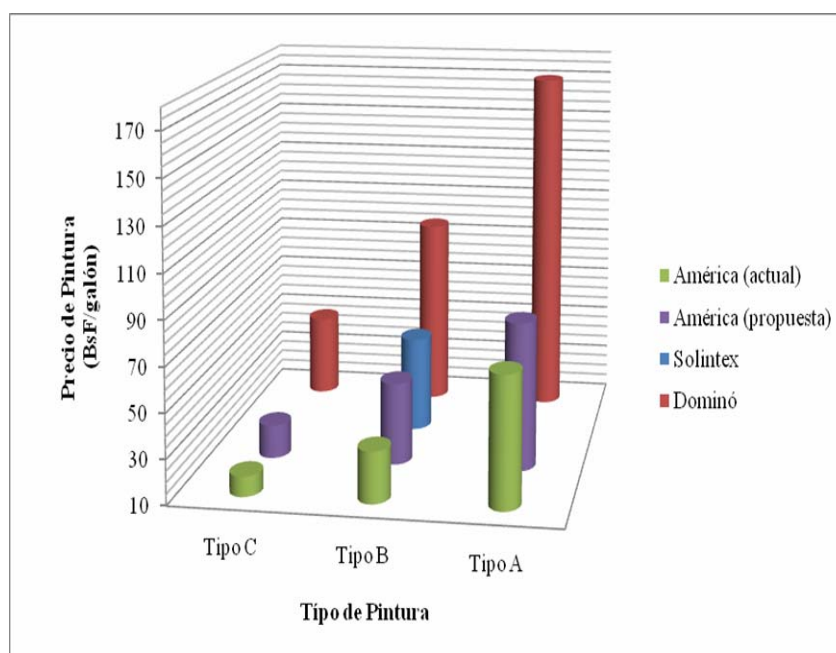


Figura 4.12 Precios de los tipos de pinturas estudiadas.

En el grafico 4.12 se puede observar que aunque la fórmula propuesta aumentó su precio en comparación con la actual, sigue siendo más económica que las pinturas de otras marcas reconocidas.

4.5 CONCLUSIONES

1) Las propiedades fisicoquímicas de las pinturas tipo A, B y C fabricadas por la empresa están dentro de los parámetros de calidad exigidos por la norma COVENIN 1302:1996.

2) Las propiedades reológicas de las pinturas fabricadas con la formulación original presentan un comportamiento no Newtoniano, es decir el esfuerzo de corte de las pinturas tipo A, B y C no es proporcional a la velocidad de corte.

3) Las pinturas base agua tienen un comportamiento pseudoplastico, es decir la viscosidad disminuye al aumentar la velocidad de corte.

4) Las viscosidades de las pinturas se ven afectadas por el tiempo, presentando un efecto Tixotrópico.

5) La pintura tipo C presenta mayor tixotropía que las pinturas tipo B y C.

6) Al disminuir el espesante en una proporción adecuada no afecta considerablemente la consistencia de las pinturas y el efecto tixotrópico disminuye.

7) La viscosidad de las pinturas es directamente proporcional al porcentaje de sólido que contienen.

8) El espesante confiere alta viscosidad a bajas velocidades de corte.

9) A altas velocidades de corte los pigmentos que marcan la pauta en el comportamiento reológico de los diferentes tipos de recubrimientos arquitectónicos.

10) El proceso de dispersión que emplea la empresa actualmente no es el más adecuado.

11) Para que haya una dispersión eficiente de los pigmentos la carga debe tener una alta consistencia, por lo cual se debe cambiar el procedimiento de elaboración (forma como se agrega la carga). Esto es lo que determina la dispersión y no el incremento en la velocidad de agitación.

12) La culminación del proceso de fabricación de pinturas debe ser a baja velocidad de cizallamiento para evitar la formación de espuma.

13) La viscosidad es directamente proporcional al grado de finura de la pintura. Al aumentar la finura de los pigmentos aumenta la viscosidad de las pinturas.

14) A mayor concentración de volumen de pigmento (CVP) se tiene mayor viscosidad.

15) Se realizaron formulaciones nuevas y cambios de procedimiento de fabricación que mejoraron la calidad (comportamiento reológico de las pinturas A,B y C).

4.6 RECOMENDACIONES

1) Dada la complejidad de la formulación y la reología de las pinturas, se considera conveniente realizar un estudio de la misma en sistemas más sencillos, como por ejemplo, soluciones de espesante más agua, y posteriormente ir adicionando gradualmente los componentes, a fin de evaluar la influencia de cada uno y su interacción en el producto final, con el propósito de obtener la máxima calidad de la materia prima.

2) Realizar ensayos en la etapa de dispersión aumentando la velocidad de cizallamiento a valores superiores de 1500 rpm, para estudiar la influencia en el comportamiento reológico en el producto final.

3) Modificar el procedimiento de elaboración que utiliza actualmente la empresa, en la etapa de dispersión de los pigmentos, empleando el nuevo procedimiento, el cual consiste en añadir la carga inicial de pigmento y carbonato con bajo porcentaje de agua inicial, lo que proporciona mayor finura y dispersión del producto.

BIBLIOGRAFIA

1. De Notta H., “Introducción a la Reología” 20 de Noviembre de 2008 (2000). Disponible en http://www.ffyb.uba.ar/farmacotecnia%20I/Reologia/Introduccion_a_la_Reologia.htm
2. Esplugas S., “La reología como herramienta para la formulación de nuevas pinturas” 20 de Noviembre de 2008 (2001). Disponible en <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1065604>.
3. Maestro A., “Reología de espesantes celulósicos para pinturas al agua: Modelización y mecanismo de espesamiento”. 20 de Noviembre de 2008 (2004). Disponible en <http://www.tesisenred.net/TDX-1114108-135447>
4. Austin G., “Manual de Procesos Químicos en la Industria”, Tomo II, Primera Edición, McGraw Hill, Ciudad de México, México (1988).
5. Restrepo G., “Una mirada técnica a la fabricación de pinturas arquitectónicas base agua”. Resinas Ultracryl, La Estrella, Medellín, Colombia (2006).
6. Garay R. y de Notta H., “Proceso de producción de pinturas”, Andina Paint, Venezuela (2006).
7. Perry R., “Manual del Ingeniero Químico”, Sexta Edición. Tomo I, McGraw Hill, México (1992).
8. Temple P., “Paint Flow and Pigment Dispersión”, Segunda Edición, Wiley & Sons, USA (1979).

9. Catálogo sobre viscosímetros, reómetros y analizadores de textura. Marca Brookfield (2009).
10. Manual instructivo para medidas y uso del viscosímetro. Marca Brookfield (2006).
11. Schweigger E., “Manual de pinturas y recubrimientos plásticos”. Primera Edición, Díaz de Santos, Madrid (2005).
12. Geankoplis, C.J “Proceso de transporte y operaciones unitarias”. Tercera edición, continental, S.A. de C.V México (1998).
13. McCabe W.; Smith J. y Harriot P., “Operaciones Unitarias en Ingeniería Química”. Cuarta edición, McGraw Hill, España (1998).
14. Manual sobre éteres celulósicos hidrosolubles. Tipo Tylose, Marca Hoechst (1996).
15. Formoso A., “2000 procedimientos industriales al alcance de todos”. Decimo tercera edición, Limusa. Madrid, España (1995).
16. Bird, R.; Stewart, W. y Lightfoot, E., “Fenómenos del Transporte”. Reverté, Barcelona, España (1980).
17. Martens C., “Technology of paints, varnishes and lacquers”. Krieger, New York.

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y
ASCENSO**

TÍTULO	“Estudio de la influencia de la formulación y del proceso de elaboración en la calidad de diferentes tipos de recubrimientos arquitectónicos para una fábrica de pinturas”
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CVLAC / E MAIL
Rico J. Jackeline R.	CVLAC: 15.154.573 EMAIL: jacqueline.rico.j@gmail.com

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

Pinturas

Pigmentos

Reología

Viscosidad

Viscosímetro Brookfield

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ÁREA	SUB ÁREA
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Ingeniería Química

RESUMEN (ABSTRACT):

El presente trabajo se inició analizando las fórmulas y procedimientos originales de la empresa Pinturas América C.A., los cuales posteriormente se variaron de manera controlada a fin de obtener de resultados tendentes a mejorar su calidad, teniendo presente que el producto a obtener debe poseer características tales como: fácil aplicación o esparcimiento, bajo escurrimiento y a su vez permanecer lo más homogénea posible en el interior del envase entre otras. Antes de variar la composición de las formulas originales de las pinturas se estudio su comportamiento, obteniéndose que las mismas presentan las características de un fluido no Newtoniano, tipo pseudoplástico, dado que la viscosidad obtenida disminuyó a medida que se aumentó la velocidad de corte. También se apreció en las pinturas analizadas el fenómeno de tixotropía, es decir, que la viscosidad de las pinturas disminuyó a través del tiempo una vez en reposo el producto. Finalmente se compararon las pinturas analizadas con otras de marcas reconocidas y de amplia aceptación por el mercado, y los resultados fueron similares en comportamiento reológico.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**CONTRIBUIDORES:**

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
	ROL	CA	AS(X)	TU	JU
Cova B., Alexis J.	ROL	CA	AS(X)	TU	JU
	CVLAC:	V- 11.905.328			
	E_MAIL	alexiscovab@gmail.com			
	E_MAIL				
Solano H., Jesús R.	ROL	CA	AS	TU(X)	JU
	CVLAC:	V- 8.296.200			
	E_MAIL	Jesus_solano_h@cantv.net			
	E_MAIL				
Marfisi V., Shirley E.	ROL	CA	AS	TU	JU(X)
	CVLAC:	V- 10.301.828			
	E_MAIL	shirleymarfisi@yahoo.com			
	E_MAIL				
Moncada, Fidelina	ROL	CA	AS	TU	JU(X)
	CVLAC:	V- 13.366.691			
	E_MAIL	fidelinamoncada@cantv.net			
	E_MAIL				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2010	03	01
AÑO	MES	DÍA

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ARCHIVO (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
Tesis.Estudio_formulación.doc	Aplicación/msword

CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F G H I J K L M N O P Q
R S T U V W X Y Z . a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z . 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 .

ALCANCE

ESPACIAL: **Control de calidad y producción Pinturas América C.A.** (OPCIONAL)TEMPORAL: **6 meses** (OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Ingeniero Químico

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Pregrado

ÁREA DE ESTUDIO:

Departamento de Ingeniería Química

INSTITUCIÓN:

Universidad de Oriente Núcleo de Anzoátegui

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**DERECHOS**

De acuerdo al artículo 41 del Reglamento de Trabajo de Grado:

“Los Trabajos de Grado son exclusiva propiedad de la Universidad y solo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario”

Jackeline R. Rico J.
AUTOR

Prof. Alexis Cova
TUTOR

Prof. Shirley Marfisi
JURADO

Prof. Fidelina Moncada
JURADO

Ing. Jesús Solano
TUTOR

Prof. Yraima Salas
POR LA SUBCOMISION DE TESIS