

**ELABORACIÓN DE SUSPENSIONES A BASE DE PIGMENTOS CON FINES
DECORATIVOS**

JOSE FERNANDO CASTILLA LEMUS

CESAR MAURICIO TORRES ARIAS

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA
2011**

**ELABORACIÓN DE SUSPENSIONES A BASE DE PIGMENTOS CON FINES
DECORATIVOS**

JOSE FERNANDO CASTILLA LEMUS

CESAR MAURICIO TORRES ARIAS

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Químico**

Director del Proyecto:

PhD. Ramiro Martínez Rey

Co-Director del Proyecto:

PhD. Mario Álvarez Cifuentes

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA
2011**

DEDICATORIA

Aunque pase por quebradas oscuras, no temo ningún mal, porque tú estás conmigo con tu vara y tu bastón, y al verlas voy sin miedo. (Salmo 23, 5)

A Dios, por el gran regalo de la vida. Por darme esta maravillosa oportunidad y los medios para llevarla a buen término.

A mi Familia, Por su apoyo incondicional y constante en las adversidades de la vida. Gracias por la paciencia y la confianza que depositaron en mí.

A todos mis amigos, compañeros y demás personas que han sido siempre un motivo de alegría en mi vida.

Cesar M. Torres A.

Le dedico mi esfuerzo primeramente a Dios por brindarme la vida y permitir progresar poco a poco en las metas propuestas en mi vida.

A mis padres por su apoyo incondicional brindado durante estos años de estudio

A todos mis amigos, compañeros y a mi novia por ese apoyo incondicional.

José F. Castilla L.

AGRADECIMIENTOS

Los Autores expresan sus más sinceros agradecimientos a:

Los Profesores Ramiro Martínez y Mario Álvarez, por su participación oportuna en el desarrollo de este trabajo.

A la Universidad Industrial de Santander y la escuela de Ingeniería Química, por el conocimiento que forjaron en nosotros a lo largo de estos años de preparación.

A Carlos García Profesor de análisis de variables de la escuela de Ingeniería Química, por su abnegada e incondicional ayuda.

A todos aquellos que contribuyeron para llevar a cabo este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	14
MARCO TEÓRICO	16
1.1 PIGMENTOS.....	16
1.1.1 PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS PIGMENTOS.....	16
1.1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS PIGMENTOS.	17
1.2 VEHÍCULOS.....	19
1.3 ADITIVOS.....	20
1.4 SISTEMAS DISPERSOS	20
1.5 SUSPENSIONES, CARACTERIZACIÓN Y ESTABILIDAD	21
1.5.2 COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DE LAS SUSPENSIONES	22
DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	25
ETAPAS PRELIMINARES.....	25
FACTORES INFLUYENTES EN LA PIGMENTACIÓN Y PÉRDIDA DEL PIGMENTO	28
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	33
CONCLUSIONES	41
RECOMENDACIONES.....	42
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43
BIBLIOGRAFÍA.....	45

Lista de Tablas

<i>Tabla 1. Pigmentos Comunes de Óxido de Hierro. Fuente: NSW Department of Primary Industries, 2007 [5]. Fuente: los Autores.....</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 2. Ejemplos de suspensiones, emulsiones o espumas que muestran diferentes características reológicas. Fuente: Schramm, 2005 [6]. Fuente: Los Autores.....</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 3. Esquema de cómo se rotularon las Pruebas en las Etapas Preliminares. Las cantidades P01 y C01, se muestran en esta tabla en gramos y en porcentaje en peso; el peso total de una suspensión es de 250 gramos. Fuente: Los Autores.....</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 4. Pruebas para determinar la cantidad del tensoactivo en la formulación final. Fuente: Los autores.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 5. Pruebas para determinar la cantidad de adherente necesaria en la formulación y observar el comportamiento al ser mezclado con los otros componentes. Fuente: Los Autores.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 6. Manera como se registraron los datos de las réplicas de cada tratamiento en la Prueba de Pigmentación. Fuente: Los Autores.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 7. Variables escogidas como factores de diseño para en análisis de experimentos. Fuente: Los Autores.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 8. Datos ordenados para analizar la influencia de los factores sobre Pig1. Fuente: Los Autores.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 9. Datos ordenados para analizar la influencia de los factores en la variable Pérdida. Fuente: Los Autores.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 10. Medidas de viscosidad de la primera parte de las pruebas preliminares a 50 s⁻¹. Fuente: Los Autores.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 11. ANOVA para Pig1. Fuente: Los Autores.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 12. ANOVA para Pérdida. Fuente: Los Autores.....</i>	<i>39</i>

Lista de Figuras

<i>Figura 1. Diagrama de Proceso Preliminares. Fuente: Los Autores.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 2. Proceso Búsqueda de Factores. Fuente: Los Autores.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 3. Prueba de Pigmentación. Fuente: Los Autores.</i>	<i>29</i>
<i>Figura 4. Esfuerzo contra Velocidad de Deformación, se pueden ver todas las Pruebas de la primera parte de la fase 1. Medidas a 23°C. Fuente: Los Autores.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 5. Viscosidad Contra Velocidad de Deformación, Todas las pruebas de la primera parte de la fase 1. Medidas a 23°C. Fuente: Los Autores.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 6. Fotografía de la superficie de una viruta pigmentada con la suspensión 1a. Fuente: Los Autores.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 7. Fotografía de la superficie de una viruta pigmentada con la suspensión 5c. Fuente: Los Autores.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 8. Comienzo de la prueba para estimar la mejor cantidad de TEN en la formulación (Izquierda) y Fin de la prueba para conocer la mejor cantidad de TEN en la formulación (Derecha), tomada después de 24 horas del inicio de la Prueba. Fuente: Los Autores.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 9. Paleta Pigmentada con Suspensiones Preparadas en la Segunda Etapa.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 10. Virutas de Pruebas preliminares (Izquierda) y Paletas de la segunda fase experimental (Derecha).</i>	<i>40</i>

RESUMEN

TITULO: ELABORACIÓN DE SUSPENSIONES A BASE DE PIGMENTOS PARA FINES DECORATIVOS.*

AUTORES: JOSE FERNANDO CASTILLA LEMUS, CESAR MAURICIO TORRES ARIAS. **

PALABRAS CLAVES: Sistemas dispersos, suspensiones, pigmentos, esferas suspendidas.

DESCRIPCIÓN:

Se prepararon suspensiones a diferentes concentraciones de pigmento, espesante, tensoactivo y adherente con el fin de determinar el grado de pigmentación y adherencia que tienen al ser usadas en madera con fines decorativos. Para tal propósito se planteó un diseño de experimentos factorial 2^4 .

Como etapa preliminar, se mezcló el espesante con el pigmento en un agitador de alta velocidad durante 10 minutos. Una vez terminada y obtenida la suspensión se midió su viscosidad y se fijaron los niveles adecuados de concentración para la relación espesante/pigmento. Consecuentemente, se repite el procedimiento para los factores restantes tensoactivo/adherente; y se tomaron muestras de las suspensiones, sumergiendo las virutas de madera con el fin de cuantificar la pigmentación con un tiempo de secado de 24 horas. Finalmente, las muestras se sometieron a una prueba de condiciones extremas de humedad *Prueba de Pigmentación*, logrando establecer su adherencia.

Los resultados obtenidos muestran que no existe ninguna relación entre los factores y la variable de respuesta con un nivel de confianza del 95%, para ninguna de las dos variables de salida, siendo el factor visual una variable decisiva que permite verificar el avance de este estudio, al comparar las pruebas ópticas iniciales con la finales, se pudo notar una mejor apariencia en las finales, lo que indica que se mejoró el producto en la segunda etapa.

* Tesis de Grado

** FACULTAD de Ingeniería Físicoquímicas, Escuela de ingeniería Química, Director: PhD. Ramiro Martínez rey. Codirector: PhD. Mario Álvarez Cifuentes

ABSTRACT

TITLE: PREPARATION OF SUSPENSION BASED PIGMENTS FOR DECORATIVE PURPOSES.*

AUTHORS: JOSE FERNANDO CASTILLA LEMUS, CESAR MAURICIO TORRES ARIAS. **

KEYWORDS: Dispersed systems, suspensions, pigments, spheres suspended.

DESCRIPTION:

The suspensions were prepared with different concentrations of a pigment, thickener, surfactant and bonding in order to determine the degree of pigmentation and the adherence that are being used in wood for decorative purposes. In order to achieve this, a design with factorial 2^4 experiment was designed.

As a preliminary stage, the thickener and the pigment were mixed for ten minutes in a high speed shaker. Once the suspension was finished, its viscosity was established and the adequate levels of thickener/pigment were fixed using a viscometer; the same was done for the missing factors surfactant/adherent. Samples from the suspensions were taken to quantify its pigmentation using submerged wood chips after a twenty-four hours drying period. Finally, a test for extreme humidity conditions (Probe of water) was applied to establish its adherence

The results showed there is no relationship between the factors and the response variable with a confidence level of 95% for any of the two output variables. It is important to highlight that the visual factor is a critical variable which allows the verification of the progress of this study, comparing the initial optical testing with the end, one could see a better appearance in the finals, which indicates that the product was improved in the second stage.

* Thesis of Degree

** FACULTY of Physiochemical Engineering, School of Chemical Engineering. Director: PhD. Ramiro Martínez rey. Codirector: PhD. Mario Álvarez Cifuentes

INTRODUCCIÓN

La mayoría de los objetos y bienes que nos rodean comúnmente, tienen algún tipo de recubrimiento, sea pintura o barniz, cuyas finalidades básicas son protección ante agentes externos como la abrasión, corrosión o luz ultravioleta, etc.; y al mismo tiempo, proporcionar un aspecto decorativo. Esto último tiene gran importancia hoy en día, puesto que la comodidad, el buen gusto y el bienestar de las personas se ven influenciadas por el uso de herramientas decorativas. Esta nueva tendencia permite investigar diversas técnicas que determinan y definen el tema propuesto [1].

Los recubrimientos utilizados constan de una suspensión que contiene un pigmento, cuya finalidad es brindar color y poder de cubrición. Cabe resaltar que son de origen mineral y existen diferentes tipos utilizados en la industria [2]. Por otro lado, la necesidad de usar nuevas técnicas decorativas en los hogares, de acuerdo a las normativas medioambientales establecidas en Colombia, ha permitido el diseño de nuevos productos como los abonos orgánicos, los cuales han contribuido con el desarrollo y aplicación de dichas técnicas especialmente en jardinería.

El siguiente proyecto de grado va encaminado al análisis e implementación de metodologías para la elaboración de suspensiones que permitan su uso y aplicación en diversos ambientes cotidianos que impliquen fines decorativos, especialmente en jardinería. Por tanto, se presentan los resultados obtenidos a través de un diseño experimental, con los cuales fue posible cumplir a cabalidad con el objetivo principal planteado, siendo este lograr determinar el grado de pigmentación y adherencia de una suspensión que cumpla con las características adecuadas y esperadas según el tipo de decoración para la cual fue diseñada.

Así pues, es de gran relevancia mencionar que el incentivo y al mismo tiempo, el resultado principal de este estudio experimental fue encontrar una vía sencilla y económica para obtener el producto deseado.

MARCO TEÓRICO

1.1 PIGMENTOS

Los pigmentos son sustancias químicas de origen mineral u orgánico finamente divididos que, dispersos homogéneamente en un vehículo o agente espesante, tienen como finalidad dar color y poder de cubrición, además de ser la base fundamental de las suspensiones como las pinturas, textiles, tintes, cosméticos, alimentos y otros productos [1].

En un principio su uso exclusivo fue el de tinturar, hoy en día se dice que son la causa de muchas propiedades físicas que hacen que las suspensiones tengan un fin exclusivo [2].

1.1.1 PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS PIGMENTOS

Entre las características generales de los pigmentos se encuentran la de proporcionar color, mejorar la resistencia de las películas de revestimiento, mejorar la adherencia, la durabilidad, la corrosión, el brillo y las propiedades físicas para las que se ha diseñado cualquier tipo de suspensión.

Para poder elegir el pigmento que cubra las características anteriormente mencionadas, debemos conocer qué tipo de propiedades poseen cada pigmento como por ejemplo, la fuerza de tinte, la resistencia a la luz, el índice de refracción, la forma de la partícula, la reactividad química, la estabilidad térmica entre otras [3].

1.1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS PIGMENTOS.

Los pigmentos se pueden clasificar de acuerdo con su aplicación, permanencia, color y origen.

- **Según origen:**

- Pigmentos naturales

Estos pigmentos a su vez se dividen en orgánicos e inorgánicos. Los pigmentos inorgánicos son los más comúnmente usados y están formados por minerales de composición definida, encontrándose en estado libre en la naturaleza. Se obtienen a partir de tierras, fósiles, silicatos, carbonatos, y de hierro [4]. Dentro de los más utilizados encontramos los siguientes:

- I. **Óxido de zinc:** pigmento blanco usado para pinturas anticorrosivas y especiales. Este pigmento en ambientes industriales, puede convertirse en sulfuro de plomo negro, siendo peligroso para la salud humana y el medio ambiente. El tamaño ideal de partícula es de 0.2-0-3 μ m y en pinturas de emulsión puede actuar como reticulante de polímeros con grupos carboxilo, pero su uso es muy limitado.
- II. **Óxido de hierro:** son pigmentos con alta resistencia a la luz y al ambiente. Pueden utilizarse en forma de productos naturales y sintéticos, siendo los óxidos rojos, amarillos y negros los más usados. Cabe destacar que los productos naturales contienen una cantidad importante de impurezas y su tamaño de partícula es más disperso.
- III. **Óxido de titanio:** se conoce principalmente como el pigmento blanco por excelencia. Dentro de sus características más relevantes, se sabe que posee alta resistencia a la luz y a la intemperie, alto poder de cubrimiento e importante resistencia a agentes químicos. Rutilo y anatasa son las dos formas de presentación, sabiéndose que el primero es ideal para la formación de pinturas.

- Pigmentos sintéticos

Se fabrican por medio de una reacción química, constituyendo así una manufactura química que permite la gran variedad de pigmentos y a menores costos que los procedimientos naturales. Estos están conformados por las mismas sustancias de los recursos naturales animales, vegetales o minerales [4]. Como se mencionó anteriormente, el óxido de hierro puede comportarse como uno de estos pigmentos, obteniéndose a partir del hidróxido de hierro que a su vez se obtiene por reacción del sulfato ferroso con hidróxido sódico. Por otro lado, en función del tamaño de partícula (0.1-1.0 μ m) se obtiene una tonalidad, un poder colorante y de cubrición determinado.

- **Según color:**

- Pigmentos amarillos

Existen distintas variedades de amarillos minerales, entre los que se encuentran los ocre, compuestos esencialmente por silicatos de aluminio, hidróxido férrico, óxido férrico y óxido ferroso-férrico. De igual manera, se sabe que la composición de los amarillos de cromo, zinc, molibdeno y cadmio representa un alto riesgo tanto para el medio ambiente como para el ser humano. [1].

- Pigmentos rojos:

En la naturaleza podemos encontrar rojos naturales de óxido de hierro, obtenidos por molienda y en caso necesario, sometiéndolos a calcinación y a un proceso de separación granulométrica de sólidos, mediante una corriente de agua, de los minerales de hierro, como la limonita, la hematita y la magnetita, entre otras [4].

Si bien ya sabemos los *“óxidos de hierro son los pigmentos naturales más abundantes en la naturaleza después del dióxido de titanio (TiO₂)”* [5] y más usados en la historia del color, debido a sus características fisicoquímicas. Por otro lado, no son tóxicos, son relativamente inertes y resistentes a la intemperie.

Tabla 1. Pigmentos Comunes de Óxido de Hierro. Fuente: NSW Department of Primary Industries, 2007 [5]. Fuente: los Autores.

Material	Composición	Color
Goetita	$\alpha\text{FeO.OH}$	Amarillo, Café
Hematita	Fe_2O_2	Rojo (como pigmento)
Lepidocrocita	$\gamma\text{FeO.OH}$	Amarillo
Magnetita	Fe_3O_4	Negro
Siderita	FeCO_3	Rojo*, Café*
Pirita	FeS_2	Rojo*
Limonita	Mezcla de hematita, goetita, lepidocrocita, con frecuencia con agua adsorbida.	Amarillo, Café*
Ocre	Óxido de hierro hematita o limonítico	Amarillo, Rojo, Café
Siena	Material limonítico amarillo-café	Amarillo, Café
Ocre oscuro	"café tierra", mezcla de óxidos de hierro hidratados, óxidos de magnesio, sílice, alúmina y cal	Café
Especularita	Óxido de hierro micáceo, variedad micácea de hematita	

*Calcinado

1.2 VEHÍCULOS

El vehículo es la parte líquida de una suspensión encargada de aglutinar los pigmentos (colorantes). Su adelgazamiento se logra al utilizar un disolvente,

también conocido como diluyente o adelgazador [1]. Éstos últimos, se usan para aumentar la fluidez y el manejo de las suspensiones; de igual manera, permiten la penetración en la superficie donde se aplican.

1.3 ADITIVOS

Los aditivos son sustancias que permiten mejorar la apariencia, estabilidad y durabilidad de las suspensiones. Se agregan en proporciones adecuadas de tal forma que puedan controlar la viscosidad, suprimir la generación de espuma y el tiempo de secado [1]. En términos más precisos, los aditivos intervienen en la formulación de un recubrimiento en cantidades pequeñas, es decir proporcionan una mezcla líquida heterogénea de productos en forma líquida y sólida con diversa densidad. Teniendo en cuenta las distintas necesidades de cada uno de los recubrimientos acuosos y aquellos basados en medio orgánicos, existen los siguientes tipos:

- I. Reductores de dureza del agua
- II. Dispersantes y humectantes
- III. Antiespumantes
- IV. Espesantes y antisedimentantes
- V. Bactericidas y fungicidas
- VI. Mateantes

1.4 SISTEMAS DISPERSOS

Sistema disperso es una mezcla de dos fases distintas, la cual contiene una fase líquida o medio de dispersión, en la que se ha dispersado pequeñas partículas, gotas o burbujas. De esta manera las espumas, suspensiones y emulsiones son sistemas dispersos. Una de las razones de importancia de los sistemas dispersos es que aparecen en una variedad de disciplinas prácticas, como productos y procesos [6].

1.5 SUSPENSIONES, CARACTERIZACIÓN Y ESTABILIDAD

Una suspensión se define como una dispersión coloidal, la cual consiste en una fase sólida dispersa y una fase líquida. Se conocen también como fase interna y externa, respectivamente.

El tamaño de dichas suspensiones varía de 1nm-1 μ m, asumiendo que la dispersión tiene una forma esférica. Se describen como coloides aquellas partículas con diámetros mayores a 2 μ m.

En el estudio de las Suspensiones se ha determinado que están expuestas a tres tipos de fuerzas:

- *Fuerzas de Van der Waals*: son resultantes de la carga neta presentada por la partícula en la superficie, y esto puede dar como resultado una fuerza neta de atracción o de repulsión. Responsables de la floculación y de la defloculación respectivamente.
- *Fuerzas Brownianas*: son función del diámetro de partícula y son resultado de la interacción directa de dichas partículas con las del líquido dispersante. Este tipo de fuerzas nunca cesan y por ello el movimiento browniano tampoco.
- *Fuerzas Viscosas*: son el resultado de la velocidad entre el fluido circundante y la partícula; el responsable de esta fuerza es la fase dispersante de la suspensión. Producto del movimiento relativo de las láminas del fluido [7].

En términos de estabilidad y caracterización, se requiere considerar diferentes procesos: sedimentación, agregación y coalescencia. El primero de ellos resulta de una diferencia de densidades entre ambas fases, la dispersa y la continua. La sedimentación produce dos capas separadas que van a contener una concentración mejorada de la fase dispersa, la cual va a promover la agregación. Por consiguiente, éste último proceso mencionado, se produce

cuando una moción Browniana causa dos o más especies dispersas que posiblemente entran en contacto en algún punto y no presentan cambios en la superficie de área total. Sin embargo, cabe mencionar que en la agregación, las dispersiones pierden su independencia cinética hasta que el agregado se mueve como unidad simple. Finalmente, se continúa con la coalescencia en donde se forma una pequeña película de drenaje, lo que lleva a la ruptura de la película de separación y dos o más partículas se fusionan para formar una unidad simple, reduciendo el área de superficie total y llevando a que las especies originales hagan parte de nuevas especies. Cabe aclarar que una dispersión coloidal puede ser cinéticamente estable respecto al proceso de coalescencia, pero inestable respecto al proceso de agregación; o un sistema puede ser cinéticamente estable respecto a éste último proceso, pero inestable respecto a la sedimentación. [6]

1.5.2 COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DE LAS SUSPENSIONES

En un principio es importante establecer que la reología es la ciencia que estudia la deformación y la fluidez de la materia [8]. Las propiedades reológicas de una dispersión tienen gran relevancia. Con base en la ley de Stokes, se puede establecer que la velocidad de deformación final es inversamente proporcional a la viscosidad de una dispersión coloidal, la cual tiene un impacto directo en la sedimentación, en el tratamiento de aguas residuales, fraccionamiento mineral y flotación.

Es frecuente y se prefiere expresar la viscosidad de una dispersión, teniendo en cuenta la fase continua (η_o) y la cantidad de material suspendido; gran cantidad de ecuaciones han sido desarrolladas para explicar este comportamiento en espumas, emulsiones y suspensiones. La gran mayoría de estas son extensiones de la *Ecuación de Einstein* para una dispersión de esferas que no interactúan entre ellas.

$$\eta = \eta_o (1 + 2,5\Phi)$$

Donde Φ , es la fracción de volumen de la fase dispersa y tiene la condición de ser menor a 1; usualmente esta ecuación se puede aplicar bien si Φ es menor a 0,02. En la práctica, valores de Φ entre 0,1 y 0,5; incrementan significativamente la viscosidad y causa el comportamiento No-Newtoniano de las suspensiones. Cuando se trabaja con suspensiones coloidales, se puede usar la ecuación anterior, pero su descripción suele ser un poco más complicada.

Existe una modificación de la *Ecuación de Einstein* para suspensiones diluidas con partículas anisotrópicas y se describe en la siguiente ecuación.

$$\eta = \eta_0 \left(1 + \frac{a\Phi}{1,47b} \right)$$

Donde a y b , son las dimensiones mayor y menor de la partícula suspendida, respectivamente.

En las ecuaciones anteriormente expuestas, se puede ver que la viscosidad de una suspensión depende del tamaño de las partículas, la forma de las mismas y la concentración de estas en la fase dispersante [9]. La viscosidad esta relacionada con la estabilidad de la suspensión; el objetivo es tener una viscosidad que permita la menor *velocidad Terminal* [10].

En la tabla que se expone en la siguiente página, puede observar distintos comportamientos reológicos de las suspensiones, así como su clasificación, descripción y unos ejemplos de aplicación en la vida cotidiana.

Tabla 2. Ejemplos de suspensiones, emulsiones o espumas que muestran diferentes características reológicas. Fuente: Schramm, 2005 [6]. Fuente: Los Autores.

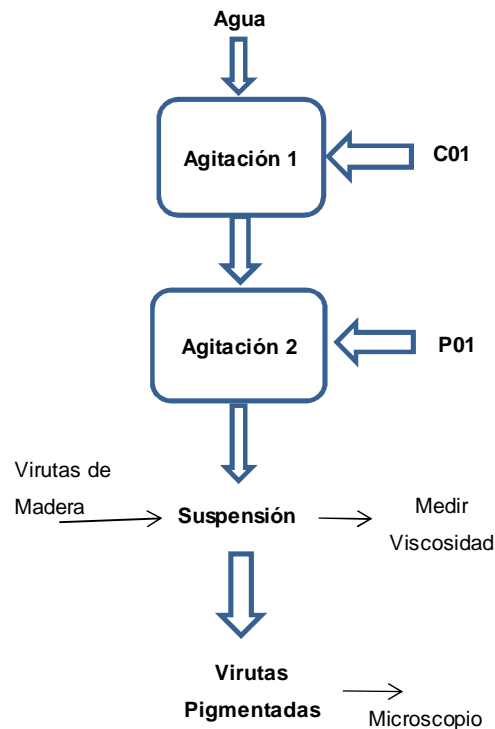
Clasificación reológica	Descripción	Ejemplos
Pseudoplástico	A medida que el esfuerzo de deformación aumenta, la viscosidad disminuye	Pintura y soluciones poliméricas. En pintura (suspensión de partículas de un pigmento en un líquido) partículas irregulares se alinean para alcanzar el fluido inducido, disminuyendo la viscosidad.
Dilatante	A medida que el esfuerzo de deformación aumenta, la viscosidad aumenta	Arena húmeda de playa, suspensiones de almidón y plastisoles PVC
Pseudoplástico con un límite elástico	Empieza solamente cuando el umbral del esfuerzo de deformación es excedido por el <i>límite elástico</i>	Pasta de dientes, lápiz labial, grasa, lodo. Se producen fuerzas de resistencias a los cambios de posición, por tanto, el flujo se produce cuando dichas fuerzas son superadas.
Tixotrópico	Flujo Pseudoplástico tiempo-dependiente. A una velocidad de deformación constante, la viscosidad disminuye	Pintura, arena movediza, arcilla de bentonita, geles.
Reopéctico	Fluido Dilatante tiempo-dependiente. A una velocidad de deformación constante, la viscosidad aumenta	Suspensiones de arcilla. En la curva de flujo, ocurre histéresis.
Reomalásico	Comportamiento tiempo-dependiente, en donde cambios en la velocidad de deformación producen cambios irreversibles en la viscosidad	Emulsiones que se invierten, cuando la fase dispersa se vuelve continua y viceversa; en ocasiones no es posible recuperar la emulsión.

DESARROLLO EXPERIMENTAL.

La experimentación se desarrolló en dos etapas. La primera fase *Etapas Preliminares* tenía como objetivo conocer el comportamiento de las distintas materias primas al ser mezcladas para elaborar la suspensión, y observar los resultados en la madera pigmentada. La segunda etapa tenía como objetivo establecer cuáles de las variables (Factores) tomadas en cuenta son las influyentes en la pigmentación (*Pig1*) y la pérdida (*Perdida*) del pigmento al sumergirlo en agua (Prueba de Pigmentación).

ETAPAS PRELIMINARES.

Figura 1. Diagrama de Proceso Preliminares. Fuente: Los Autores.



En el diagrama anterior se muestran dos etapas de agitación. En la primera etapa de agitación se utiliza agua a 80°C, seguidamente se vierte el espesante (C01). Esta fase se lleva a cabo con el fin de homogenizar la mezcla agua/espesante, manteniendo la agitación con un agitador de alta velocidad (Schott Gerate DI-148) a 11.000 rpm por un lapso de 2 minutos. Seguidamente se vierte el pigmento (P01) en pequeñas cantidades por un tiempo establecido

de 10 minutos; el agitador se mantiene a las mismas condiciones de operación. Terminada la suspensión se procedió a medir la viscosidad con un viscosímetro (Brookfield DV III⁺); todas las viscosidades se midieron a 23°C; seguidamente se pigmentaron las *virutas de madera* (Astillas de madera de forma irregular, con un tamaño aproximado de 5 X 0,5 cm) con el fin de conocer los resultados visuales y táctiles del producto terminado; esto con el propósito de apreciar su calidad.

Los rótulos y valores de las pruebas se ilustran en la siguiente Tabla:

Tabla 3. Esquema de cómo se rotularon las Pruebas en las Etapas Preliminares. Las cantidades P01 y C01, se muestran en esta tabla en gramos y en porcentaje en peso; el peso total de una suspensión es de 250 gramos. Fuente: Los Autores.

Suspensión	Pruebas 1			Pruebas 2			Pruebas 3			Pruebas 4			Pruebas 5		
	1a	1b	1c	2a	2b	2c	3a	3b	3c	4a	4b	4c	5a	5b	5c
P01 [g]	40	50	60	40	50	60	40	50	60	40	50	60	40	50	60
C01 [g]	1,5	1,5	1,5	1,75	1,75	1,75	2	2	2	2,25	2,25	2,25	2,5	2,5	2,5
P01%	16	20	24	16	20	24	16	20	24	16	20	24	16	20	24
C01%	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	1	1	1

Finalizando la primera etapa (Etapas Preliminares) se observaron en un estereoscopio (Olympus SZ-61) las *virutas de madera* pigmentadas por las suspensiones 1a y 5c. La prueba 1a, presentaba una superficie rojo tenue en la cual se apreciaba una película delgada de pigmento y la prueba 5c mostraba un recubrimiento más grueso, rojo intenso. Estas astillas fueron escogidas con el fin de encontrar diferencias en la superficie a nivel milimétrico que explicaran las diferencias de intensidad de color, textura y apariencia de la superficie, y desprendimiento del pigmento al contacto con otra superficie; la primera desprendía menos que la segunda.

Debido a las observaciones de las cinco pruebas anteriores, se decidió incluir en la formulación un tensoactivo, con el fin de disminuir la interacción entre las partículas en suspensión y disminuir la formación de aglomeraciones; para esto se plantearon las siguientes pruebas que se ilustran a continuación.

Tabla 4. Pruebas para determinar la cantidad del tensoactivo en la formulación final.
Fuente: Los autores.

Pruebas	P01 [g]	C01 [g]	TEN [g]
1f	40	1,5	20
2f	40	1,5	10
3f	40	1,5	5
4f	40	1,5	1

En estas pruebas, las variables se mantuvieron constantes, excepto, la cantidad de tensoactivo. La masa total de esta prueba fue determinada en 100 g; respecto al tiempo de preparación y orden de vertimiento de los ingredientes, fue manejado el mismo protocolo y los mismos tiempos, pero el último ingrediente agregado fue *TEN*. Para decidir estos valores se tomó como referencia la patente de *Krusemann et al* [13]

Contando con las pruebas anteriores; faltaba proponer una solución al aspecto de desprendimiento de pigmento al contacto con otra superficie, por ejemplo, la prendas de vestir, la piel, etc. Para dar solución a dicha problemática, se propuso el uso de un adherente en la formulación, este con el fin de fijar el pigmento a la superficie de la madera y evitar así el desprendimiento del mismo al contacto con otras superficies. Para este fin se llevaron a cabo las siguientes pruebas:

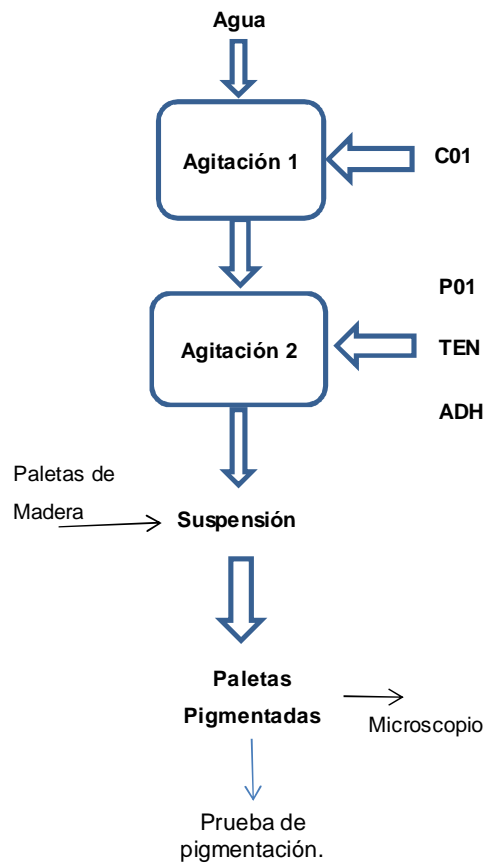
Tabla 5. Pruebas para determinar la cantidad de adherente necesaria en la formulación y observar el comportamiento al ser mezclado con los otros componentes. Fuente: Los Autores.

Pruebas	P01 [g]	C01 [g]	TEN [g]	ADH [g]
1g	12	0,9	0,6	12
2g	12	0,9	0,6	6
3g	12	0,9	0,6	3
4g	12	0,9	0,6	0,6

En las pruebas que se acaban de mostrar, se puede ver que el único factor que cambio entre ellas fue la cantidad de adherente *ADH*, esto con el fin de determinar entre esos valores cuál fija mejor el pigmento; las pruebas consistían en una masa total de 150 g, respecto al protocolo de preparación de las suspensiones, es el mismo, mencionando que al final se vierte el adherente.

FACTORES INFLUYENTES EN LA PIGMENTACIÓN Y PÉRDIDA DEL PIGMENTO

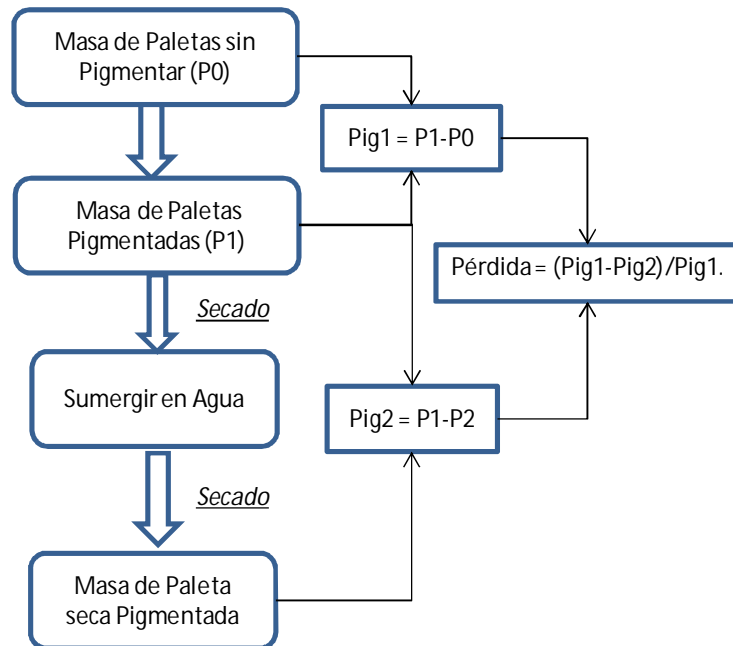
Figura 2. Proceso Búsqueda de Factores. Fuente: Los Autores.



En el procedimiento anteriormente ilustrado, la calibración de equipos y tiempos manejados es la misma de la etapa anterior *Etapas Preliminares*, el pigmento (P01), el tensoactivo (TEN) y el adherente (ADH), son vertidos en la segunda etapa de agitación en el mismo orden en que se enunciaron.

Para probar la influencia en el resultado debido a las variables escogidas (factores), se propuso una prueba que denominamos *Prueba de Pigmentación*. Esta se diseñó para medir la calidad del pigmento adherido en la madera; para evaluar esto se seleccionaron paletas de madera de tamaño uniforme y se definió un área de pigmentación igual para todas de $16,8 \text{ cm}^2$. La prueba de pigmentación se puede ver en la siguiente figura.

Figura 3. Prueba de Pigmentación. Fuente: Los Autores.



En la figura anterior se pueden ver las distintas etapas en que se desarrolla la prueba de pigmentación. En la parte izquierda de la figura, podemos apreciar la metodología experimental y en la parte derecha de la figura se aprecian los cálculos hechos para tener los datos de entrada usados en el análisis de la varianza. Se hace claridad que los tiempos de secado en cada etapa fueron de 24 horas y de 48 horas respectivamente. Esta prueba se establece con el propósito de evaluar la calidad del producto terminado, suponiendo un caso extremo, por ejemplo en caso de lluvia y el producto se encontrase a la intemperie.

El orden de los datos para llevar a cabo la Prueba de pigmentación, es el ilustrado en la siguiente tabla; en esta podrá observar que son 16 tratamientos y que cada tratamiento tiene 3 réplicas (Se repite tres veces).

Tabla 6. Manera como se registraron los datos de las réplicas de cada tratamiento en la Prueba de Pigmentación. Fuente: Los Autores.

Pruebas							
Rotulo Paletas Pigmentadas	P0 [g]	P1 [g]	Pig1 [g]	P2 [g]	Pig2 [g]	Pérdida [g]	Pig. Perdido [g]
1.1	1,109	1,149	0,040	1,119	0,010	0,750	0,030
2.1	1,089	1,121	0,032	1,100	0,011	0,656	0,021
3.1	0,972	1,004	0,032	0,982	0,010	0,688	0,022
4.1	1,165	1,206	0,041	1,187	0,022	0,463	0,019
5.1	1,116	1,153	0,037	1,132	0,016	0,568	0,021
6.1	0,674	0,707	0,033	0,675	0,001	0,970	0,032
7.1	0,820	0,863	0,043	0,835	0,015	0,651	0,028
8.1	0,668	0,698	0,030	0,672	0,004	0,867	0,026
9.1	0,950	0,986	0,036	0,972	0,022	0,389	0,014
10.1	0,794	0,829	0,035	0,804	0,010	0,714	0,025
11.1	0,758	0,807	0,049	0,781	0,023	0,531	0,026
12.1	1,181	1,226	0,045	1,198	0,017	0,622	0,028
13.1	0,736	0,776	0,040	0,750	0,014	0,650	0,026
14.1	0,990	1,038	0,048	1,010	0,020	0,583	0,028
15.1	0,789	0,835	0,046	0,811	0,022	0,522	0,024
16.1	0,899	0,934	0,035	0,907	0,008	0,771	0,027
1.2	1,225	1,286	0,061	1,246	0,021	0,656	0,040
2.2	1,128	1,166	0,038	1,141	0,013	0,658	0,025
3.2	1,159	1,193	0,034	1,176	0,017	0,500	0,017
4.2	0,667	0,700	0,033	0,677	0,010	0,697	0,023
5.2	1,015	1,046	0,031	1,023	0,008	0,742	0,023
6.2	0,973	1,017	0,044	0,989	0,016	0,636	0,028
7.2	0,773	0,807	0,034	0,788	0,015	0,559	0,019
8.2	1,092	1,132	0,040	1,105	0,013	0,675	0,027
9.2	1,050	1,090	0,040	1,077	0,027	0,325	0,013
10.2	0,867	0,909	0,042	0,883	0,016	0,619	0,026
11.2	1,216	1,262	0,046	1,244	0,028	0,391	0,018
12.2	0,916	0,961	0,045	0,937	0,021	0,533	0,024
13.2	1,045	1,090	0,045	1,071	0,026	0,422	0,019
14.2	1,059	1,111	0,052	1,083	0,024	0,538	0,028
15.2	0,908	0,951	0,043	0,929	0,021	0,512	0,022
16.2	1,336	1,387	0,051	1,362	0,026	0,490	0,025
1.3	0,948	0,988	0,04	0,963	0,015	0,625	0,025
2.3	1,124	1,165	0,041	1,14	0,016	0,610	0,025
3.3	1,176	1,216	0,04	1,191	0,015	0,625	0,025
4.3	1,041	1,075	0,034	1,055	0,014	0,588	0,020
5.3	0,886	0,928	0,042	0,902	0,016	0,619	0,026
6.3	0,939	0,983	0,044	0,959	0,02	0,545	0,024
7.3	1,178	1,219	0,041	1,196	0,018	0,561	0,023
8.3	0,883	0,931	0,048	0,901	0,018	0,625	0,030
9.3	0,939	0,989	0,05	0,971	0,032	0,360	0,018
10.3	1,102	1,142	0,04	1,116	0,014	0,650	0,026
11.3	1,003	1,046	0,043	1,021	0,018	0,581	0,025
12.3	0,746	0,79	0,044	0,758	0,012	0,727	0,032
13.3	0,736	0,773	0,037	0,752	0,016	0,568	0,021
14.3	1,283	1,341	0,058	1,314	0,031	0,466	0,027
15.3	1,257	1,306	0,049	1,294	0,037	0,245	0,012
16.3	1,004	1,05	0,046	1,022	0,018	0,609	0,028

La metodología que se utilizó para completar esta tabla, se explica en la *Figura 4*. Allí encontrara todas las operaciones que se llevaron a cabo para rellenar cada casilla de la tabla anterior.

Con el propósito de establecer si las variables (Factores) escogidas influyen en los resultados que se quieren analizar (*Pig1* y *Pérdida*), se planteó un diseño de experimentos factorial “2⁴” [11], las variables escogidas fueron: P01 (Pigmento), C01 (Espesante), TEN (Tensoactivo), y ADH (Adherente); la siguiente tabla muestra los valores escogidos para los factores.

Tabla 7. Variables escogidas como factores de diseño para en análisis de experimentos. Fuente: Los Autores.

		Factores de Diseño			
		PO1 [g]	C01 [g]	TEN [g]	ADH [g]
NIVEL	Bajo (-)	8	0,6	0,6	3
	Alto(+)	12	0,8	0,8	6
Nombre Factor		A	B	C	D

En esta sección es conveniente nombrar a los factores por estas letras *A*, *B*, *C*, *D*, para facilitar la comprensión y abreviar la nomenclatura.

Para facilidad del manejo de los datos en el diseño de experimentos, se hace necesario ordenar la *Tabla 6*; tanto para la variable *Pig1*, como para *Pérdida*. En estas dos tablas que en breve se mostraran, se aprecian de una forma ordenada los datos, también se encontrara que cada tratamiento tiene tres réplicas, además encontrara una columna que se llama combinación, esta columna explica la combinación de factores de una forma abreviada, por ejemplo; *a*, significa que solo *a* esta en el nivel alto y las demás en bajo; *b*, que solo esta está en nivel alto y el resto no; y el caso de *(1)*, significa que todos los factores están en el nivel bajo. Además cabe la aclaración de que las réplicas del *tratamiento 1* son: *1.1*, *1.2* y *1.3*; para el *tratamiento 2* son: *2.1*, *2.2*, *2.3*; y así sucesivamente con todos los demás *tratamientos*; esto para entender la relación de las *Tablas 6*, *8* y *9*.

Tabla 8. Datos ordenados para analizar la influencia de los factores sobre Pig1.
Fuente: Los Autores.

<i>Pig1</i>						<i>Réplicas</i>		
Tratamientos	Combinación	A	B	C	D	1	2	3
1	.(1).	-	-	-	-	0,040	0,061	0,040
2	d	-	-	-	+	0,032	0,038	0,041
3	c	-	-	+	-	0,032	0,034	0,040
4	cd	-	-	+	+	0,041	0,033	0,034
5	b	-	+	-	-	0,037	0,031	0,042
6	bd	-	+	-	+	0,033	0,044	0,044
7	bc	-	+	+	-	0,043	0,034	0,041
8	bcd	-	+	+	+	0,030	0,040	0,048
9	a	+	-	-	-	0,036	0,040	0,050
10	ad	+	-	-	+	0,035	0,042	0,040
11	ac	+	-	+	-	0,049	0,046	0,043
12	acd	+	-	+	+	0,045	0,045	0,044
13	ab	+	+	-	-	0,040	0,045	0,037
14	abd	+	+	-	+	0,048	0,052	0,058
15	abc	+	+	+	-	0,046	0,043	0,049
16	abcd	+	+	+	+	0,035	0,051	0,046

Tabla 9. Datos ordenados para analizar la influencia de los factores en la variable Pérdida. Fuente: Los Autores.

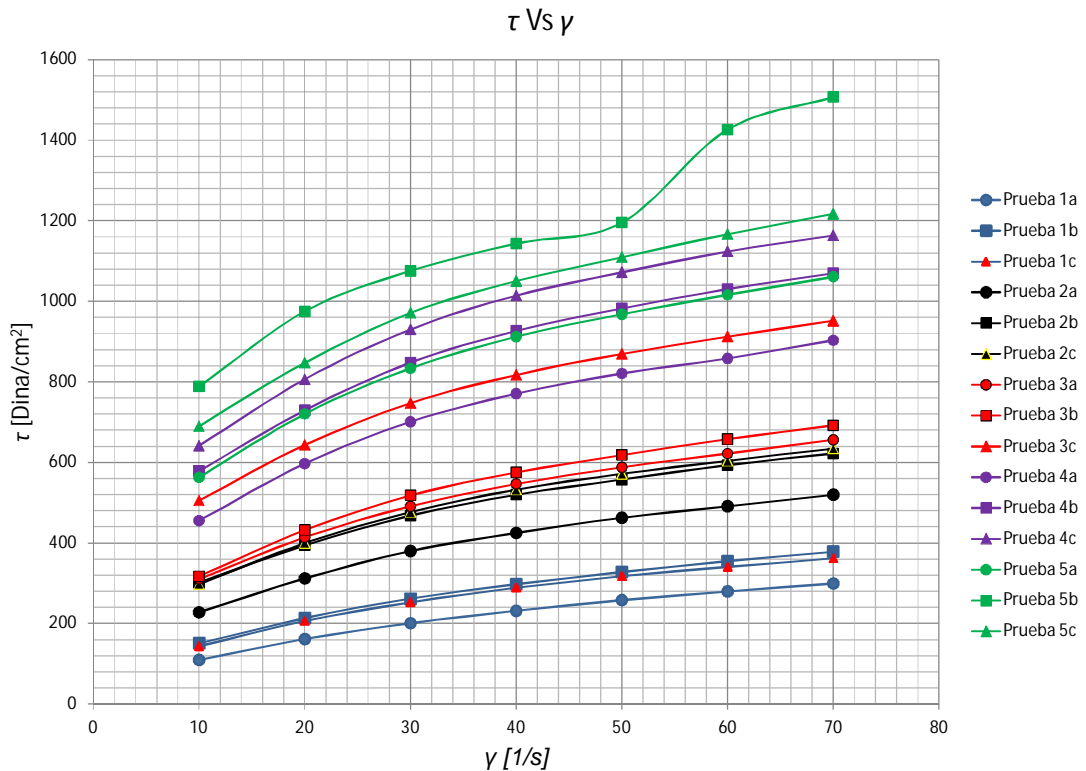
<i>Pérdida</i>						<i>Réplicas</i>		
Tratamientos	Combinación	A	B	C	D	1	2	3
1	.(1).	-	-	-	-	0,750	0,656	0,625
2	d	-	-	-	+	0,656	0,658	0,610
3	c	-	-	+	-	0,688	0,500	0,625
4	cd	-	-	+	+	0,463	0,697	0,588
5	b	-	+	-	-	0,568	0,742	0,619
6	bd	-	+	-	+	0,970	0,636	0,545
7	bc	-	+	+	-	0,651	0,559	0,561
8	bcd	-	+	+	+	0,867	0,675	0,625
9	a	+	-	-	-	0,389	0,325	0,360
10	ad	+	-	-	+	0,714	0,619	0,650
11	ac	+	-	+	-	0,531	0,391	0,581
12	acd	+	-	+	+	0,622	0,533	0,727
13	ab	+	+	-	-	0,650	0,422	0,568
14	abd	+	+	-	+	0,583	0,538	0,466
15	abc	+	+	+	-	0,522	0,512	0,245
16	abcd	+	+	+	+	0,771	0,490	0,609

Seguido a esta preparación de datos, se desarrolla el análisis de varianza ANOVA [11].

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En la primera fase experimental *Etapas Preliminares*, en su primera parte (Pruebas 1, Pruebas 2, Pruebas 3...) al medir las suspensiones obtenidas en el viscosímetro se obtuvieron las siguientes gráfica:

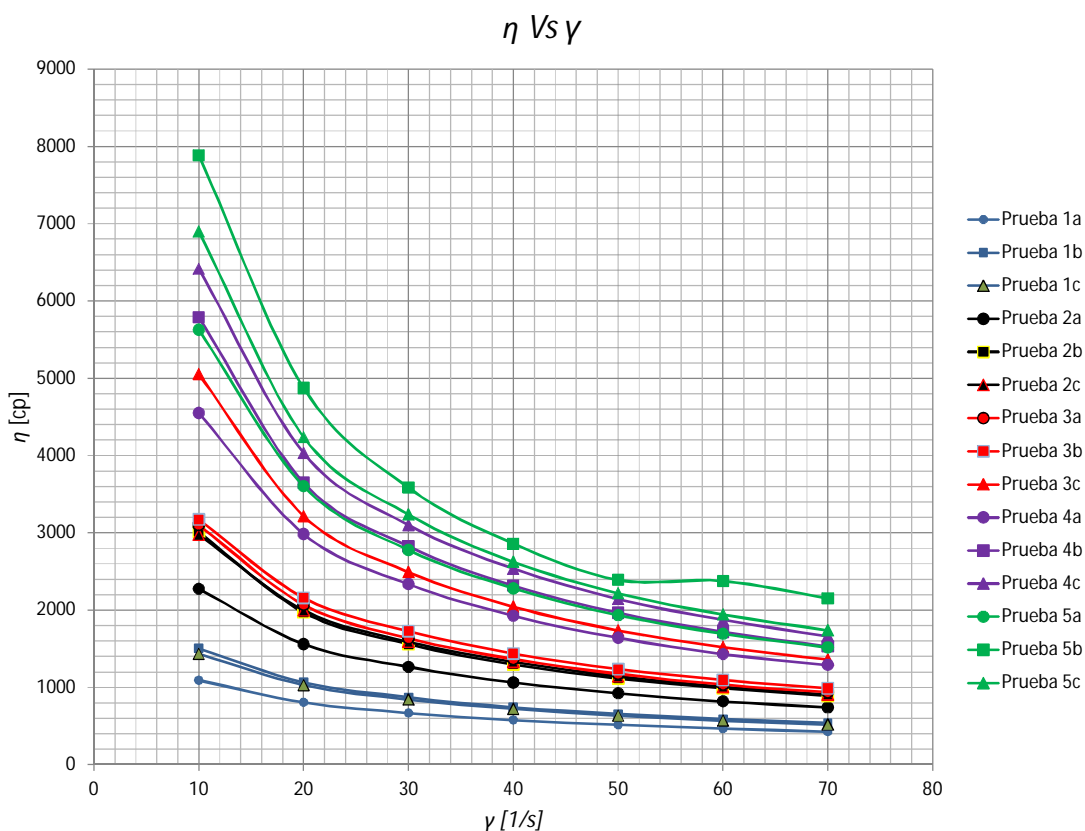
Figura 4. Esfuerzo contra Velocidad de Deformación, se pueden ver todas las Pruebas de la primera parte de la fase 1. Medidas a 23°C. Fuente: Los Autores.



En la gráfica anterior podemos observar que todas las suspensiones tienen un comportamiento *Pseudoplástico*; la *Prueba 5b* presenta un error de medición, este se nota debido a que no siguió la tendencia de las pruebas anteriores, este error pudo ocasionarse por las características del fluido; presenta una alta viscosidad; y debido a esto la aguja del viscosímetro no se adhiere, y por ello no toma bien la medida.

Pero es necesario ver la viscosidad de todas estas pruebas en una gráfica, pues esta es la medida importante que se quiere relacionar con la pigmentación de las virutas.

Figura 5. Viscosidad Contra Velocidad de Deformación, Todas las pruebas de la primera parte de la fase 1. Medidas a 23°C. Fuente: Los Autores.



En la gráfica anterior se puede asegurar que estamos trabajando con fluidos *Pseudoplásticos*; se puede observar como la viscosidad está influenciada por la cantidad de espesante; observe el aumento al pasar de las *pruebas 1* hacia las *pruebas 5*, también podemos decir que la viscosidad se afecta por la cantidad de sólidos en suspensión, lo podemos ver; por ejemplo; entre las *pruebas 4 (4a, 4b y 4c)*, donde se aprecia un poco más de variación que en las demás. También se puede observar que las gráficas están divididas en dos sectores y la curvatura disminuye de arriba hacia abajo; esto muestra que a mayor concentración de espesante (C01) y de contenido de sólidos (P01), se aleja aún más del comportamiento newtoniano; si se observa con cuidado, podemos observar que las curvas de las pruebas 4, 5 y 3c, forman un grupo en las cuales la curvatura es mayor; muestran un cambio brusco, comparado con las demás pruebas.

Tabla 10. Medidas de viscosidad de la primera parte de las pruebas preliminares a 50 s^{-1} . Fuente: Los Autores.

Pruebas	η [cp]; 50 [1/s]
1a	516
1b	656
1c	634
2a	925
2b	1115
2c	1143
3a	1176
3b	1236
3c	1738
4a	1641
4b	1964
4c	2143
5a	1935
5b	2391
5c	2218

De las pruebas anteriormente mencionadas, las suspensiones más viscosas cuando pigmentaban, dejaban una película gruesa en la superficie de la madera y las menos viscosas, una más delgada; lo podemos apreciar en las siguientes fotografías:

Figura 6. Fotografía de la superficie de una viruta pigmentada con la suspensión 1a. Fuente: Los Autores.



Figura 7. Fotografía de la superficie de una viruta pigmentada con la suspensión 5c.
Fuente: Los Autores.

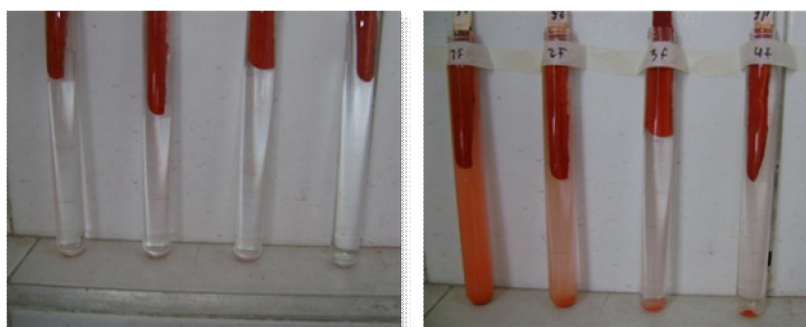


Al observar las fotografías, se puede decir que la suspensión menos viscosa y con menos contenido de sólidos *Prueba 1a*, pigmenta la madera con una película delgada y con grumos pequeños, en cambio, la *Prueba 5c* muestra todo lo contrario. De lo observado anteriormente se puede decir que las concentraciones de pigmentos son muy altas (En ambos casos). Debido a esto, existen grandes fuerzas de atracción entre las partículas en suspensión y esto genera los grumos que se ven en las fotografías; por otra parte, el grosor de la película de pigmento se debe a la viscosidad; al aumentarse esta propiedad, se hace más difícil el movimiento de las capas de fluido, y debido a esto se forma esta gruesa película con pigmento. Además se evidencia que el causante del desprendimiento de pigmento, debido al roce con otras superficies, es la presencia de grumos, y por ende no se adhiere como se espera que lo haga en la superficie de la madera.

Para dar solución a los dos problemas encontrados en la etapa anterior (grumos y película gruesa; y no adherencia), se toma la decisión de utilizar un tensoactivo *TEN*, que será el encargado de disminuir la interacción entre partículas al formar micelas; aumentar la humectabilidad; y la penetración de los pigmentos de la suspensión a la estructura de la madera. Además se hace

claridad en disminuir las cantidades de pigmento, pues debido a las altas concentraciones se está presentando este fenómeno. Las siguientes fotografías demuestran como el surfactante mejora la pigmentación y nos dio en su momento una idea de que concentraciones se deberían usar.

**Figura 8. Comienzo de la prueba para estimar la mejor cantidad de *TEN* en la formulación (Izquierda) y Fin de la prueba para conocer la mejor cantidad de *TEN* en la formulación (Derecha), tomada después de 24 horas del inicio de la Prueba.
Fuente: Los Autores.**



En las dos imágenes anteriores, podemos apreciar el inicio y el fin de la prueba para conocer si se pigmenta mejor o no; todas las concentraciones de *P01* y *C01*, se mantuvieron constantes a lo largo de la prueba, mientras que las de *TEN*, disminuyen de izquierda a derecha; nótese que los mejores resultados se dieron en las pruebas *3f* y *4f* (ver tabla 4), las cuales tienen una menor concentración de tensoactivo. Se aclara que el lapso en la toma de las dos fotografías fue de 24 horas.

Las dos fotografías anteriores mostraban que la pigmentación mejoró, pero al tener contacto con las paletas pigmentadas, era inevitable untarse las manos; con el propósito de dar solución ha dicho problema, se decide incluir un adherente *ADH* en la formulación, el cual evito el desprendimiento del pigmento, y así manchar otras superficies. Entre estas cuatro pruebas, las de mejor desempeño fueron la *1g* y la *2g* (ver Tabla 5).

En base a los resultados de *Etapas Preliminares*, se planteó hacer un *diseño de experimentos 2⁴* [11], con el fin de establecer las variables influyentes o una

relación de estas en la *pigmentación de las paletas de madera (Pig1)* y en la pérdida de éste debido a la *prueba de pigmentación (Pérdida)*.

Seguidamente se expone el resultado del *Análisis de la Varianza (ANOVA)*, para las dos variables de interés.

Tabla 11. ANOVA para Pig1. Fuente: Los Autores.

Variación	Sum Cuadrados	G. L	Cuad Medio	Fo	Valor P
A	6,30E-07	1	6,302E-07	0,0093	0,9237
B	4,69E-08	1	4,688E-08	0,0007	0,9792
C	7,09E-09	1	7,089E-09	0,0001	0,9919
D	1,00E-34	1	1,003E-34	0,0000	1,0000
AB	4,18E-08	1	4,181E-08	0,0006	0,9803
AC	9,78E-08	1	9,780E-08	0,0014	0,9699
AD	4,18E-08	1	4,181E-08	0,0006	0,9803
BC	5,79E-10	1	5,787E-10	0,0000	0,9977
BD	2,43E-07	1	2,432E-07	0,0036	0,9525
CD	9,26E-09	1	9,259E-09	0,0001	0,9907
ABC	2,43E-07	1	2,432E-07	0,0036	0,9525
ABD	5,79E-10	1	5,787E-10	0,0000	0,9977
ACD	1,22E-07	1	1,217E-07	0,0018	0,9664
BCD	2,93E-07	1	2,930E-07	0,0043	0,9479
ABCD	5,79E-10	1	5,787E-10	0,0000	0,9977
<i>Error</i>	2,16E-03	32	6,761E-05		
<i>Total</i>	2,17E-03	47			

En la anterior tabla el lector encontrara términos como: *Variación*, se refiere a la fuente de variación, es el efecto causado al variar dicho factor o combinación de los mismos; *Sum cuadrados*, en esta columna se encuentran las suma cuadrado de los errores, la suma cuadrado total y la suma cuadrado de los tratamientos; *G.L*, son los grados de libertad; *Cuad Medio*, es la razón entre *Sum Cuadrados* y *G.L*; *Fo*, es el estadístico de prueba, es el resultado de la razón entre *Cuad Medio* de cada una de las variaciones sobre *Sum Cuadrado* del error; y *valor p*, es el valor del área bajo la curva de la cola derecha de la *distribución F*.

Respecto a la pigmentación de las paletas, se puede decir que no existe una evidencia fuerte que diga cuál de las pruebas preparadas pigmenta mejor las muestras, es decir, todas presentan un mismo resultado referente a la pigmentación de las paletas de madera; esto se deduce del *ANOVA*, pues el

valor p es bastante mayor a 0,05, lo que indica con gran certeza que no existe una variable que influya directamente en el resultado *Pig1*.

Los resultados del ANOVA para *Pérdida* fueron:

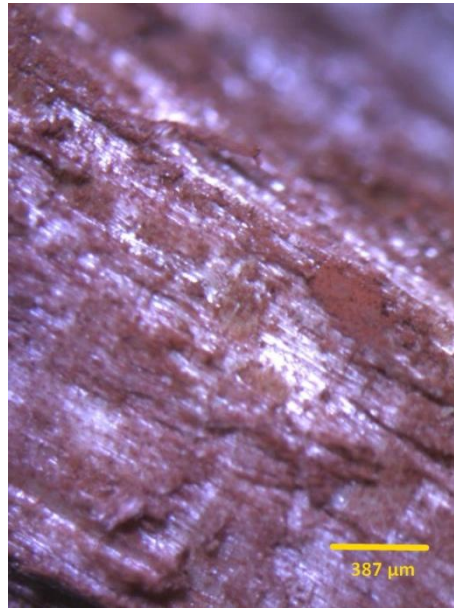
Tabla 12. ANOVA para *Pérdida*. Fuente: Los Autores.

Varación	Sum Cuadrados	G. L	Cuad Medio	Fo	Valor P
A	2,66E-04	1	2,66E-04	3,9417	0,0557
B	6,82E-06	1	6,82E-06	0,1009	0,7528
C	2,95E-06	1	2,95E-06	0,0436	0,8359
D	1,87E-04	1	1,87E-04	2,7725	0,1057
AB	1,17E-05	1	1,17E-05	0,1736	0,6797
AC	2,24E-05	1	2,24E-05	0,3308	0,5692
AD	6,89E-05	1	6,89E-05	1,0197	0,3202
BC	8,84E-07	1	8,84E-07	0,0131	0,9097
BD	5,79E-08	1	5,79E-08	0,0009	0,9768
CD	3,95E-06	1	3,95E-06	0,0584	0,8106
ABC	1,57E-05	1	1,57E-05	0,2320	0,6333
ABD	8,56E-05	1	8,56E-05	1,2667	0,2688
ACD	3,70E-07	1	3,70E-07	0,0055	0,9415
BCD	6,15E-05	1	6,15E-05	0,9100	0,3473
ABCD	3,95E-05	1	3,95E-05	0,5838	0,4504
<i>Error</i>	8,23E-01	32	2,57E-02		
<i>Total</i>	8,23E-01	47			

Con gran confianza en el resultado anterior, se puede decir que existe evidencia fuerte que niega la relación entre los factores o combinación de los mismos y *Pérdida*; esto es afirmado al observar que ningún dato de la columna *valor p* es menor a 0,05, Pero, si el nivel de error se decide aumentar un poco y no ser tan riguroso, por ejemplo, hasta 0,07; al parecer la cantidad de pigmento influye en la variable de respuesta *Pérdida*; según el estadístico de prueba F [12], el cual supone una población normal.

Para comprobar que se ha avanzado en la calidad de este producto se decide hacer de nuevo una observación microscópica a la superficie, para verificar que mejoró la formulación de la suspensión; comparando los últimos resultados con los de las *Etapas preliminares*, se puede apreciar una disminución del tamaño de los grumos en la superficie que recubre el pigmento y, un mejoramiento respecto al desprendimiento por el rose con otras superficies.

Figura 9. Paleta Pigmentada con Suspensiones Preparadas en la Segunda Etapa.



También nos da una mejor idea del mejoramiento del producto, si comparamos dos fotografías macroscópicas.

Figura 10. Virutas de Pruebas preliminares (Izquierda) y Paletas de la segunda fase experimental (Derecha).



En la Imagen anterior se puede apreciar la diferencia del producto terminado en las dos etapas de la fase experimental. En la segunda fase las paletas presentan una mejor pigmentación, en la fotografía se ven más uniformes.

CONCLUSIONES

Según los resultados obtenidos de las Etapas Preliminares, se pueden ver que todas las suspensiones presentan un comportamiento Pseudoplástico y que la viscosidad depende tanto de la cantidad de espesante como de la cantidad de sólidos suspendidos. Además las concentraciones de pigmentos son muy altas, debido a esto, existen grandes fuerzas de atracción entre las partículas en suspensión y esto genera los grumos en la superficie de las virutas; asimismo a mayor viscosidad, se generaron películas de pigmento más gruesas. Según las observaciones, esto indicaba que se debía disminuir la concentración de P01.

La pigmentación de las paletas *Pig1*, según el análisis del experimento, se puede decir que no existe una evidencia fuerte que diga cuál de las pruebas preparadas pigmenta mejor las muestras, es decir, todas presentan un mismo resultado referente a la pigmentación de las paletas de madera; esto se deduce del ANOVA, pues el *valor p* es bastante mayor a 0,05, lo que indica con gran certeza que no existe una variable que influya directamente en el resultado.

Con gran confianza en el resultado obtenido en la *Tabla 12*, se puede decir, que existe evidencia fuerte que niega la relación entre los factores o combinación de los mismos y la variable *Pérdida*; esto es afirmado al observar que ningún dato de la columna *valor p* es menor a 0,05, Pero, si el nivel de error se decide aumentar un poco y no ser tan riguroso, por ejemplo, hasta 0,07; al parecer la cantidad de pigmento influye en la variable de respuesta analizada, según el *estadístico de prueba F*, el cual supone una población normal.

El empleo del tensoactivo y del adherente en la formulación, significó un mejoramiento en la calidad del producto final; el primero disminuyó en modo considerable el tamaño de los grumos y el segundo evitó el desprendimiento del mismo de la superficie; según el comparativo de las *Figuras 7, 8, 10 y 11*.

RECOMENDACIONES

Se recomienda hacer otros experimentos con el factor P01 y varios niveles del mismo, menores a los ya realizados en este estudio, pues se intuye que se pueden obtener mejores resultados.

Realizar experimentos con distintos tipos de tensoactivos. También es recomendable variar el factor tiempo, pues el adherente es una resina y puede obtenerse resultados favorables debido al tiempo de secado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CALVO, Jordi. Pinturas y Recubrimientos, introducción a su tecnología. Ediciones Díaz de Santos. Madrid España; 2009 3-97 p.
- [2] United States. Department of the Interior. Paint Manual: A Water Resources Technical Publication. Washington: U.S Department of the Interior; 1976 3-8 p.
- [3] TURNER, G.P.A., Paint Chemistry and Principles of Paint Technology. 3 ed. Ed Chapman & Hall. London England, 1988 96-97 p
- [4] CASTILLO, Cecilia, RODRIGUEZ, Rosa. Fabricación de Pigmentos a Base de Hierro. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, facultad de ingenierías Fisicoquímicas, 1980 1-14 p.
- [5] NSW Department of Primary Industries. Iron Oxide Pigments. Industrial Mineral Opportunities in New South Wales, Geology Bulletin 33. 2007. Se encuentra en URL: [http:// www.dpi.nsw.gov.au/minerals/geological/industrial-mineral-opportunities](http://www.dpi.nsw.gov.au/minerals/geological/industrial-mineral-opportunities).
- [6] SCHRAMM, L. Laurier. Emulsions, Foams and Suspensions: Colloid Rheology.1 ed. Saskatoon, Canadá; WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. 2005 p 170- 180
- [7] R Byron Bird, Warren E. Stewart, Edwin N. Lightfoot. Fenómenos de Transporte: Transporte de Cantidad de Movimiento. 1 ed. Barcelona, España; Repla S.A. 1992. p 3 – 6
- [8] TUPAZ, Jhovany. Comportamiento Reológico y Caracterización de una Suspensión en circuito cerrado de molienda húmeda para la producción de cemento. Medellín: Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, facultad de minas; 2009, p 9-16

[9] SCHRAMM, L. Laurier. Emulsions, Foams and Suspensions: Colloid Rheology.1 ed. Saskatoon, Canadá; WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. 2005 p 183- 185.

[10] MORTON M, Denn. Process Fluid Mechanics. Hockessin, Delaware; Prentice-Hall. 1980. p 66-73

[11] DOUGLAS C, Montgomery. Diseño y Análisis de Experimentos: Diseño factorial 2^k . 2 ed. México; Limusa S.A. 2004. P 242- 246.

[12] Tablas de Distribución F. Disponible en <http://www.elosiodelosantos.com/sergiman/div/tablaf.html>. Acceso el 18 de junio del 2011.

[13] J. Krusemann et al, "USE OF PREPARATION COMPRISING PIGMENTS AND DYESTUFFS FOR THE DECORATIVE COLOURING OF DERIVED TIMBER PRODUCTS," US20060048675A1, 9 de Marzo del 2006. <http://www.epo.org>.

BIBLIOGRAFÍA

CALVO, Jordi. Pinturas y Recubrimientos, introducción a su tecnología. Ediciones Díaz de Santos. Madrid España; 2009.

CASTILLO, Cecilia, RODRÍGUEZ, Rosa. Fabricación de Pigmentos a Base de Hierro. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, facultad de ingenierías Fisicoquímicas, 1980.

DOUGLAS C, Montgomery. Diseño y Análisis de Experimentos: Diseño factorial 2^k 2 ed. México; Limusa S.A. 2004.

J. Krusemann et al, "USE OF PREPARATION COMPRISING PIGMENTS AND DYESTUFFS FOR THE DECORATIVE COLOURING OF DERIVED TIMBER PRODUCTS," US20060048675A1, 9 de Marzo del 2006. <http://www.epo.org>.

DOUGLAS C, Montgomery. Diseño y Análisis de Experimentos: Diseño factorial 2^k 2 ed. México; Limusa S.A. 2004.

NSW Department of Primary Industries. Iron Oxide Pigments. Industrial Mineral Opportunities in New South Wales, Geology Bulletin 33. 2007. Se encuentra en URL: [http:// www.dpi.nsw.gov.au/minerals/geological/industrial-mineral-opportunities](http://www.dpi.nsw.gov.au/minerals/geological/industrial-mineral-opportunities).

R Byron Bird, Warren E. Stewart, Edwin N. Lightfoot. Fenómenos de Transporte: Transporte de Cantidad de Movimiento. 1 ed. Barcelona, España; Repla S.A. 1992.

SCHRAMM, L. Laurier. Emulsions, Foams and Suspensions: Colloid Rheology. 1 ed. Saskatoon, Canadá; WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. 2005.

Tablas de Distribución F. Disponible en <http://www.elosiodelosantos.com/sergiman/div/tablaf.html>. Acceso el 18 de junio del 2011.

TUPAZ, Jhovany. Comportamiento Reológico y Caracterización de una Suspensión en circuito cerrado de molienda húmeda para la producción de cemento. Medellín: Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, facultad de minas; 2009.

TURNER, G.P.A., Paint Chemistry and Principles of Paint Technology. 3 ed. Ed Chapman & Hall. London England, 1988.

United States. Department of the Interior. Paint Manual: A Water Resources Technical Publication. Washington: U.S Department of the Interior; 1976.