



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Química

**DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE OPERACIÓN NECESARIO PARA ALCANZAR EL  
MÁXIMO PODER TINTÓREO Y LA FINEZA EN COLORANTES A BASE DE PIGMENTOS  
ORGÁNICOS Y NEGRO DE HUMO EN UN MOLINO DE PERLAS HORIZONTAL**

**Alejandra Violeta Lemus Orozco**

Asesorado por la Inga. María de los Ángeles Rivas López

Guatemala, octubre de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE OPERACIÓN NECESARIO PARA ALCANZAR EL  
MÁXIMO PODER TINTÓREO Y LA FINEZA EN COLORANTES A BASE DE PIGMENTOS  
ORGÁNICOS Y NEGRO DE HUMO EN UN MOLINO DE PERLAS HORIZONTAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**ALEJANDRA VIOLETA LEMUS OROZCO**

ASESORADO POR LA INGA. MARÍA DE LOS ÁNGELES RIVAS LÓPEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA QUÍMICA**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. César Alfonzo García Guerra
EXAMINADORA	Inga. Dinna Lissette Estrada Moreira
EXAMINADORA	Dra. Casta Petrona Zeceña Zeceña
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE OPERACIÓN NECESARIO PARA ALCANZAR EL MÁXIMO PODER TINTÓREO Y LA FINEZA EN COLORANTES A BASE DE PIGMENTOS ORGÁNICOS Y NEGRO DE HUMO EN UN MOLINO DE PERLAS HORIZONTAL**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 18 de noviembre de 2011.

  
Alejandra Violeta Lemus Orozco

Guatemala, 9 de julio de 2012

Ingeniero  
V́ctor Manuel Monz3n  
Director Escuela de Ingenieŕa Qúmica  
Facultad de Ingenieŕa  
Su despacho

De manera atenta me dirijo a usted para manifestarle que la estudiante **ALEJANDRA VIOLETA LEMUS OROZCO** que se identifica con carné No. **200615063** tiene la aprobaci3n del informe final del trabajo de graduaci3n con el tema titulado: **"DETERMINACI3N DEL TIEMPO DE OPERACI3N NECESARIO PARA ALCANZAR EL M3XIMO PODER TINTOREO Y LA FINEZA EN COLORANTES A BASE DE PIGMENTOS ORG3NICOS Y NEGRO DE HUMO EN UN MOLINO DE PERLAS HORIZONTAL"**

Agradeciendo la atenci3n a la presente, le saluda respetuosamente,



*María de los Angeles Rivas López*  
Ingeniera Qúmica  
Colegiada No. 1536

---

Inga. María de los Angeles Rivas López  
Colegiado No. 1,536



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

Guatemala, 07 de agosto de 2012  
Ref. EI.Q.TG-IF.040.2012

**Ingeniero  
Víctor Manuel Monzón Valdez  
DIRECTOR  
Escuela Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería**

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el Acta TG-259-2011-IF le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

**INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN**

Solicitado por la estudiante universitaria: **Alejandra Violeta Lemus Orozco**

Identificada con número de carné: **2006-15063**

Previo a optar al título de **INGENIERA QUÍMICA**.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

**DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE OPERACIÓN NECESARIO PARA ALCANZAR EL MÁXIMO PODER TINTÓREO Y LA FINEZA EN COLORANTES A BASE DE PIGMENTOS ORGÁNICOS Y NEGRO DE HUMO EN UN MOLINO DE PERLAS HORIZONTAL**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por la Ingeniera Química: **María de los Ángeles Rivas López**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

**"ID Y ENSEÑAD A TODOS"**

  
Ing. Otto Raúl de León  
COORDINADOR DE TERNA  
Tribunal de Revisión  
Trabajo de Graduación



**ESCUELA DE  
INGENIERIA QUIMICA**

C.c.: archivo

PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
ACREDITADO POR  
Agencia Centroamericana de Acreditación de  
Programas de Arquitectura y de Ingeniería  
Período 2009 - 2012



**ACAAI**

Agencia Centroamericana de Acreditación de  
Programas de Arquitectura y de Ingeniería



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Ref.EIQ.TG.152.2012

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación de la estudiante, **ALEJANDRA VIOLETA LEMUS OROZCO** titulado: **"DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE OPERACIÓN NECESARIO PARA ALCANZAR EL MÁXIMO PODER TINTÓREO Y LA FINEZA EN COLORANTES A BASE DE PIGMENTOS ORGÁNICOS Y NEGRO DE HUMO EN UN MOLINO DE PERLAS HORIZONTAL"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

*"Id y Enseñad a Todos"*

Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, octubre de 2012

Cc: Archivo  
VMMV/ale



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE OPERACIÓN NECESARIO PARA ALCANZAR EL MÁXIMO PODER TINTÓREO Y LA FINEZA EN COLORANTES A BASE DE PIGMENTOS ORGÁNICOS Y NEGRO DE HUMO EN UN MOLINO DE PERLAS HORIZONTAL**, presentado por la estudiante universitaria **Alejandra Violeta Lemus Orozco** autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

A large, handwritten signature in black ink, enclosed within a hand-drawn oval shape.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, octubre de 2012



/cc



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por bendecirme todos los días de mi vida, por darme la sabiduría y el entendimiento.
<b>Mi madre</b>	Violeta Orozco por el amor, confianza y apoyo incondicional. Por ser mi ejemplo a seguir y mi fuente de inspiración en todo momento, la quiero.
<b>Mi hermano</b>	Carlos Leonel por su amor, consejos y la confianza que tiene siempre en mí.
<b>Mis abuelos</b>	Ricarda de Orozco y Feliciano Orozco (q.e.p.d.), por sus enseñanzas que siempre llevo en mi mente y corazón.
<b>Mis tíos y tías</b>	Por su cariño, sus consejos, por estar siempre pendientes de mí y por acompañarme en los momentos más importantes de mi vida. En especial Erwin Orozco (q.e.p.d.).
<b>Mis primos</b>	Por su cariño, consejos y los momentos compartidos en especial a Yolanda Orozco, Sandra Orozco y familia.

**Mis amigos**

Por brindarme su amistad incondicional, cariño, por todos los momentos compartidos y por ser parte importante en mi vida en especial a Melvin Briones, Rosángela Juárez, Lizbeth Pérez, Tania Santa Cruz y Joselito Aldana.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>La Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser mi casa de estudios.
<b>La Facultad de Ingeniería</b>	Por brindarme el recurso humano y físico para mi formación académica.
<b>Grupo Solid</b>	Por brindarme la oportunidad de realizar mi trabajo de graduación y por todos los recursos físicos necesarios para culminarlo.
<b>Mi asesora</b>	Por el apoyo y tiempo brindado.
<b>Lic. Franz Barrios</b>	Por sus conocimientos, el tiempo brindado y su apoyo incondicional.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS/ HIPÓTESIS	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Pigmentos	5
2.1.1. Diferencia entre colorante y pigmento	5
2.1.2. Clasificación de los pigmentos	5
2.1.2.1. De acuerdo a la función en la película	6
2.1.2.2. Según su naturaleza química	6
2.1.3. Utilidad de los pigmentos	7
2.1.4. Características de los pigmentos	8
2.1.5. Forma natural de los pigmentos	9
2.2. Dispersión de los pigmentos	10
2.2.1. Proceso de dispersión	10
2.2.2. Métodos del proceso de dispersión	11
2.2.2.1. Desaglomeración de las partículas del pigmento	11
2.2.2.2. Adherencia de las partículas del pigmento a la superficie	12

2.2.2.3.	Distribución de la dispersión del pigmento en su medio	12
2.2.2.4.	Estabilización	12
2.2.3.	Equipo para el proceso de dispersión	13
2.2.3.1.	Dispensoras de alta velocidad	13
2.2.3.2.	Molino de perlas vertical y horizontal	14
2.2.3.3.	Molino de arena	16
2.2.3.4.	Molino de rodillo	17
2.2.3.5.	Molino de bolas	18
2.3.	Poder tintóreo de los pigmentos	19
2.3.1.	Aspectos del poder tintóreo en pigmentos	19
2.4.	Proceso de producción de pinturas	20
2.4.1.	Pinturas con base de agua	20
2.4.2.	Pinturas con base de solvente	22
2.4.2.1.	Subproceso A: producción de base incolora (pintura blanca)	23
2.4.2.2.	Subproceso B: producción de pintura de color	23
3.	DISEÑO METODOLÓGICO	25
3.1.	Variables	25
3.2.	Delimitación del campo de estudio	26
3.3.	Recursos humanos disponibles	26
3.4.	Recursos materiales disponibles	26
3.5.	Técnica cualitativa o cuantitativa	28
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información	28
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información	32

3.7.1.	Métodos y modelos de los datos según el tipo de variables	33
3.7.2.	Programas utilizados para el análisis de datos	34
3.8.	Análisis estadístico	34
3.8.1.	ANOVA y Prueba de Fisher	35
4.	RESULTADOS	39
5.	INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	51
	CONCLUSIONES	57
	RECOMENDACIONES	59
	BIBLIOGRAFÍA	61
	APÉNDICES	63
	ANEXOS	69



# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Dispersor de alta velocidad	14
2.	Molino de perlas horizontal, NETZSCH	16
3.	Molino de arena	17
4.	Diagrama de molino de rodillos	18
5.	Diagrama de molino de bolas	19
6.	Diagrama de proceso de pinturas con base de agua	21
7.	Diagrama de proceso de pinturas con base de solvente	22
8.	Diagrama de subprocesos de producción de pintura	24
9.	Procedimiento para la preparación del colorante a nivel industrial	30
10.	Diagrama de muestreo y preparación de los colorantes	31
11.	Luminosidad del colorante a base de pigmento rojo PR 101, en función del tiempo de molienda	39
12.	Luminosidad del colorante a base de pigmento naranja PO 36, en función del tiempo de molienda	40
13.	Luminosidad del colorante a base de pigmento azul PB 15:2, en función del tiempo de molienda	41
14.	Luminosidad del colorante a base de pigmento café PBr 8, en función del tiempo de molienda	42
15.	Luminosidad del colorante a base de pigmento negro PBk 7, en función del tiempo de molienda	43
16.	Grado de fineza del colorante a base de pigmento rojo PR 101, en función del tiempo de molienda	44



17.	Grado de fineza del colorante a base de pigmento naranja PO 36, en función del tiempo de molienda	45
18.	Grado de fineza del colorante a base de pigmento azul PB 15:2, en función del tiempo de molienda	46
19.	Grado de fineza del colorante a base de pigmento café PBr 8, en función del tiempo de molienda	47
20.	Grado de fineza del colorante a base de pigmento negro PBk 7, en función del tiempo de molienda	48
21.	Gráfico de barras de tiempo para los cinco colorantes a base de pigmentos orgánicos e inorgánico	49
22.	Molienda del colorante a base de pigmento PR 101 a nivel industrial	53
23.	Dispersión del pigmento el vehículo, en un dispersor de alta velocidad	54

## TABLAS

I.	Variables independientes y dependientes	25
II.	Hoja de toma de datos	32
III.	Hoja de cálculo para el análisis de varianza	35
IV.	Tiempos de operación y máxima luminosidad para cada uno de los colorantes a base de pigmentos orgánicos y negro de humo	49
V.	ANOVA. Probabilidades de las variables principales para los quince diferentes tiempos en estudio ( $\alpha = 0,05$ )	50
VI.	Tiempos de fineza, luminosidad y total para cada uno de los colorantes a base de pigmentos orgánicos y negro de humo	50

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>R<sup>2</sup></b>	Coeficiente de determinación
<b>H</b>	Hegman
<b>L</b>	Luminosidad
<b>min</b>	Minutos
<b>P</b>	Probabilidad



## GLOSARIO

<b>Aditivos</b>	Son productos muy importantes, que se añaden a las pinturas en cantidades que oscilan entre el 0,001% y el 5% y que tienen una profunda influencia en sus propiedades físicas y químicas.
<b>Calibradores tipo Hegman</b>	Son utilizados para medir el grado de fineza de los sistemas pigmento-vehículo.
<b>Color Index</b>	Son los encargados de dar las propiedades de los pigmentos, junto con los nombres comerciales y sus fabricantes.
<b>Colorante</b>	Materiales usados para crear color, tintes, pigmentos, toners, ceras y fosfatos.
<b>Dispersión</b>	Fase que homogeniza solventes, resinas y los aditivos que ayuden a dispersar y estabilizar la pintura.
<b>Espectrofotómetro</b>	Dispositivo fotométrico que mide la transmitancia espectral, la reflectancia espectral o la emisión espectral relativa.

<b>Luminosidad</b>	Percepción mediante la cual los objetos se distinguen entre objetos grises de colores tenues y objetos de colores oscuros.
<b>Molido</b>	El producto obtenido en la fase de dispersión no siempre tiene un tamaño de partícula homogéneo o suficientemente pequeño para obtener las características que se desean. En este caso se procede a una molturación en molinos, generalmente de perlas.
<b>Norma ASTM D 1210</b>	Standard Test Method for Fineness of Dispersion of Pigment-Vehicle Systems by Hegman-Type Gage.
<b>Pigmento</b>	Son sustancias insolubles y opacas que se utilizan para aportar color y poder de cubrición a la pintura.
<b>Pintura</b>	Un recubrimiento o pintura líquida es una mezcla heterogénea de productos que una vez aplicada y seca se transforma en una película continua sin pegajosidad y con las características para las que ha sido concebida.
<b>Resina</b>	Son productos cuya misión es la de mantener unidas las partículas sólidas, pigmentos y cargas, una vez la pintura está seca.

<b>Sistema CIEL*a*b*</b>	<p>Espacio de color en el cual los valores de <math>L^*</math>, <math>a^*</math> y <math>b^*</math> se grafican usando un sistema de coordenadas cartesianas. Las distancias iguales en el espacio aproximadamente representan diferencias iguales de color. El valor <math>L^*</math> representa la luminosidad, el valor <math>a^*</math> representa el eje rojo/verde y el valor <math>b^*</math> representa el eje amarillo/azul.</p>
<b>Solvente</b>	<p>Se llama así al agua y otros productos de naturaleza orgánica cuya misión es la de dar a la pintura una viscosidad óptima según el método de aplicación que debe utilizarse. Los solventes se utilizan además para solubilizar las resinas y regular la velocidad de evaporación.</p>
<b>Tinte</b>	<p>El color producido al mezclar pigmento blanco con colorantes absorbentes blancos (generalmente cromáticos). La mezcla resultante es más clara y menos saturada que el color sin haber añadido el blanco.</p>
<b>Vehículo</b>	<p>Es la mezcla de solventes, resinas y aditivos en pinturas y recubrimientos.</p>



## RESUMEN

El presente trabajo de graduación consistió en la determinación del tiempo de molienda necesario para cinco colorantes a base de pigmentos orgánicos y negro de humo en un molino de perlas horizontal a nivel industrial de la planta Superbia de Grupo Solid, ubicada en Masagua del departamento de Escuintla.

El estudio se enfocó en cinco diferentes colorantes a base de los pigmentos rojo PR 101, café PBr 8, naranja PO 36, azul PB 15:2 y negro de humo PBk 7, según Color Index. Para cada uno se realizaron tres repeticiones de la experimentación, en los cuales para cada repetición se recolectaron quince muestras, con intervalos de tiempo de 5 minutos con un total de 75 minutos para una serie de muestras de un sólo colorante en un molino de perlas horizontal a nivel industrial.

Las variables estudiadas para cada muestra fueron la luminosidad en la escala CIE ( $L^*a^*b^*$ ), el grado de fineza en la escala Hegman y el tiempo de molienda en minutos de la pasta de los distintos colorantes. Para la evaluación se realizaron gráficos de la luminosidad en función de tiempo para los colorantes PR 101, PBr 8, PO 36, PB 15:2 y PBk 7, así como, gráficos de grado de fineza en función del tiempo.

Los gráficos de luminosidad en función del tiempo presentaron una tendencia polinomial negativa de grado dos para los colorantes a base de los pigmentos PR 101, PBr 8, PO 36, PB 15:2 y PBk 7.



Para el gráfico del grado de fineza en función del tiempo aumentó con el tiempo, obteniendo el parámetro de calidad de 7 H antes de los 25 minutos para los colorantes PR 101 y PBr 8 y un tiempo de 40 minutos para los colorantes PO 36, PB 15:2 y PBk 7.

En el análisis estadístico la hipótesis planteada fue rechazada según el ANOVA siendo la probabilidad  $P \leq \alpha$ , donde  $\alpha = 0,05$  para el tiempo de molienda necesario de los colorantes a base de los pigmentos rojo PR 101, naranja PO 36, azul PB 15:2, café PBr 8 y negro de humo PBk 7 ya que este tiempo es mayor a cuarenta minutos para alcanzar el máximo poder tintóreo en un molino horizontal de perlas a nivel industrial.

Los tiempos de molienda necesarios para alcanzar el máximo poder tintóreo de los colorantes a base de los pigmentos rojo PR 101, anaranjado PO 36, azul PB 15:2, café PBr 8 y negro de humo son de 93, 75, 88, 81 y 55 minutos respectivamente.

# OBJETIVOS

## General

Determinar el tiempo de operación de los colorantes a base de pigmentos rojo PR 101, naranja PO 36, azul PB 15:2, café PBr 8 y negro de humo PBk 7 en un molino de perlas horizontal a nivel industrial.

## Específicos

1. Evaluar el poder tintóreo de los colorantes a base de pigmentos orgánicos rojo PR 101, naranja PO 36, azul PB 15:2 y café PBr 8 en quince diferentes tiempos de molienda por medio de la escala CIE ( $L^*a^*b^*$ ).
2. Evaluar el poder tintóreo del colorante a base de pigmento negro de humo PBk 7 en los quince diferentes tiempos de molienda por medio de la escala CIE ( $L^*a^*b^*$ ).
3. Evaluar el grado de fineza de la molienda de los quince diferentes tiempos de los colorantes a base de pigmento rojo PR 101, naranja PO 36, azul PB 15:2, café PBr 8 y negro de humo PBk 7 de por medio del método de Hegman.

## HIPÓTESIS

### **Ho:**

No es posible que el tiempo de operación necesario para los colorantes a base de los pigmentos rojo PR 101, naranja PO 36, azul PB 15:2 , café PBr 8 y negro de humo PBk 7 sea menor a cuarenta minutos\* para alcanzar el máximo poder tintóreo y la fineza en un molino horizontal de perlas a nivel industrial.

### **Hi:**

Es posible que el tiempo de operación necesario para los colorantes a base de los pigmentos rojo PR 101, naranja PO 36, azul PB 15:2 , café PBr 8 y negro de humo PBk 7 sea menor a cuarenta minutos para alcanzar el máximo poder tintóreo y la fineza en un molino horizontal de perlas a nivel industrial.

\*Nota: el tiempo se establece de cuarenta minutos, debido a requerimiento de planta y eficiencia de equipo, empresa Grupo Solid.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad se puede mencionar el uso de pigmentos en la fabricación de tintas de imprenta, lacas y esmaltes, plásticos y entre otros materiales; con el objetivo de darles color, opacidad y otras propiedades.

En la elaboración de pinturas y recubrimientos, es de importancia el uso de pigmentos (orgánicos e inorgánicos) ya que estos le brindan el color, resinas, solventes y aditivos con los cuales se logra obtener una pintura de alta calidad, llevándose a cabo mediante diferentes procesos a nivel industrial.

El estudio de la determinación del tiempo de molienda necesario para alcanzar el máximo poder tintóreo en colorantes a base de pigmentos orgánicos y negro de humo, centra su atención en la industria de recubrimientos orgánicos e inorgánicos de pinturas ya que estos son utilizados en la elaboración de pinturas, la mezcla de estos brindan color a la base a entintar.

Dentro del desarrollo y formulación, para cada producto fabricado se espera obtener el mayor rendimiento, al menor costo, tomando en cuenta la calidad final. Este rendimiento y calidad, depende en forma considerable de la fineza alcanzada por los pigmentos utilizados luego de la molienda, de ahí la importancia de obtener el máximo poder tintóreo de los colorantes a utilizar en el proceso de elaboración de pinturas.

Con el propósito de aportar una investigación sobre la determinación del tiempo de molienda de cinco diferentes colorantes a base de pigmentos orgánicos y negro de humo se evaluaron dos variables siendo la luminosidad en función del tiempo, así como, el grado de fineza también en función del tiempo.

El proceso para la investigación en la elaboración de los colorantes a base de pigmentos orgánicos e inorgánicos se llevó a cabo durante varias etapas siendo: la dispersión que fue la misma para cada uno de los colorantes, luego se realizó el estudio del tiempo de molienda en el molino de perlas horizontal, extrayendo muestras a cada cierto tiempo y luego encontrando los valores de las variables estudiadas, para luego finalizar con la obtención de la pasta del colorante cumpliendo con los parámetros de calidad.

## 1. ANTECEDENTES

Las industrias de elaboración de pinturas fabrican una amplia gama de productos, entre los que destacan las pinturas (base agua o solvente), barnices, lacas y esmaltes.

Actualmente, dentro del proyecto Superbia de la empresa Grupo Solid ubicada en Escuintla no contaba con investigación sobre el tema en estudio, en otras industrias de recubrimientos y pinturas tampoco hay información que haya abarcado la determinación de tiempos de molienda de diferentes colorantes a base de pigmentos orgánicos y negro de humo en un molino horizontal de perlas a escala industrial, por lo tanto, fue objeto de estudio para realizar este proyecto.

En este trabajo de graduación, como antecedentes sólo se contó con estudios científicos realizados (Carlos A. Giudice y Andrea M. Pereyra, Tecnología de Pinturas y Recubrimientos, Componentes, Formulación, Manufactura y Control de Calidad; Sergio Manuel Bernabé Pellecer, Pinturas en la Edificación) y experiencia de las personas que laboran dentro de este ámbito y que permite tener un conocimiento sobre algunas de las propiedades, características y comportamientos de la dispersión y molienda de la pasta de un colorante.

Para lograr una pintura final se siguen una serie de procesos ordenados desde la recepción de materia prima hasta el envasado y etiquetado final del producto. Previo a la elaboración a nivel de planta de la pintura se desarrollan y formulan los colorantes y pinturas a nivel laboratorio.

Al haber concluido y tener la formulación final del colorante o pintura se lleva a nivel de planta, pero es de gran importancia tener establecidos los procesos necesarios para elaborar una pintura de calidad y a un buen costo.

Para la producción de pintura de color el procedimiento general se caracteriza por las siguientes operaciones:

- Dispersión del pigmento para formar una pasta coloreada (45% concentración de sólidos).
- Molienda de la pasta coloreada para formar empaste.

Una vez que se obtiene el concentrado coloreado terminado, la base incolora se mezcla con este, obteniéndose así la pintura deseada. Por último, se envía a envasado, pasando previamente por control de calidad.

La molienda, esta etapa es parte de la dispersión del pigmento y es otra de los procesos críticos de la fabricación. El objetivo de la molienda del pigmento es alcanzar partículas de pigmento finas, bien molidas, suavizadas y además mejora la separación de las partículas de pigmento, para lograr un mayor poder tintóreo.

La molienda sirvió como campo de estudio para este trabajo de graduación siendo un proceso importante en la fabricación de pinturas, ya que a partir de esto se obtiene una premezcla (colorante base) que permite llegar al producto final deseado.

El molino que se utilizó en este tema de graduación es un molino horizontal de perlas marca NETZSCH a nivel industrial, con el cual se pretendió encontrar el tiempo necesario para alcanzar el mayor poder tintóreo de pigmentos orgánicos y negro de humo. Esto se realizó ya que dentro de la empresa es parte del equipo industrial nuevo y por lo tanto fue necesaria la evaluación del mismo.

Se consideró entonces importante realizar el estudio del problema planteado, para evaluar y establecer específicamente los tiempos de molienda para cada uno de los colorantes.





## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Pigmentos**

Los pigmentos están constituidos por partículas pequeñas de sólidos finamente divididos, seleccionados para impartirle a la película propiedades específicas. El pigmento es un material particulado ópticamente activo o no, que debe ser insoluble en el vehículo y además no reactivo químicamente con los restantes componentes del sistema.

#### **2.1.1. Diferencia entre colorante y pigmento**

El colorante, actuando químicamente, comunica color a un material al combinarse con él. Conocidos con el nombre de anilinas, son solubles en el medio en que se emplean.

El pigmento al dispersarse, sin disolverse, en la masa de otra, comunica a esta su propio color por simple mezcla, es decir, físicamente.

#### **2.1.2. Clasificación de los pigmentos**

Los pigmentos se clasifican de acuerdo con la función en la película de pintura y a la naturaleza química.

### **2.1.2.1. De acuerdo a la función en la película**

- Pigmentos funcionales: otorgan propiedades especiales tales como resistencia a la corrosión metálica (pigmentos inhibidores), a la incrustación biológica (biocidas), a la acción del fuego (ignífugos), etcétera. Estos pigmentos generalmente tienen elevado índice de refracción (poder cubriente) e imparten color.
- Pigmentos extendedores: en general, se utilizan como refuerzo para completar las propiedades de otros pigmentos y disminuir los costos. Pigmentos extensores históricamente han sido hechos de arcilla, sílice, talco y sirven para ayudar en la prevención de moho y óxido de zinc.

### **2.1.2.2. Según su naturaleza química**

Otra clasificación tradicional de los pigmentos coloreados es en inorgánicos y orgánicos. Sin embargo, los constantes desarrollos tecnológicos tienden, al menos en lo referente a las propiedades, a convertir en algo difuso esta clasificación. Sofisticados tratamientos superficiales, conjuntamente con los permanentes cambios en los métodos de preparación y de procesamiento posterior, hacen que cada pigmento requiera consideraciones específicas.

Sin embargo, realizada la mencionada consideración y para generalizar propiedades, resulta didáctico y simple la clasificación en:

- Pigmentos inorgánicos: estos pigmentos generalmente incluyen productos naturales y sintéticos. Los pigmentos inorgánicos imparten en general, entre otras propiedades, color, opacidad, resistencia al calor y a la acción de la intemperie. Tienen un precio relativamente bajo en relación a otros componentes de las pinturas.
- Pigmentos orgánicos: los pigmentos orgánicos más frecuentemente empleados son en la actualidad de origen sintético; conducen, entre otras propiedades generales, a películas fuertemente coloreadas, con reducido poder cubriente, variable resistencia al calor, a la acción de la intemperie y a los agentes químicos. Tienen un costo generalmente elevado en términos comparativos.

Además, los pigmentos en general modifican las características de flujo de la pintura y aumentan la adhesión específica y la cohesión, reducen el brillo e incrementan la permeabilidad de la película seca.

### **2.1.3. Utilidad de los pigmentos**

Los pigmentos se utilizan para la pintura de color, tinta, plástico, telas, cosméticos, alimentos y otros materiales. La mayoría de los pigmentos utilizados en la fabricación y las artes visuales son colorantes secos, por lo general suelo en un polvo fino. Este polvo se agrega a un vehículo (o carpeta), un material relativamente neutro o incoloro que suspende el pigmento de la pintura y le da su adhesión.

#### **2.1.4. Características de los pigmentos**

Mientras que las propiedades de (soluble) colorantes se determinan casi exclusivamente por su constitución química, características de la aplicación de pigmentos que son por definición insolubles en el medio en que se aplican.

Son en gran parte controlada por su constitución cristalina, es decir, por sus características físicas.

- Tamaño de partícula: el tamaño de partícula varía entre 0,001 micras, para grados finos de negro de carbón hasta 25 micras para pigmentos toscos.
- Fácil de humectar: partículas finas tienen más área superficial por unidad de peso que las partículas toscas, por lo tanto, requerirá más trabajo para mojar las partículas finas.
- Dispersabilidad: la dispersión de un pigmento es en gran parte determinada por la naturaleza y la densidad de los aglomerados, que a su vez dependen de la forma de la partícula y la densidad.
- Estabilidad al calor: propiedad por la que el pigmento no cambie de apariencia al estar expuesto a altas temperaturas.
- Estabilidad a la luz: propiedad por la que el pigmento no cambia su apariencia ante una exposición a la luz directa.

- Estabilidad química: propiedad por la que no reacciona con los otros ingredientes del vehículo provocando una coloración diferente a la deseada.
- Resistencia a la intemperie: propiedad por la que el pigmento no varía al estar expuesto al ambiente.
- Densidad aparente: es la determinación del peso por unidad de volumen según métodos especificados para polvos.

#### **2.1.5. Forma natural de los pigmentos**

Los pigmentos son aglomerados que se reducen de tamaño durante la fase de molienda de pigmento, idealmente esto lleva a la producción de partículas primarias.

Los aglomerados representan agrupaciones de pigmento en la que los espacios intersticiales entre las partículas individuales del pigmento contienen aire y humedad. Estas partículas individuales de pigmento están en contacto unos con otros sólo a lo largo de sus bordes y esquinas.

Las fuerzas interactivas entre las partículas son relativamente pequeñas, para que esas fuerzas puedan ser superadas por equipo tradicional de dispersión.

En contraste, los agregados son más planos compactos y presentan entre las partículas de pigmento individuales y es mucho más difícil de dividir en partículas primarias.

## **2.2. Dispersión de los pigmentos**

La dispersión de un pigmento consiste en separar las partículas aglomeradas y distribuir las lo más uniformemente posible en el seno del vehículo; depende fundamentalmente de las propiedades fisicoquímicas del vehículo, de la naturaleza de las partículas del pigmento, del tipo y cantidad de surfactante seleccionado y del equipo dispersor empleado.

Este proceso involucra la humectación en la cual el aire es reemplazado por el medio dispersante (las partículas asociadas permanecen prácticamente inalteradas), la rotura mecánica de los agregados en otros de menor número de partículas primarias y finalmente la estabilidad de la dispersión que permite alcanzar un producto que puede ser mantenido durante lapsos prolongados sin modificaciones o alteraciones importantes en el tamaño y en la distribución de tamaño de las partículas asociadas.

### **2.2.1. Proceso de dispersión**

Este proceso, conocido como dispersión del pigmento, se refiere a la distribución de un pigmento en todo el material de aplicación, acompañado de una reducción del tamaño de aglomerado para producir partículas primarias. Al efectuarse un proceso de dispersión se logra:

- Presentar mayor poder tintóreo, especialmente en la reducción de blanco
- Someterse a un cambio de color
- Ser más transparente / menos opaca
- Proporcionar un mayor brillo
- Aumenta la viscosidad

- Contar con una reducida concentración crítica del volumen de pigmento, lo cual es importante en las bases de molino.

## **2.2.2. Métodos del proceso de dispersión**

Entre los métodos de dispersión se encuentran la desaglomeración de las partículas del pigmento, la adherencia de las partículas del pigmento a las superficies, la distribución de la dispersión del pigmento en su medio y estabilización.

### **2.2.2.1. Desaglomeración de las partículas del pigmento**

Hay cuatro formas en que las aglomeraciones se pueden romper:

- Entre dos superficies sólidas (molienda en seco en los molinos de rodillo o trituradoras de rodillo).
- Por el choque, es decir, por impartir la energía cinética de un material y aplastarla a través del impacto sobre una superficie sólida (molienda en seco en los molinos de impacto).
- Por la energía mecánica que se transfiere sobre el material a través del medio en los alrededores (molienda húmeda).
- Por aplastamiento térmico.



### **2.2.2.2. Adherencia de las partículas del pigmento a la superficie**

Hay dos aspectos de humedecimiento de las partículas de pigmento:

- La difusión de un líquido o un sistema de unión sobre la superficie de las partículas del pigmento.
- La impregnación del polvo de pigmento, sobre todo de los aglomerados, con los componentes del líquido.

### **2.2.2.3. Distribución de la dispersión del pigmento en su medio**

Lograr una distribución estadísticamente uniforme de partículas de pigmento en todas las unidades de volumen del medio de toda la aplicación es una cuestión del equipo y su modo de funcionamiento y también de las condiciones en que el proceso de dispersión se lleva a cabo.

### **2.2.2.4. Estabilización**

Una de las principales necesidades es estabilizar el sistema de partículas de pigmento contacto con el medio en su sistema de vehículo para que el proceso de dispersión no sea reversible.

La estabilización, es decir, la protección contra reaglomeración o floculación, es un asunto complejo y depende de una variedad de parámetros, incluida la composición del medio, en especial la elección y la cantidad de solventes, químicos y características físicas de los diferentes componentes, la viscosidad de la red de abordo y el efecto de capas de adsorción que cubren la superficie de las partículas de pigmento.

### **2.2.3. Equipo para el proceso de dispersión**

El equipo utilizado para dispersar y moler el pigmento es una parte importante del proceso. Diferentes molinos funcionan bien con materiales de diferentes pigmentos.

#### **2.2.3.1. Dispensoras de alta velocidad**

Estos equipos compactos se emplean generalmente sólo en el premezclado de las materias primas, es decir, para alimentar los molinos de perlas. Sin embargo, la actual disponibilidad de pigmentos fácilmente dispersables permite que en ellos se preparen el vehículo, se dispersen los pigmentos funcionales y extendedores y finalmente se adelgace, en etapas secuenciales, en el interior de la misma cuba.

Se confiere al sistema bajo procesamiento una enorme energía cinética que permite realizar el proceso dispersivo en forma muy rápida por las fuerzas de cizallamiento entre los propios aglomerados. La base de molienda es impulsada por la fuerza centrífuga hacia las paredes de la cuba en forma radial. Allí parte de esa masa asciende hasta alcanzar la altura máxima contra la cara interna del recipiente y luego desciende hacia el centro del vértice.

Por otro lado, la masa remanente es impulsada hacia el fondo de la cuba y desde allí completa un movimiento circular hacia el centro del sistema en forma ascendente; estos dos movimientos circulares se repiten a través de todo el proceso dispersivo hasta alcanzar por fricción el grado de finura deseado.

Se debe controlar constantemente la viscosidad del sistema ya que esta se incrementa a medida que el contenido de sólidos también aumenta.

Figura 1. **Dispensador de alta velocidad**



Fuente: <http://www.sieheindustry.com/es/Maquinarias-de-fluido/Dispensores/Lab-High-speed-Dispenser.html>. Consulta: 21 de junio de 2011.

### **2.2.3.2. Molino de perlas vertical y horizontal**

Contienen el eje impulsor provisto de los discos anulares en la misma posición. También poseen una camisa para la circulación de agua y una bomba para recircular la base de molienda en tratamiento.

Estos molinos trabajan con mayor carga de bolillas (aproximadamente un 85% del volumen aparente de la cuba); además, la selección de estas últimas también puede contemplar bolillas de mayor densidad pero de menor diámetro que las empleadas para operar en molinos verticales con el fin de favorecer el esfuerzo de corte o sea la eficiencia de la dispersión.

Un medio molturante adecuado para la base de carga a dispersar se caracteriza por presentar los valores más bajos posibles de tamaño, densidad y costo.

Los elementos molturantes deben tener además una distribución estrecha de tamaño, un alto porcentaje de forma esférica, una baja abrasividad y generar residuos de desgaste que no afecten el aspecto ni el comportamiento del producto final.

La eficiencia de la dispersión y la estabilidad de la misma en el envase dependen fuertemente del tiempo medio de residencia de la base de molienda en el interior del molino.

Las ventajas más significativas de estos molinos es que no requieren una supervisión permanente pero exigen una atención técnica especializada, acceden al procesamiento de sistemas de características tixotrópicas, admiten la dispersión de sistemas conformados por pigmentos duros, permiten procesar en pocos minutos grandes volúmenes de producto, presentan una limpieza sencilla y requieren un bajo costo de mantenimiento.

Figura 2. **Molino de perlas horizontal, NETZSCH**



Fuente: Superbia, Grupo Solid, Escuintla.

### **2.2.3.3. Molino de arena**

Se utiliza un tipo diferente de impulsor y se utiliza como medio de molienda de vidrio o cerámica. Los pigmentos pasan por un medio cortante. Son de resistencia al desgaste, la finura de la dispersión está determinada por la longitud de tiempo la pasta se encuentra en la planta o el tiempo de residencia. Este molino consta de un eje de alta velocidad con uno o dos rodetes sólidos girando en el centro de un tanque cilíndrico con una parte inferior en forma de cono, lleno de pequeñas bolas de molienda.

Figura 3. **Molino de arena**



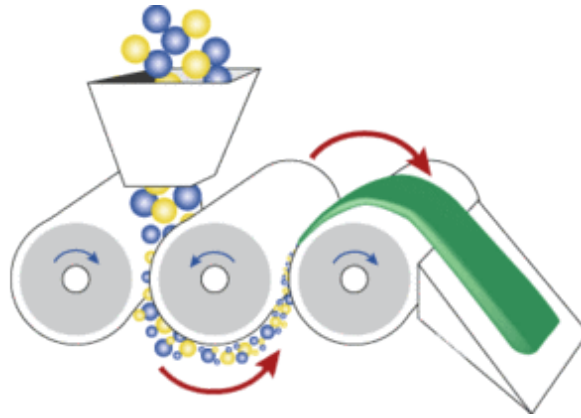
Fuente: Superbia, Grupo Solid, Escuintla.

#### **2.2.3.4. Molino de rodillo**

Es un dispositivo de fresado, puede utilizar dos o más rodillos para mezclar los ingredientes de la pintura. El material a moler se coloca entre la fuente y el centro de la rueda.

Cada rollo adyacente gira a velocidades cada vez más elevados. Por ejemplo, el alimentador de rollos puede girar a 30 revoluciones por minuto, el rollo de centro a 90 revoluciones por minuto y el rollo de plataforma a 270 revoluciones por minuto. Material se transfiere desde el centro del rodillo a la tirada de delantal por adhesión. La dispersión es alcanzada por las fuerzas de cizallamiento generadas entre los rodillos adyacentes. El material fresado se quita el rollo de delantal por un cuchillo que se ejecuta con el dispositivo.

Figura 4. **Diagrama del molino de rodillos**



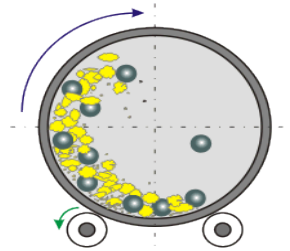
Fuente: <http://www.exakt.de/EXAKT-Three-Roll-Mil.38+M52087573ab0.0.html>. Consulta: 21 de junio de 2011.

### **2.2.3.5. Molino de bolas**

Uno de los tipos más antiguos de los equipos de molienda que todavía se utiliza es el molino de bolas. Este molino consta de un tanque cilíndrico montado horizontalmente. Se carga a un tercio de su volumen aparente con las bolas de 5/8" de acero como medio de molienda. Hay levantador de barras situado en la pared interior del molino y el molino gira, las bolas se levantan y a continuación, en cascada hacia abajo, la dispersión del pigmento de desgaste y de corte.

Estos molinos se utilizan para los pigmentos más difíciles de dispersar, como los negros y orgánicos.

Figura 5. **Diagrama del molino de bolas**



Fuente:[http://www.quadroytron.com/menu\\_app/pharma\\_HV0.asp](http://www.quadroytron.com/menu_app/pharma_HV0.asp). Consulta: 21 de junio de 2011.

### **2.3. Poder tintóreo de los pigmentos**

El poder tintóreo es una medida de la capacidad de un colorante o tinte para alterar el color de una película de pintura.

El poder cubriente y poder tintóreo son dos propiedades ópticas utilizadas para describir la eficiencia de dispersión de un pigmento.

Algunos pigmentos tienen una capacidad muy fuerte de coloración y otros tienen una capacidad de teñido débil. De esta forma se aprovecha colorear bases de gran cantidad, utilizando pequeñas cantidades de tintes y así producir una pintura con ciertas características.

#### **2.3.1. Aspectos del poder tintóreo en pigmentos**

Las primeras unidades de los aglomerados que se desglosan, dejando un material compuesto de partes más complejas de pigmento disperso en el vehículo. Esto explica por qué la tasa de dispersión aumenta y la curva de dispersión en tiempo se acerca a un límite superior.



Este límite, que podría ser denominado la última fuerza tintórea, refleja el máximo grado de dispersión que se puede lograr en un vehículo particular, un sistema bajo cierto conjunto de condiciones. Sin embargo, los resultados experimentales se desvían más o menos de los conceptos teóricos y una dispersión ideal no se da normalmente (no todos los aglomerados se descomponen o dispersan por completo).

Sin embargo, el poder tintóreo es de importancia aunque en la industria no se le da la misma, porque incluso los tintes determinados experimentalmente a partir del poder tintóreo no son considerados estándares para el uso industrial, ya que las técnicas operacionales no siempre se les permite ir a la culminación de este y la dispersión del proceso es a menudo interrumpido, sobre todo para razones económicas.

## **2.4. Proceso de producción de pinturas**

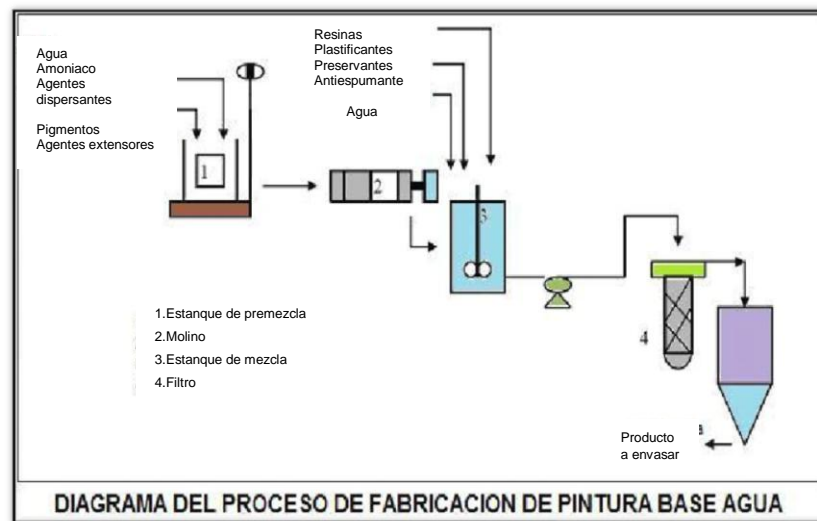
Los materiales o sustancias utilizadas en la elaboración de pinturas pueden agruparse en cuatro categorías de materias primas: pigmentos, aglutinantes, solventes y aditivos menores. Los cuales dependiendo del tipo de pintura a elaborar ya sea con base de agua o solventes se llevan a cabo en diferentes etapas.

### **2.4.1. Pinturas con base de agua**

- Se inicia con la adición de agua, amoníaco y agentes dispersantes a un estanque de premezcla.
- El material pasa a través de equipo especial de molienda.

- Se transfiere a un estanque de mezclamiento con agitación.
- Se agrega el agua.
- Luego se filtra para remover pigmentos no dispersos (mayores a 10 micrómetros), siendo posteriormente envasado en tarros y embalado.

Figura 6. **Diagrama de proceso de pinturas con base de agua**

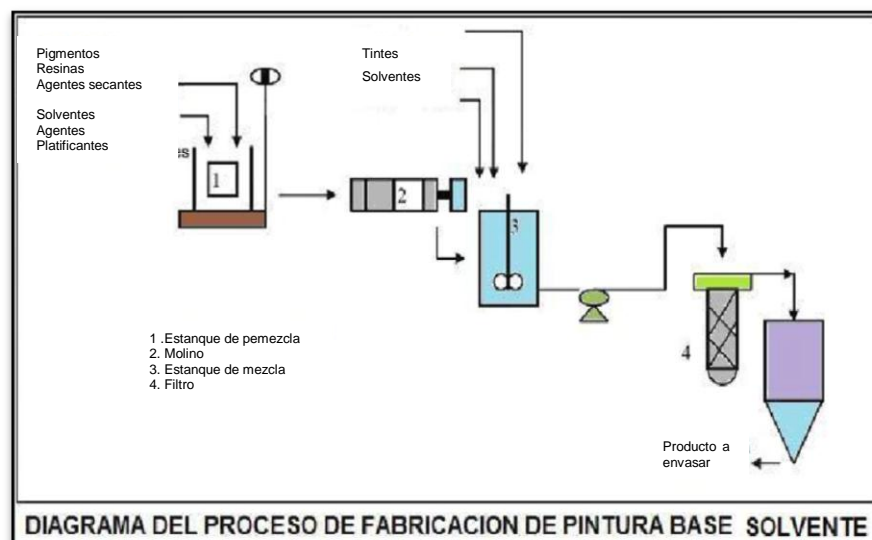


Fuente: <http://es.scribd.com/doc/32398325/Proceso-de-Produccion-de-Pinturas>. Consulta: 21 de junio de 2011.

## 2.4.2. Pinturas con base de solvente

- Inicialmente, se mezclan los pigmentos, resinas y agentes secantes en un mezclador de alta velocidad, seguidos de los solventes y agentes plastificantes.
- Se transfiere a un segundo estanque de mezclamiento, en donde se adicionan tintes y solventes.
- Se filtra, envasa y almacena.
- En este proceso también es posible usar un estanque de premezcla y un molino en lugar del mezclador de alta velocidad.

Figura 7. Diagrama de proceso de pinturas con base de solventes



Fuente: <http://es.scribd.com/doc/32398325/Proceso-de-Produccion-de-Pinturas>. Consulta: 21 de junio de 2011.

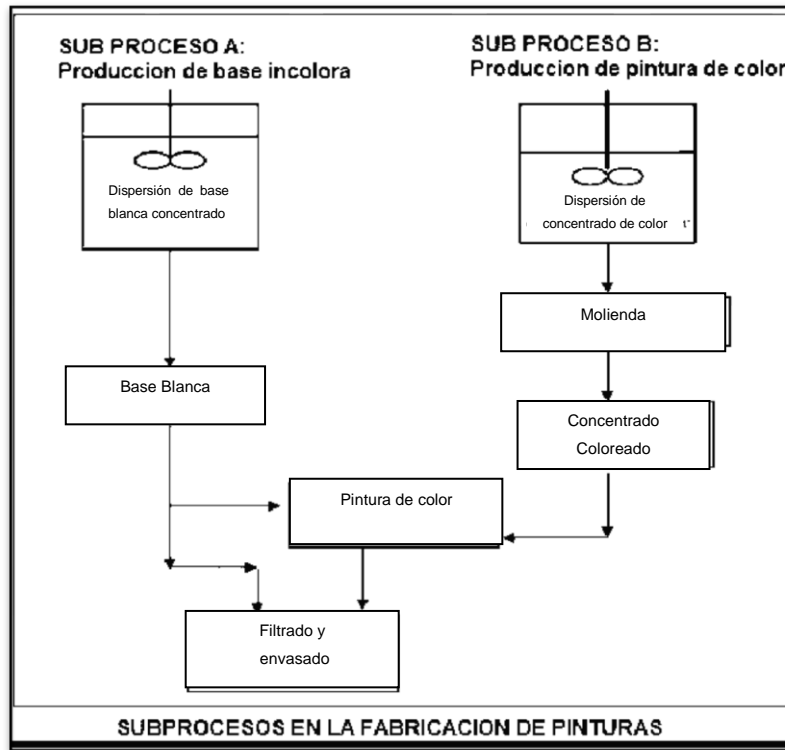
#### **2.4.2.1. Subproceso A: producción de base incolora (pintura blanca)**

- Dispersión de la base concentrada incolora (30% concentración de sólidos).
- Mezclado de terminación de base incolora.
- Luego de estas etapas, se obtiene la base incolora, la cual puede continuar a envasado o a completar el proceso de fabricación de pintura de color.

#### **2.4.2.2. Subproceso B: producción de pintura de color**

- Dispersión del pigmento para formar una pasta coloreada (45% concentración de sólidos).
- Molienda de la pasta coloreada para formar empaste.
- Mezclado del empaste con resinas y solventes formando un concentrado coloreado.
- Una vez que se obtiene el concentrado coloreado terminado, la base incolora se mezcla con este, obteniéndose pintura de color.
- Por último, se envía a envasado, pasando previamente por control de calidad.

Figura 8. Diagrama de subprocesos de producción de pintura



Fuente:<http://es.scribd.com/doc/32398325/Proceso-de-Produccion-de-Pinturas>. Consulta: 21 de junio de 2011.

### 3. DISEÑO METODOLÓGICO

#### 3.1. Variables

A continuación se presentan las variables independientes y las variables dependientes que sirvieron como base para efectuar experimentalmente la metodología planteada para este trabajo de graduación.

Tabla I. **Variables independientes y dependientes**

	<b>Descripción</b>
<b>Variables independientes</b>	Tiempo de molienda (min)
	Rojo PR 101
	Naranja PO 36
	Azul PB 15:2
	Café PBr 8
	Negro de humo PBk 7
	Grado de fineza (Hegman)
<b>Variables dependientes</b>	Luminosidad

Fuente: elaboración propia.

### **3.2. Delimitación del campo de estudio**

La parte experimental, recolección de muestras se realizó en el área de fabricación de productos base solvente (PBS) de la empresa Grupo Solid, ubicada en Escuintla.

La preparación y análisis de las muestras se llevó a cabo en los Laboratorios de formulación y desarrollo de pinturas del mismo establecimiento. El experimento tuvo una duración aproximada de 2 meses.

### **3.3. Recursos humanos disponibles**

- Investigadora: Alejandra Violeta Lemus Orozco
- Asesora de la investigación: Inga. María de los Ángeles Rivas López
- Apoyo por parte de profesionales de la empresa Grupo Solid: Lic. Franz Barrios, Director Técnico.

### **3.4. Recursos materiales disponibles**

- Recursos físicos
  - Área de PBS (Pintura con base de solvente). Planta Superbia Escuintla, Grupo Solid.
  - Laboratorio de formulación y desarrollo de pinturas. Superbia Escuintla, Grupo Solid.

- Equipo de medición
  - Balanza analítica Rice Lake, Serie TC con rango de pesado de 2 000 gramos y precisión de +/- 0,01.
  - Espectrofotómetro Datacolor 650 con medición por transmitancia y reflectancia, con filtro UV incluido.
  - Calibradores Hegman de una pista.
  
- Equipos auxiliares
  - Dispersora de alta velocidad para pintura a escala industrial marca OULU con rango de velocidad hasta 1 500 revoluciones por minuto.
  - Molino de perlas horizontal a escala industrial marca NETZSCH con perlas vítreas de 0,09 hasta 3 milímetros y rango de viscosidades desde 20 milipascales a 7 000 milipascales.
  
- Recursos materiales auxiliares
  - Beaker de acero inoxidable
  - Espátula
  - Brocha



- Reactivos
  - Solvente mineral
  - Resina alquídica
  - Aditivos dispersantes y espesantes
  - Pigmento rojo PR 101
  - Pigmento naranja PO 36
  - Pigmento azul PB 15:2
  - Pigmento café PBr 8
  - Pigmento negro de humo PBk 7

### **3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa**

Para el desarrollo de este estudio se utilizó la técnica cuantitativa. Está basado en la medición de las variables de entrada y salida de las diferentes premezclas de colorantes a partir de pigmentos orgánicos y negro de humo.

Las variables cuantitativas implicadas en el estudio, son: medición de la fineza de la muestra (Hegman) a partir del calibrador Hegman, poder tintóreo de los colorantes (inverso del grado de luminosidad) por medio de espectrofotometría y tiempo de molienda de la premezcla.

### **3.6. Recolección y ordenamiento de la información**

La recolección de la información se realizó dentro de la planta de producción en donde se tomaron muestras a cada cinco minutos.

Previo a esto se preparó la premezcla o pasta en la cual se mezcla la resina, solvente y aditivos en un tanque de agitación para luego agregar el pigmento que fue objeto de estudio y luego depositarlo a una dispersora de alta velocidad durante una hora.

Se trasladó la pasta al molino horizontal de perlas el cual trabajó con microesferas de 0,09 hasta 3 milímetros con un volumen de 40% de perlas vítreas y un 60% de volumen de pasta en el interior del contenedor del molino en donde a cada cinco minutos se tomó cinco gramos de colorante.

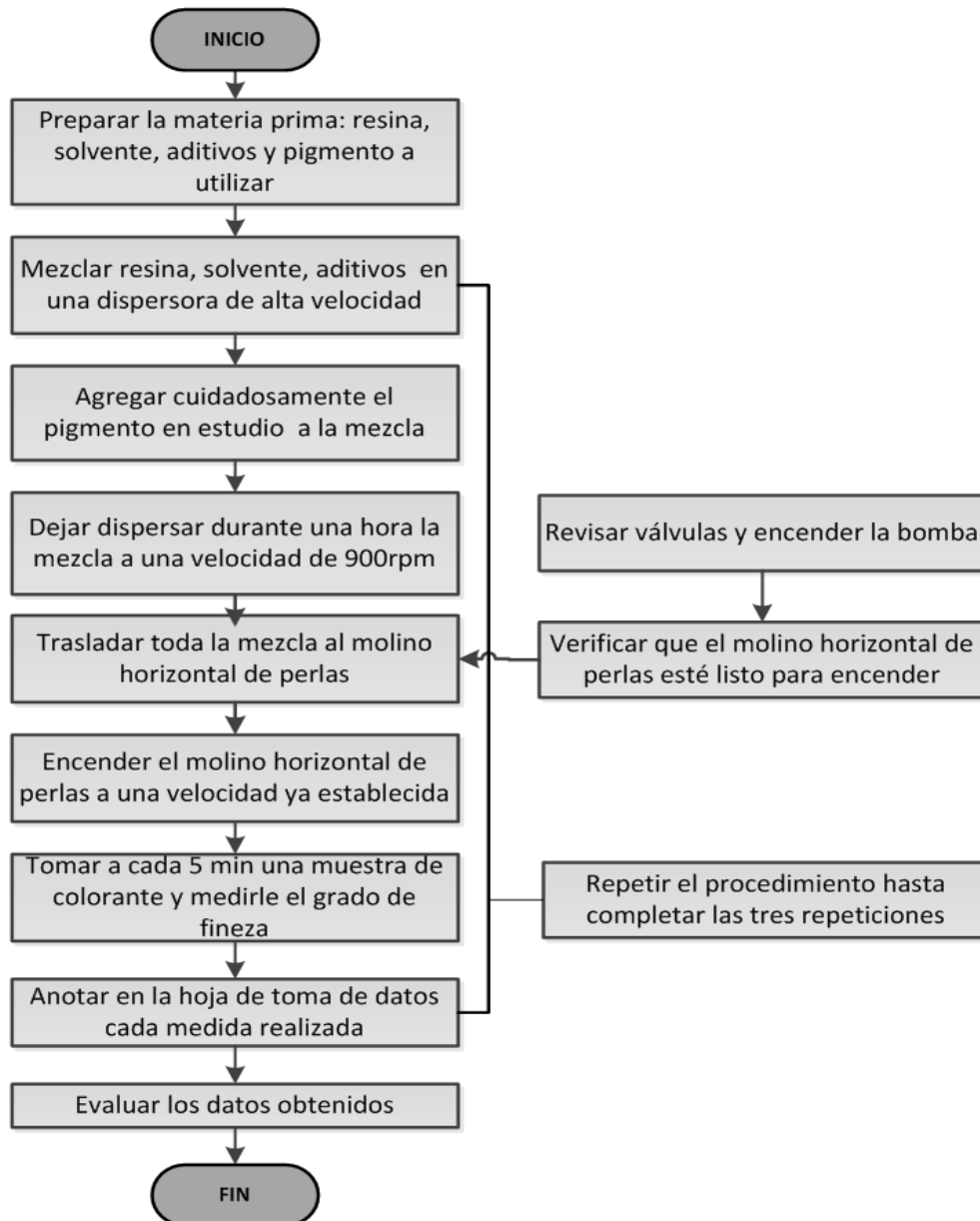
A cada toma de muestra se le determinó el grado de fineza por medio del calibrador Hegman de una pista, ver anexo 2. Este paso es de importancia ya que el grado de fineza debe cumplir con la Norma ASTM D 1210 hasta llegar a una fineza de 7 Hegman.

Las muestras para los quince diferentes tiempos se prepararon para luego ser analizadas, para esto se recolectaron cinco gramos de colorante del molino horizontal de perlas y se le agregó 45 gramos de pintura blanca (código 1900), para luego mezclarlos bien durante 15 minutos y se procedió a la aplicación del colorante en lenetas con un aplicador 6 mil el cual dejó una capa de colorante sobre la misma y se dejó secar durante dos días cada aplicación.

Las aplicaciones fueron analizadas por el espectrofotómetro y de esta forma se pudo determinar el poder tintóreo (inversamente proporcional del grado de luminosidad) del pigmento para los diferentes tiempos.

A continuación se presenta un diagrama de flujo en el cual se observa el procedimiento realizado para la preparación del colorante a nivel industrial.

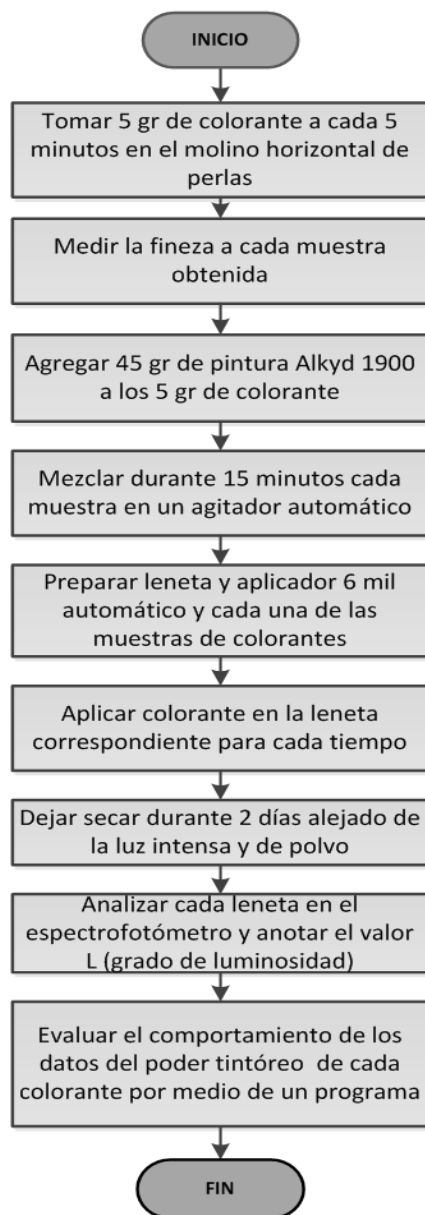
Figura 9. **Procedimiento para la preparación del colorante a nivel industrial**



Fuente: elaboración propia.

El siguiente diagrama de flujo presenta las etapas para la recolección, preparación y ordenamiento de cada una de las muestras a analizar.

Figura 10. **Diagrama de muestreo y preparación de los colorantes**



Fuente: elaboración propia.

### 3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Para la determinación del tiempo de molienda de los diferentes colorantes se analizaron las 15 muestras de sus respectivas mezclas de colorante y blanco, de las cuales se realizaron 3 repeticiones para cada colorante en estudio.

El tiempo de análisis de cada colorante fue de setenta y cinco minutos, de esta forma pudo evaluar el poder tintóreo y el grado de fineza dentro del intervalo establecido.

Tabla II. Hoja de toma de datos

Colorante a base de pigmento										
Muestra No.	Tiempo de molienda (min)	Grado de fineza (Hegman) Repetición (1)	Grado de fineza (Hegman) Repetición (2)	Grado de fineza (Hegman) Repetición (3)	Peso de la muestra (gr) Repetición (1)	Peso de la muestra (gr) Repetición (2)	Peso de la muestra (gr) Repetición (3)	Luminosidad L Repetición (1)	Luminosidad L Repetición (2)	Luminosidad L Repetición (3)
1	5									
2	10									
3	15									
4	20									
5	25									
6	30									
7	35									
8	40									
9	45									
10	50									
11	55									
12	60									
13	65									
14	70									
15	75									

Fuente: elaboración propia.

Luego de la recolección de los datos para los diferentes colorantes a base de los pigmentos: rojo PR 101, pigmento anaranjado PO 36, pigmento azul PB 15:2, pigmento café PBr 7 y pigmento negro de humo PBk 7 se necesitó del procesamiento de los mismos, para el análisis e interpretación de dichos datos se realizó a partir de distintos programas que permitió demostrar a través de gráficos el comportamiento del grado de fineza para cada tiempo de molienda, al igual que el comportamiento de la luminosidad para diferentes tiempos de molienda en un molino horizontal de perlas a escala industrial.

### **3.7.1. Métodos y modelos de los datos según el tipo de variables**

El método que se utilizó para la obtención del poder tintóreo fue a partir de la escala CIE ( $L^*a^*b^*$ ), en donde el valor fue dado directamente al haber configurado la escala en el espectrofotómetro para la medición numérica del color. El valor que se requirió fue L grado de luminosidad (adimensional) para este estudio L es inversamente proporcional al poder tintóreo.

La escala Hegman fue utilizada para la medición del grado de fineza de la pasta del colorante a base de los cinco diferentes pigmentos, para la cual tuvo que cumplir con la Norma ASTM D 1210 específicamente para la molienda de colorantes a base de pigmento en un molino, para este estudio el molino de perlas horizontal a nivel industrial.

En la determinación del tiempo de molienda necesario para alcanzar el máximo poder tintóreo de los colorantes orgánicos y negro de humo se graficaron los datos obtenidos en la hoja de toma de datos graficando luminosidad en función del tiempo de molienda, para luego ajustar un modelo matemático que permitiera relacionar las dos variables en estudio.

Según el análisis estadístico se determinó el modelo con el programa Statistix 2007 y el mismo fue derivado para encontrar el valor del tiempo de molienda, así como, el valor mínimo de luminosidad que es igual al máximo poder tintóreo según el estudio realizado.

### **3.7.2. Programas utilizados para el análisis de datos**

Los programas que se utilizaron para el análisis de los datos que se obtuvieron de la experimentación son: Microsoft Office Excel 2010 y Microsoft Word 2007 y Statistix 2007.

De los cuales uno sirvió para realizar las gráficas correspondientes para la evaluación y análisis del comportamiento de las variables ya indicadas anteriormente para cada colorante; al igual el otro programa servirá para la tabulación e interpretación de los resultados obtenidos de la experimentación para la realización del informe final y Statistix2007 para el análisis estadístico de los datos de la muestra estudiada.

### **3.8. Análisis estadístico**

El análisis estadístico fue aplicado a la serie de datos obtenidos de la experimentación para cada una de las repeticiones de los cinco tintes a base de los pigmentos en estudio.

Para este caso se realizó un análisis de la correlación de los datos, para concluir si se acepta o se rechaza la hipótesis planteada.

### 3.8.1. ANOVA y Prueba de Fisher

Con el objetivo de rechazar o aceptar la hipótesis nula, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de los grupos, para la comparación de las medias de las variables de salida obtenidas por las repeticiones de la experimentación. Para determinar si la variación de la luminosidad con respecto al tiempo tuvo un efecto significativo sobre las diferentes repeticiones aplicadas para cada uno de los tintes en estudio desde el punto de vista estadístico.

Para el ANOVA se utilizó un nivel de significancia de  $\alpha=0,05$ . El análisis de varianza lleva implícita la realización de pruebas de significación estadística, usando la denominada distribución F y a partir de esto se concluye si la probabilidad es menor al nivel de significancia se rechaza la hipótesis y en caso contrario se acepta la hipótesis.

Tabla III. Hoja de cálculo para el análisis de varianza

Fuente de variación	Suma de cuadrados SS	Grados de libertad G.L.	Cuadrados medios MS	Contraste de la hipótesis de medias iguales F
Entre grupos: tratamientos	$SS_A$	$k-1$	$MS_A = \frac{SS_A}{k-1}$	$\frac{MS_A}{MS_R}$
Dentro de grupos: error	$SS_E$	$(n-1)k$	$MS_E = \frac{SSE}{k(n-1)}$	
Total	$SS_T$	$kn-1$	$MS_T = \frac{SS_T}{kn-1}$	

Fuente: elaboración propia.



Si  $F > F_{\alpha(k-1,(n-1)k)}$  tabulada Entonces la hipótesis nula es rechazada.

Donde:

$SS_T =$

$$\sum_{i=1}^i \sum_{j=1}^{n_i} (Y_{ij} - \bar{Y})^2$$

$$SS_T = SS_A + SS_E$$

$SS_A =$

$$\sum_{i=1}^i n_i (\bar{Y}_i - \bar{Y})^2$$

$SS_E =$

$$\sum_{i=1}^i \sum_{j=1}^{n_i} (Y_{ij} - \bar{Y}_i)^2$$

Donde:

$Y_{ij}$  = resultado individual de la observación

$\bar{Y}$  = media de los resultados

$i$  = grupo al que pertenece

$j$  = número de observación

El análisis presenta el modelo de varianza de efectos fijos ya que se busca conocer el aumento o disminución de la media de las variables de respuesta, según los niveles de los factores y no el efecto sobre la variabilidad.

El modelo es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  = observación de la réplica a evaluar

$\mu$  = media global

$\alpha_i$  = constante

$\varepsilon_{ij}$  = término aleatorio

$i$  = grupo al que pertenece (1, ..., k)

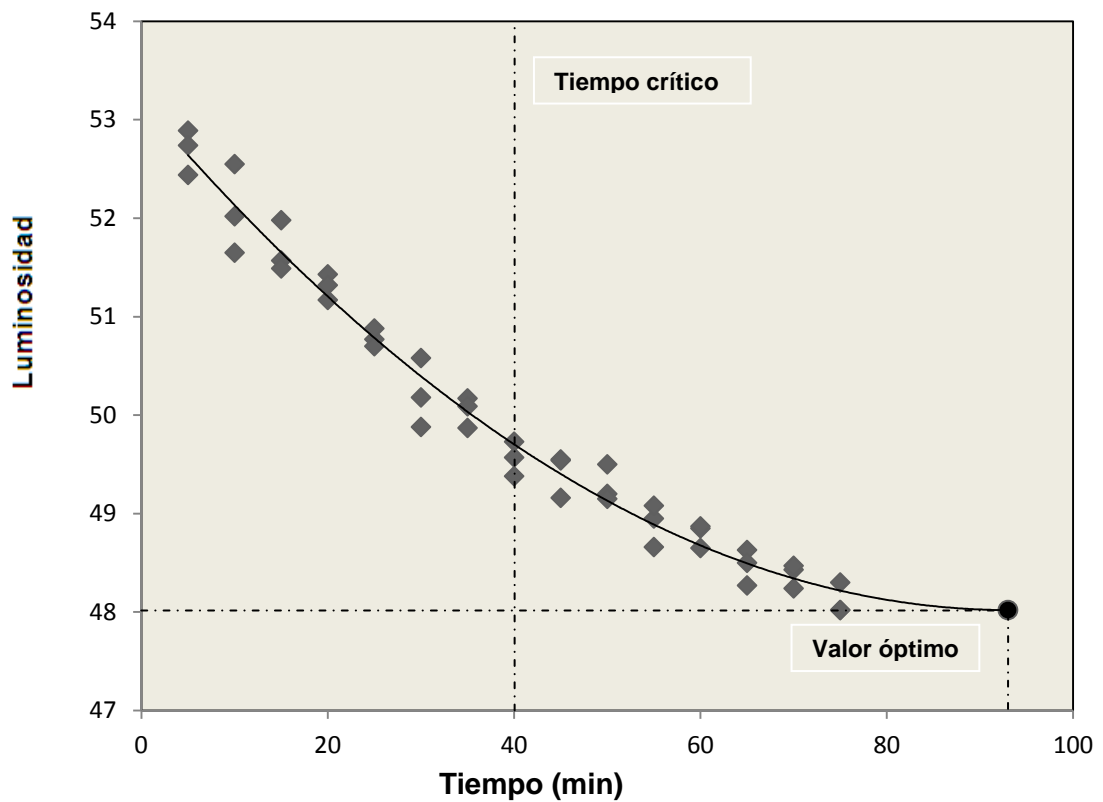
$j$  = número de observación (1, ..., n)



## 4. RESULTADOS

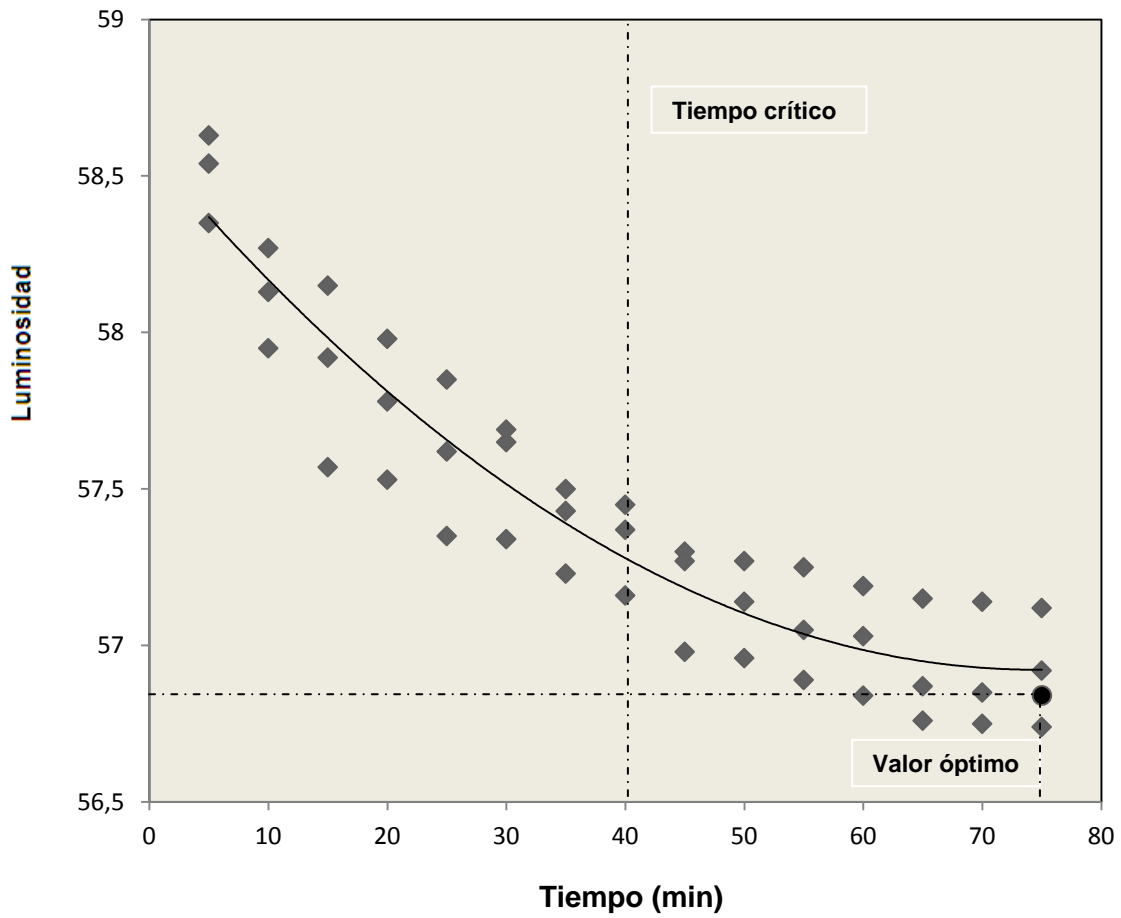
A continuación se presentan los resultados obtenidos de la metodología planteada para la determinación del tiempo de operación de cinco colorantes estudiados, siendo los colorantes a base de pigmento rojo PR 101, naranja PO 36, azul PB 15:2, café PBr 8 y negro PBk 7.

Figura 11. **Luminosidad del colorante a base de pigmento rojo PR 101, en función del tiempo de molienda**



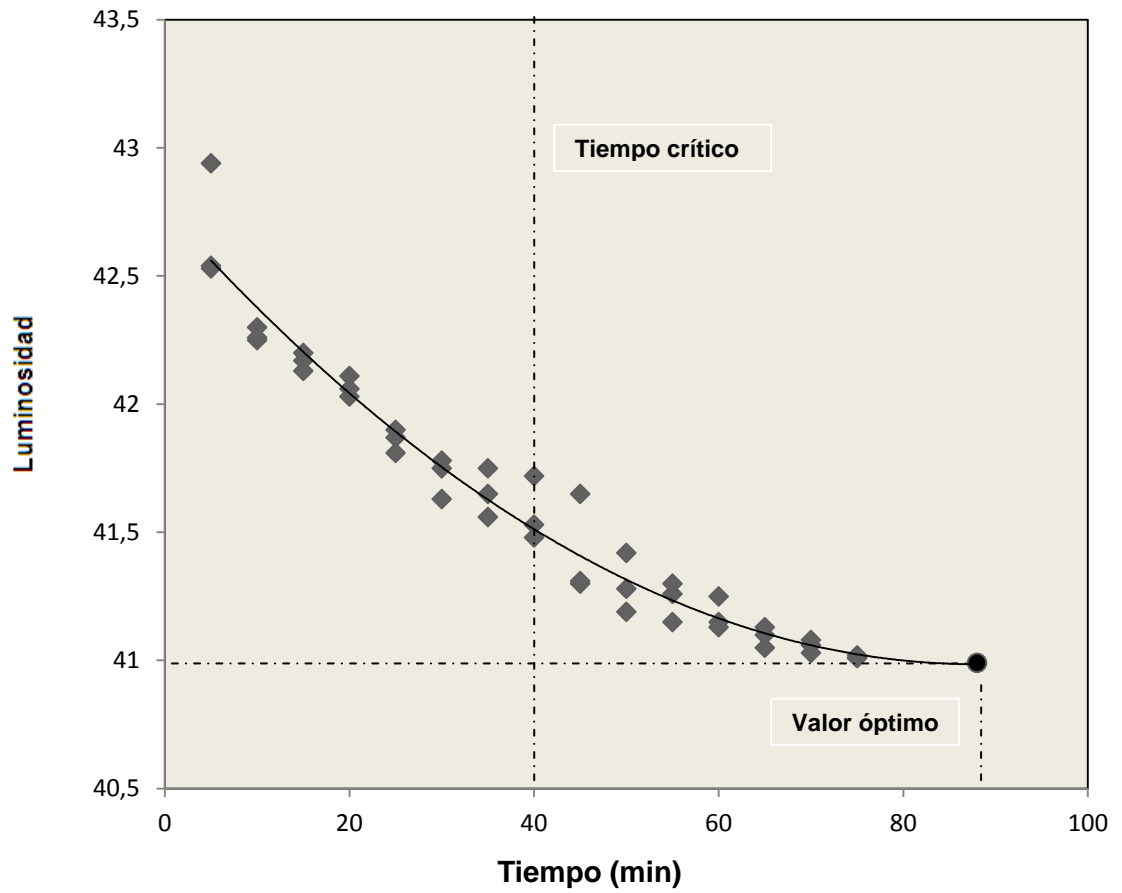
Fuente: elaboración propia.

Figura 12. Luminosidad del colorante a base de pigmento naranja PO 36, en función del tiempo de molienda



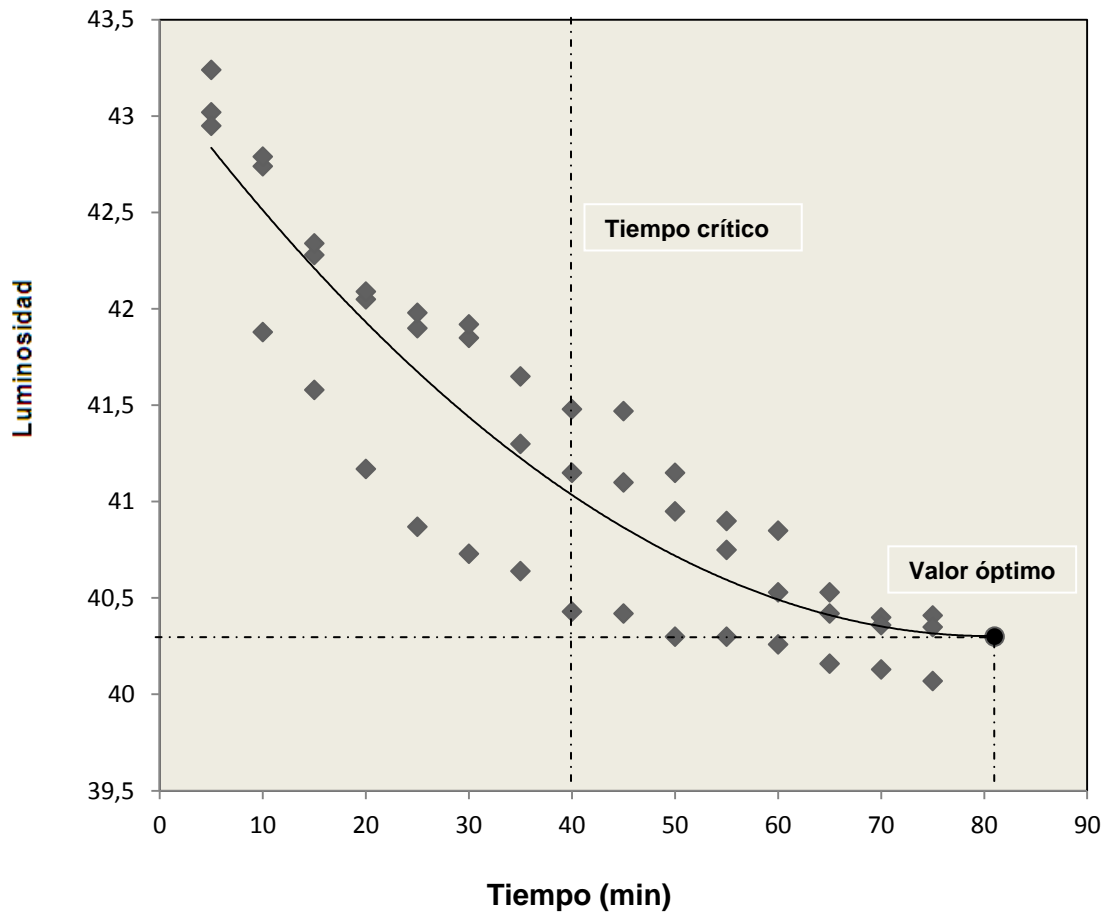
Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Luminosidad del colorante a base de pigmento azul PB 15:2, en función del tiempo de molienda**



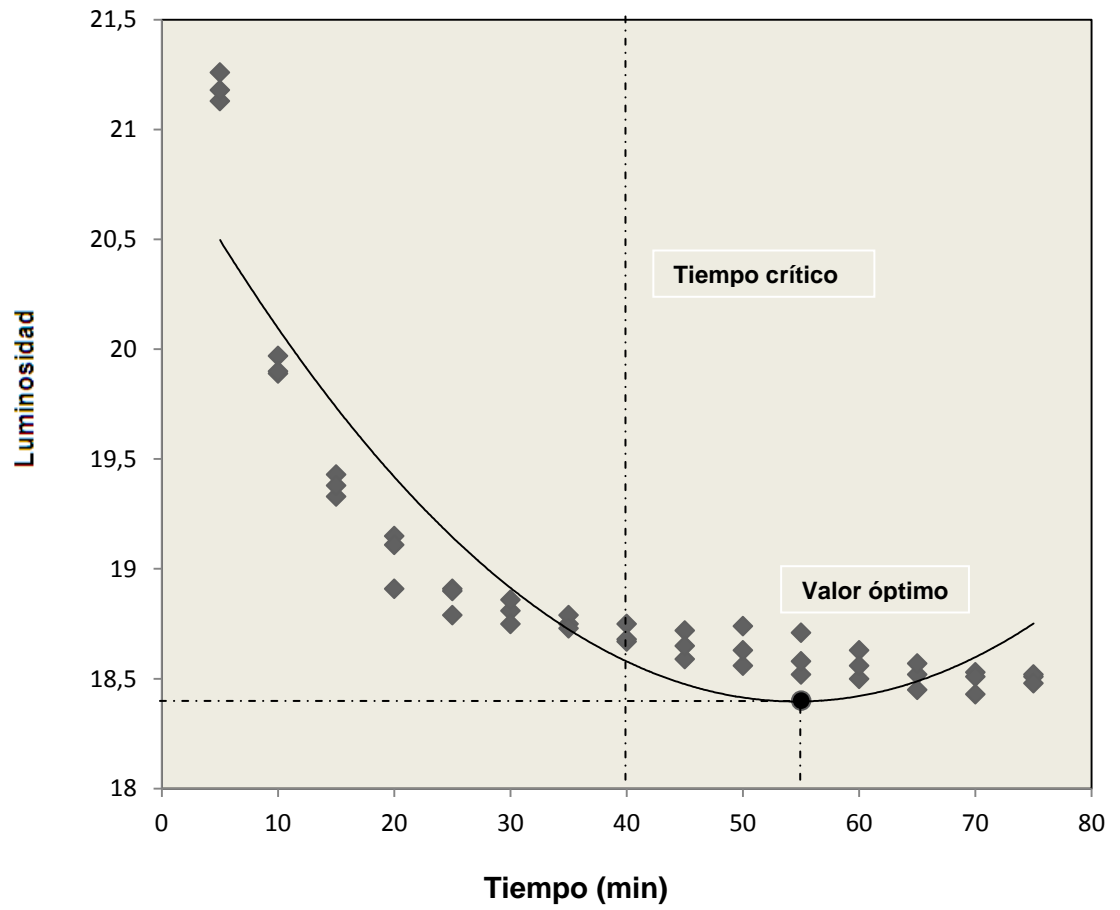
Fuente: elaboración propia.

Figura 14. **Luminosidad del colorante a base de pigmento café PBr 8, en función del tiempo de molienda**



Fuente: elaboración propia.

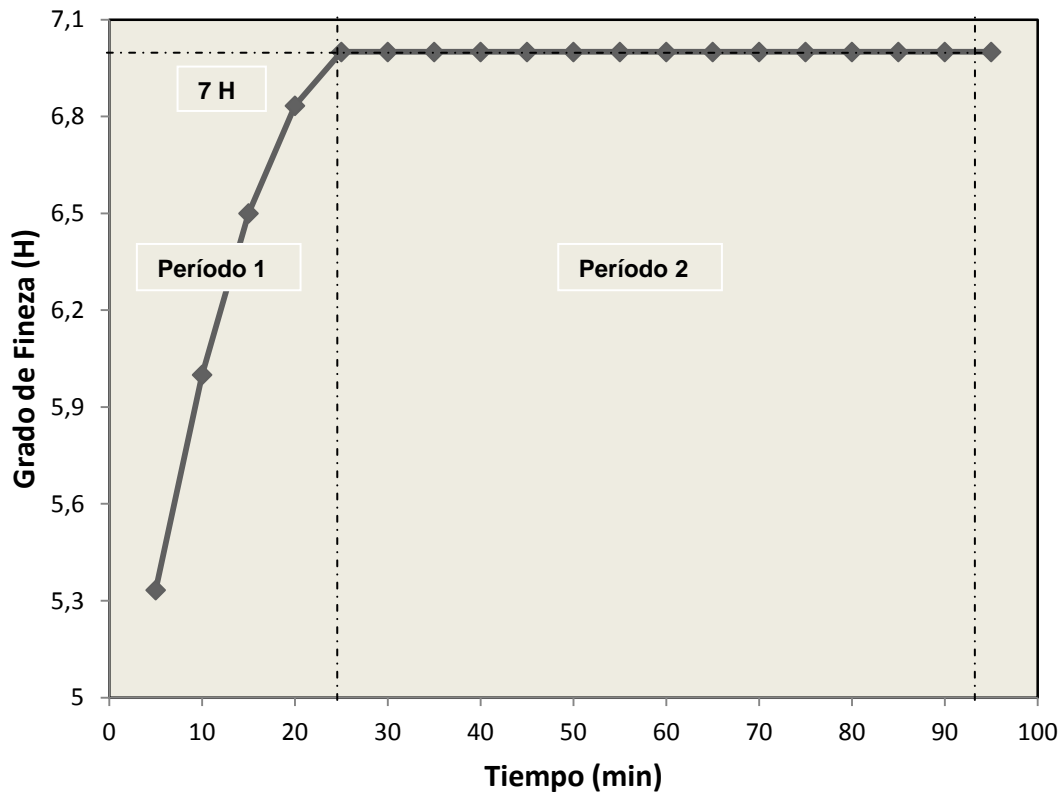
Figura 15. Luminosidad del colorante a base de pigmento negro PBk7, en función del tiempo de molienda



Fuente: elaboración propia.

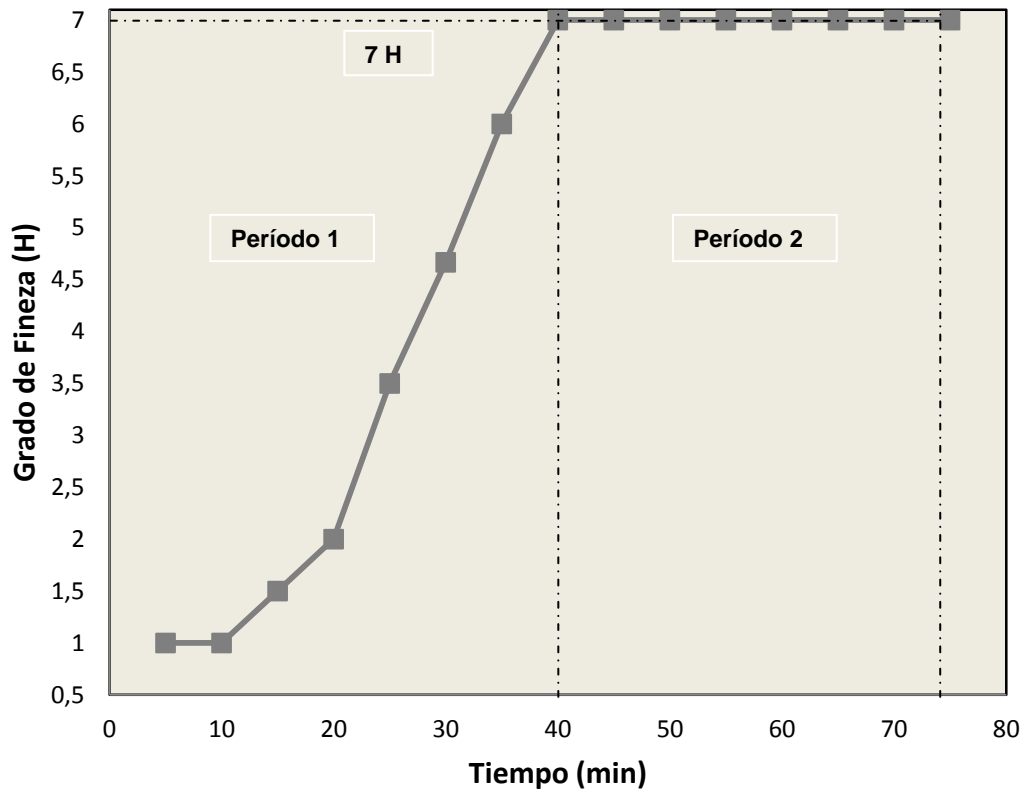


Figura 16. **Grado de fineza del colorante a base de pigmento rojo PR 101, en función del tiempo de molienda**



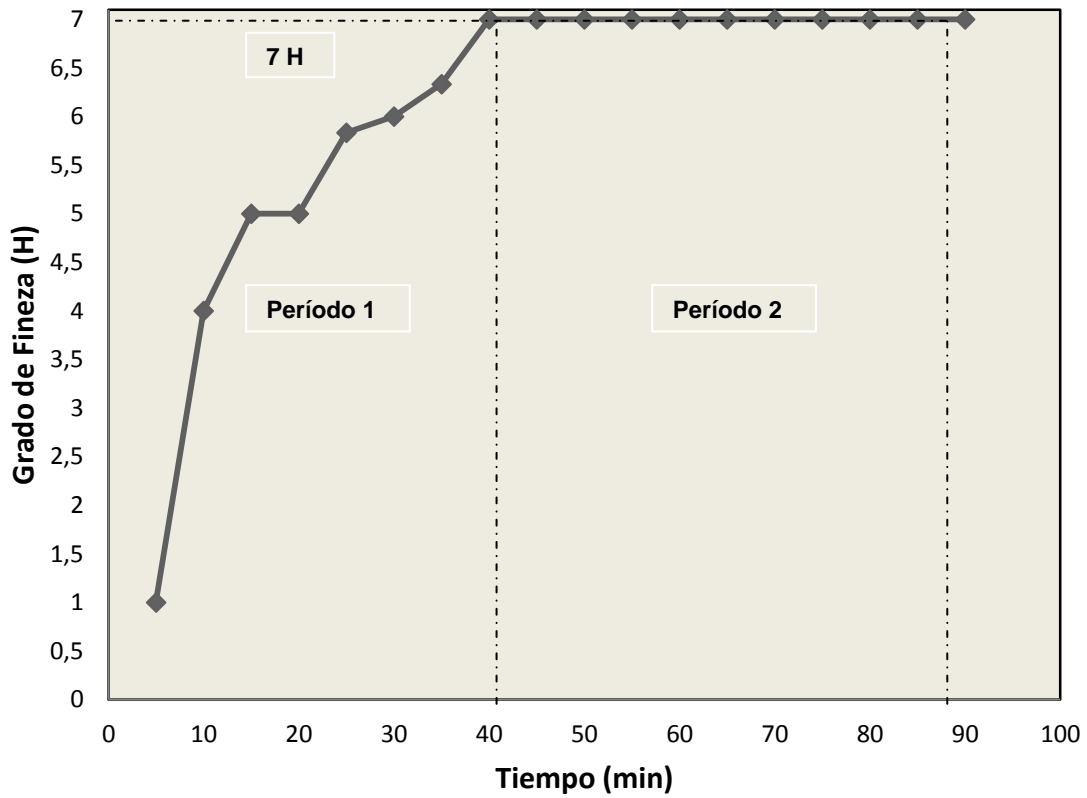
Fuente: elaboración propia.

Figura 17. **Grado de fineza del colorante a base de pigmento naranja PO 36, en función del tiempo de molienda**



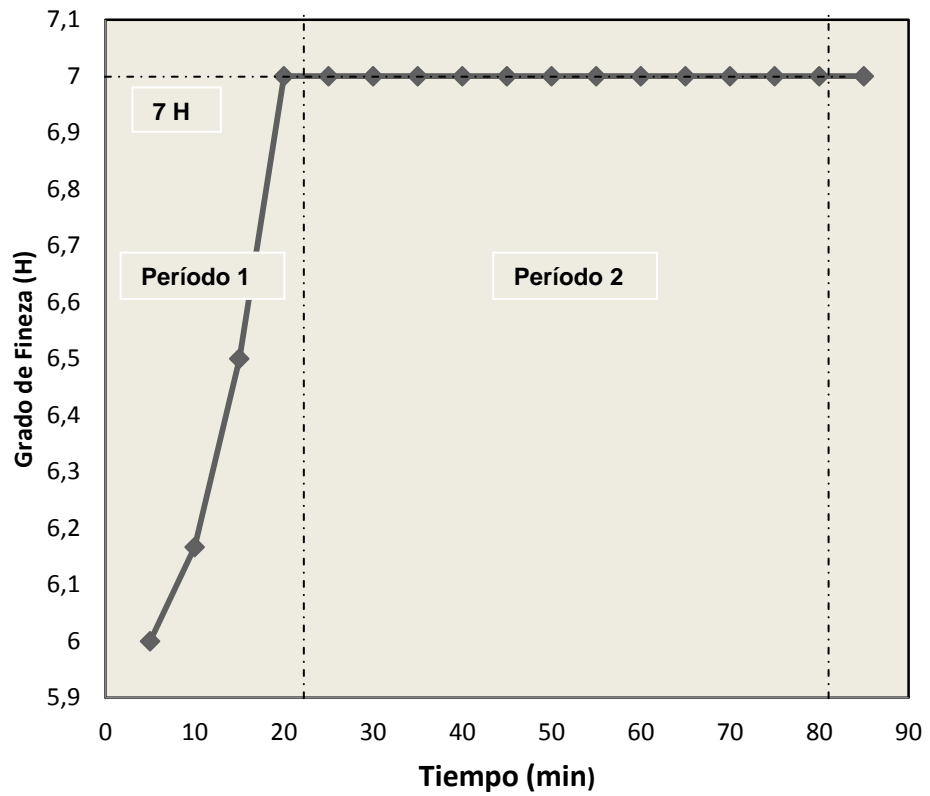
Fuente: elaboración propia.

Figura 18. **Grado de fineza del colorante a base de pigmento azul PB 15:2, en función del tiempo de molienda**



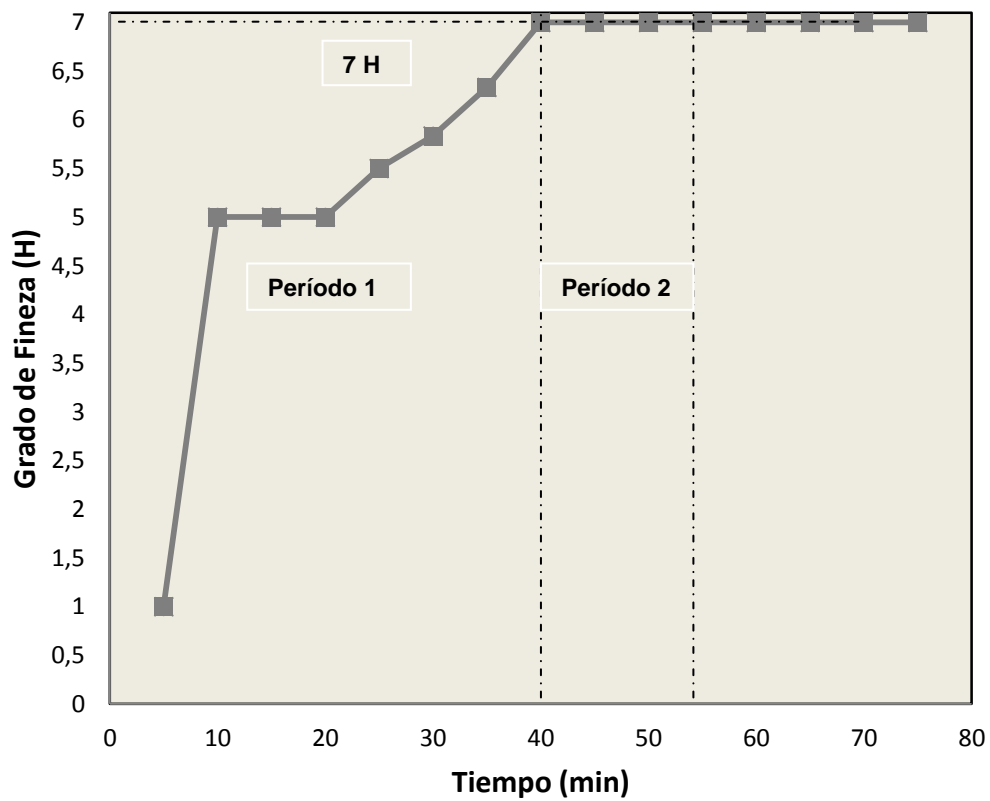
Fuente: elaboración propia.

Figura 19. **Grado de fineza del colorante a base de pigmento café PBr 8, en función del tiempo de molienda**



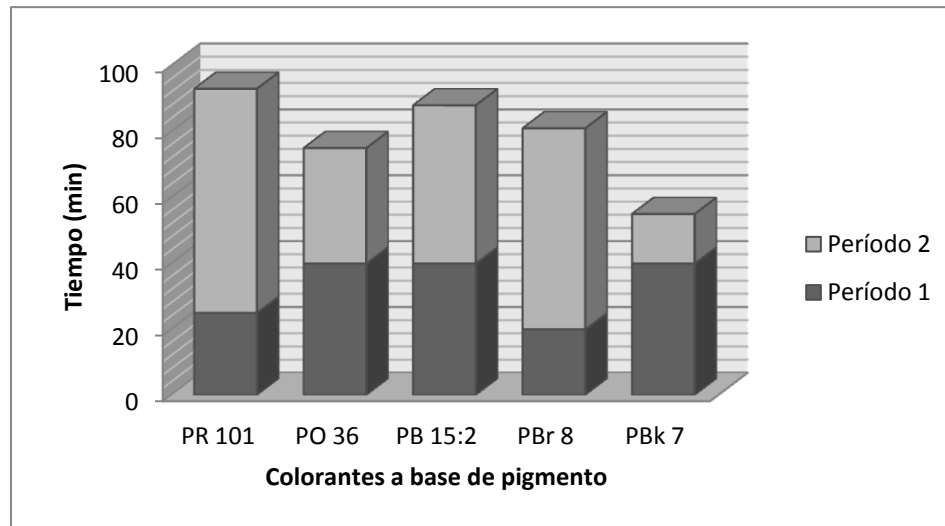
Fuente: elaboración propia.

Figura 20. **Grado de fineza del colorante a base de pigmento negro PBk7, en función del tiempo de molienda**



Fuente: elaboración propia.

Figura 21. **Gráfico de barras de tiempo para los cinco colorantes a base de pigmentos orgánicos e inorgánico**



Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Tiempos de operación y máxima luminosidad para cada uno de los colorantes a base de pigmentos orgánicos y negro de humo**

Variable	Modelo matemático	Coefficiente de correlación $R^2$	Tiempo de operación (minutos)	Luminosidad específica
PR 101	$L=0,0006t^2 - 0,1106t + 53,1794$	0,978	93	48,02
PO 36	$L=0,0003t^2 - 0,0446t + 58,5838$	0,879	75	56,92
PB 15:2	$L=0,0002t^2 - 0,0402t + 42,7552$	0,960	88	40,99
PBr 8	$L=0,0004t^2 - 0,0714t + 43,1813$	0,814	81	40,30
PBk 7	$L=0,0009t^2 - 0,0932t + 20,9412$	0,838	55	18,40

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **ANOVA. Probabilidades de las variables principales para los quince diferentes tiempos en estudio ( $\alpha = 0,05$ )**

<b>Variable</b>	<b>F</b>	<b>P</b>	<b>Ho</b>
PR 101	976,963	0,0000	Rechaza
PO 36	160,836	0,0000	Rechaza
PB 15:2	533,608	0,0000	Rechaza
PBr 8	97,226	0,0000	Rechaza
PBk 7	114,852	0,0000	Rechaza

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Tiempos de fineza, luminosidad y total para cada uno de los colorantes a base de pigmentos orgánicos y negro de humo**

<b>Colorante a base de pigmento</b>	<b>Tiempo de operación (minutos)</b>		
	<b>Período 1 (fineza)</b>	<b>Período 2 (luminosidad)</b>	<b>Total</b>
PR 101	25	68	93
PO 36	40	35	75
PB 15:2	40	48	88
PBr 8	20	61	81
PBk 7	40	15	55

Fuente: elaboración propia.

## 5. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

En el siguiente trabajo de graduación se realizó una metodología que permitió determinar el tiempo de operación de cinco diferentes colorantes en la industria de pinturas y recubrimientos, entre los cuales se encuentran, según el Color Index: el rojo PR 101, naranja PO 36, azul PB 15:2, café PBr 8 y negro PBk 7.

Para lo cual se realizaron tres repeticiones de experimentación a las mismas condiciones de trabajo para cada uno de los colorantes. Evaluando a cada uno la luminosidad por medio de la escala de color CIE ( $L^*a^*b^*$ ) y el grado de fineza.

Donde al analizar una muestra del colorante a base de pigmento orgánico o negro de humo por medio de la escala CIE ( $L^*a^*b^*$ ) el resultado usa valores para describir los atributos rojo/verde ( $a^*$ ), amarillo/azul ( $b^*$ ) y luminosidad ( $L$ ); para este estudio sólo se analizó la luminosidad.

Se tomaron quince muestras a diferentes tiempos de molienda, a los cuales se les aplicó un análisis de regresión de datos, para lo cual se obtuvo una regresión no lineal a cada uno de los colorantes a base de pigmentos orgánicos y negro de humo.

En la figura 11 se presenta el gráfico luminosidad del colorante a base del pigmento rojo PR 101, en función del tiempo con un modelo matemático polinomial de grado dos, ajustándose este a los datos obtenidos de la experimentación.



De la misma forma se presentan los gráficos en las figuras 12, 13 y 14 para los tintes a base de los pigmentos orgánicos PO 36, PB 15:2 y PBr 8 respectivamente. En los cuales se ajusta el modelo polinomial de grado dos según el análisis estadístico aplicado a cada una de las series de datos obtenidos de la experimentación para cada colorante estudiado.

En la figura 15 que corresponde al colorante PBk 7 negro de humo se determinó el mismo modelo matemático que para los colorantes a base de pigmentos orgánicos, polinomial de grado dos, para el cual se obtuvo un coeficiente de determinación de 0,838, tabla IV.

Se realizó un ANOVA a cada colorante en estudio, presentando el análisis valores de probabilidad  $P \leq \alpha$ , donde  $\alpha = 0,05$ , contenidos en la tabla V, rechazando la hipótesis nula planteada para todos los colorantes estudiados, de esta forma se determina que los coeficientes de regresión son diferentes de cero y los coeficientes de correlación son significativos para los modelos matemáticos planteados de cada tinte según el análisis estadístico.

Por lo tanto, después de realizar este análisis se puede decir que al rechazar la hipótesis se determina que se puede utilizar el modelo polinomial de grado dos para cada uno de los tintes a base de los pigmentos orgánicos y negro de humo, ya que las variables de luminosidad y tiempo ambas están correlacionadas entre sí y el punto crítico de cada tinte como se observa en las figuras 11, 12, 13, 14 y 15 según la hipótesis era de 40 min y al rechazarla se demuestra gráficamente que el tiempo de molienda para cada pigmento mayor al punto crítico.

En las figuras 16, 17, 18, 19 y 20 se observa el comportamiento del grado de fineza para los cinco diferentes tintes a base de pigmentos orgánicos y negro de humo en función del tiempo de molienda, en donde al aumentar el tiempo de molienda aumenta proporcionalmente el grado de fineza hasta llegar a su valor estable y aceptable 7 Hegman según la Norma ASTM D 1210.

“La escala Hegman es un método que permitió medir la fineza de la molienda específicamente en este estudio”<sup>1</sup>, la cual debe cumplirse hasta llegar a un valor de 7 Hegman donde es aceptado el colorante para usarse posteriormente en el proceso de elaboración de pinturas.

Figura 22. **Molienda del colorante a base de pigmento PR 101 a nivel industrial**



Fuente: Superbia, Grupo Solid, Escuintla.

<sup>1</sup> NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. Determinación de la finura de la dispersión en los sistemas pigmento-vehículo mediante calibradores tipo Hegman. [en línea] <http://es.scribd.com/doc/73032778/50088074-NTC557>. Consulta: 23 de enero de 2012.

Los pigmentos rojo PR 101 y café PBr 8 tienden a humectarse en el vehículo cuando pasa por la dispersora de alta velocidad, esto permite la desaglomeración de las partículas de pigmento previamente a la molienda de la pasta, al moler la pasta de los pigmentos rojo y café alcanzan el valor de 7 Hegman antes de los veinticinco minutos de molienda.

Figura 23. **Dispersión del pigmento el vehículo, en un dispersor de alta velocidad**



Fuente: Superbia, Grupo Solid, Escuintla.

Existen diferentes tiempos de alcance a la fineza óptima de 7H para cada uno de los colorantes, esto es debido a la diferente friabilidad de los pigmentos lo que hace que el tiempo sea más corto o más prolongado pero que es también propio del equipo que se usa para la molienda de manera que como resultado de este estudio dos de estos pigmentos alcanzan la fineza óptima más tempranamente (<40 min), período que se llamará fase 1 de fineza.

En cuanto a los otros pigmentos estudiados su tiempo de fineza o de período 1 están en el límite de la especificación del equipo, el cual es 40 minutos con lo cual la fineza óptima para ellos coincide con ese tiempo de molienda del equipo.

Para el alcance de la luminosidad o poder tintóreo del equipo de molienda requiere tiempo posterior al de la fineza óptima, un tiempo adicional en el cual se logra la homogenización de la dispersión coloidal adecuada que se denominará tiempo de luminosidad óptima o período 2, en este caso este período consiste en que la operación de molienda por parte de las perlas ya dejó de ser ejecutado y entra la operatoria en una fase de homogenización de esta dispersión coloidal que es la combinación óptima de la fase dispersante (vehículo) y la fase dispersa (pigmento), este período entonces llega a ser el objetivo del estudio y resulta del tiempo total reportado de luminosidad óptima, más el período 1 de fineza y el cual se refiere en la tabla VI.

Con base en lo anterior se determinó el tiempo de molienda y el valor del poder tintóreo de los colorantes a base de pigmentos orgánicos y negro de humo, como se indica en la tabla IV.

Con el ANOVA se rechazó la hipótesis nula ya que el tiempo de operación en un molino de perlas horizontal a nivel industrial es mayor a 40 minutos para los colorantes rojo PR 101, naranja PO 36, café PBr 8, azul PB 15:2 y negro de humo PBk 7 como se observa en la figura 21, siendo 93, 75, 88, 81 y 55 minutos respectivamente.



## CONCLUSIONES

1. El comportamiento de la luminosidad de los colorantes a base de los pigmentos rojo PR 101, café PBr 8, naranja PO 36 y azul PB 15:2 es inversamente proporcional al tiempo de molienda, en un molino de perlas horizontal a nivel industrial.
2. Los colorantes estudiados alcanzaron la luminosidad en la escala de color CIE ( $L^*a^*b$ ) a un tiempo mayor de los cuarenta minutos.
3. La luminosidad en función del parámetro tiempo para los cinco colorantes evaluados, se ajustaron a un modelo matemático polinomial de grado dos.
4. El tiempo para alcanzar la fineza óptima de 7 Hegman de los colorantes fue menor de cuarenta minutos para el rojo PR 101 y café PBr 8, mientras que para el naranja PO 36, azul PB 15:2 y negro PBk 7 se alcanzó a los cuarenta minutos de molienda.
5. La hipótesis nula fue rechazada con base al ANOVA calculado en donde el tiempo de operación necesario para los colorantes evaluados es mayor a cuarenta minutos para alcanzar el máximo poder tintóreo.
6. La luminosidad óptima superó los cuarenta minutos estimados de la hipótesis nula, para los cinco colorantes estudiados.

7. El tiempo de operación necesario para alcanzar el máximo poder tintóreo en los colorantes a base de los pigmentos evaluados se calcula mediante la diferencia del tiempo total de operación entre el tiempo óptimo de fineza.

## RECOMENDACIONES

1. Para este estudio se llamó tiempo de molienda al tiempo de homogenización y desaglomeración de las partículas de pigmento en el vehículo en un molino de perlas horizontal a nivel industrial.
2. Con base a este estudio se puede realizar un estudio de variaciones de velocidad del molino de perlas horizontal, para observar el cambio que genera en las variables estudiadas.
3. Comparar los tres molinos utilizados en la planta, molino de bolas, molino de perlas horizontal y molino de perlas vertical para la elaboración de molienda de colorantes a base de pigmentos orgánicos e inorgánicos.
4. Con la misma metodología planteada en este trabajo de graduación, realizar un estudio de otros pigmentos utilizados en la industria de pinturas y recubrimientos.





## BIBLIOGRAFÍA

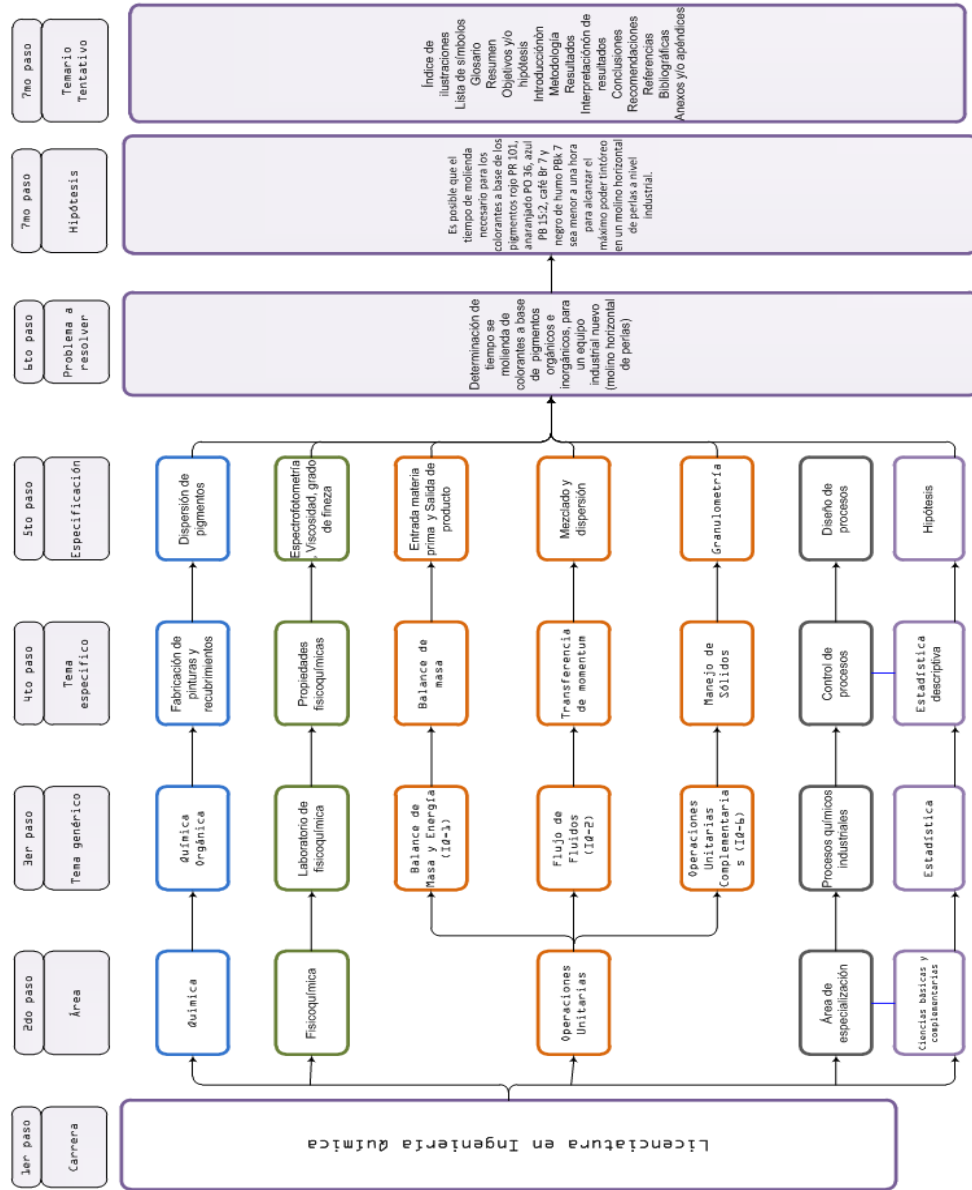
1. BERNABÉ PELLICER, Sergio Manuel. *Pinturas en la edificación*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Colombia: Universidad Politécnica de Cartagena, Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Civil, 2009. 278 p.
2. EDUTECNE. *Manufactura de pinturas*. [en línea] [http://www.edutecne.utn.edu.ar/tecn\\_pinturas/tecn\\_pinturas.html](http://www.edutecne.utn.edu.ar/tecn_pinturas/tecn_pinturas.html). [Consulta: 3 de mayo de 2011].
3. GIUDICE, Carlos A.; PEREYRA, Andrea M. *Tecnología de pinturas y recubrimientos, componentes, formulación, manufactura y control de calidad*. Argentina: Editorial de la Universidad de Tecnología Nacional de Argentina, 2009. 242 p.
4. HARE CLIVE, H. *Protective coatings fundamentals of chemistry and composition*. 4a ed. Pittsburg: Technology Publishing Company Books, 2004. 625 p.
5. HERBST, W.; HUNGER, K. *Industrial organic pigments*. 3a ed. Germany: WILEY-VCH Verlag GmbH, 2004. 660 p.

6. NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. *Determinación de la finura de la dispersión en los sistemas pigmento - vehículo mediante calibradores tipo Hegman*. [en línea] <http://es.scribd.com/doc/73032778/50088074-NTC557>. [Consulta: 23 de enero de 2012].
7. SCARBOROUGH, Walter. *Handbook of architectural coatings*. Germany: Technology Publishing Company, 2009. 237 p.
8. TALBERT, Roger. *Paint technology handbook*. Germany: Taylor & Francis Group, 2008. 349 p.
9. X Rite. *Guía para entender la comunicación del color*. [en línea] <http://www.monografias.com/trabajos-pdf4/comunicacion-del-color-artes-graficas/comunicacion-del-color-artes-graficas.pdf>. [Consulta: 23 de junio de 2011].

## **APÉNDICES**

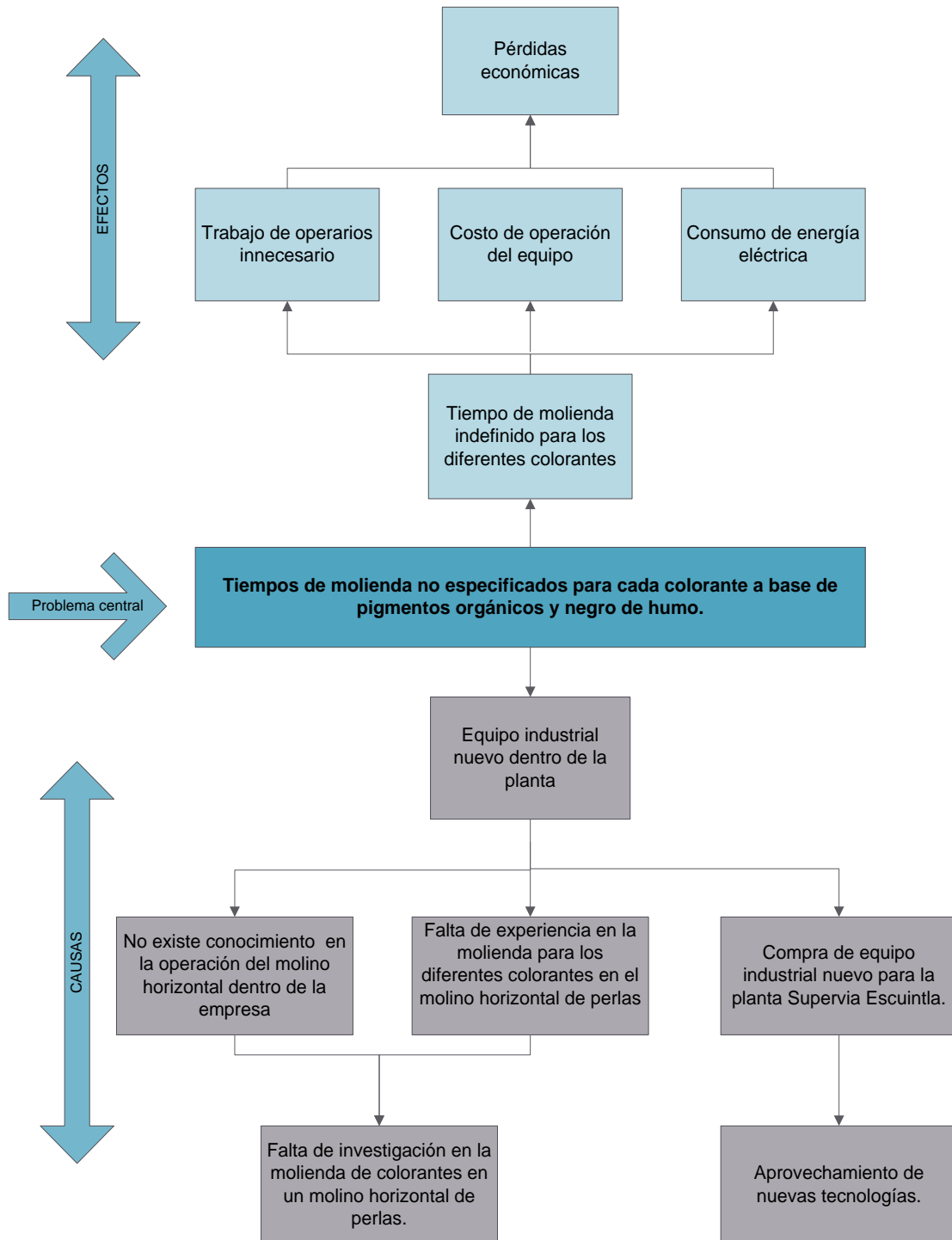


# Apéndice 1. Tabla de requisitos académicos



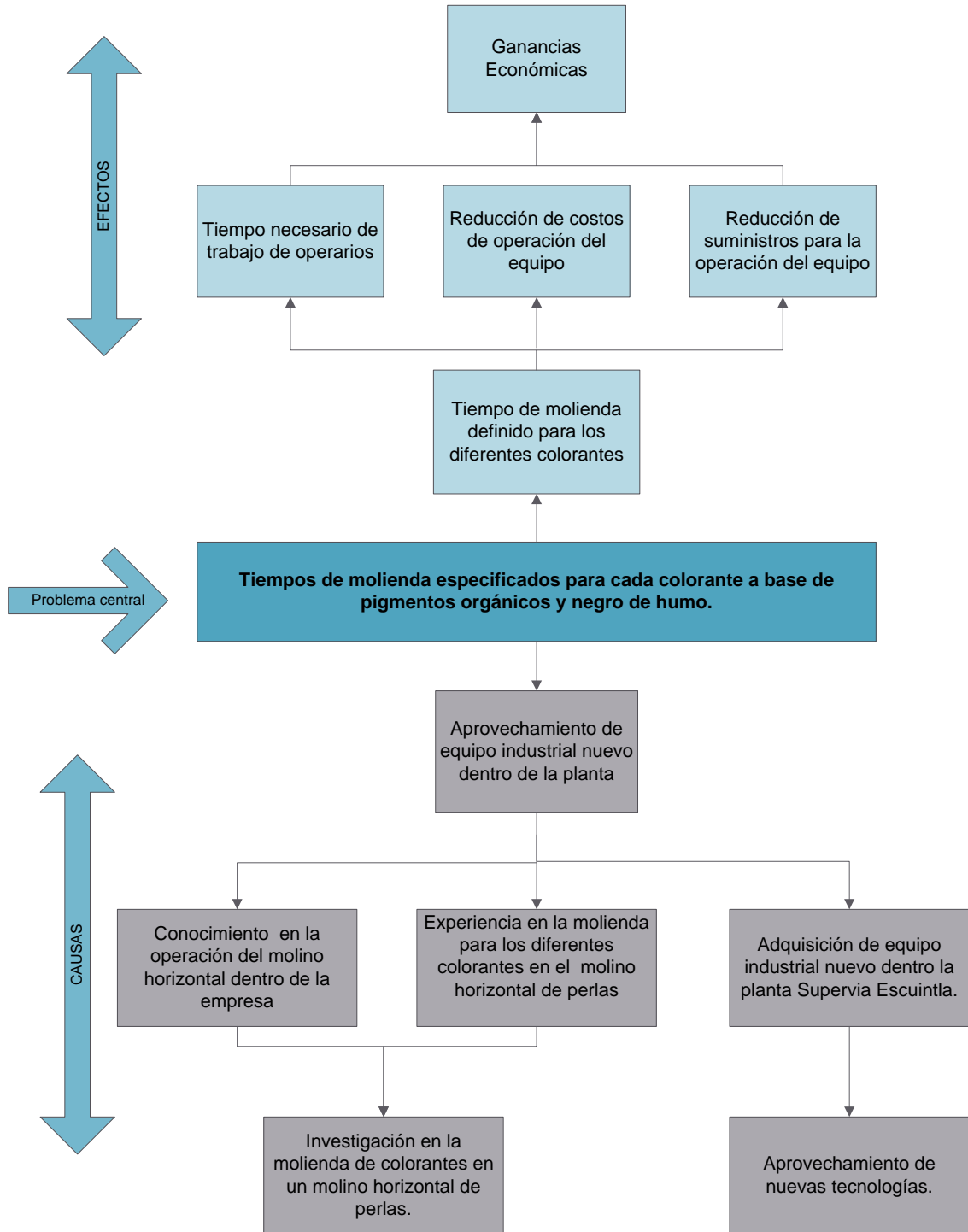
Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 2. **Árbol de problemas negativo**



Fuente: elaboración propia.

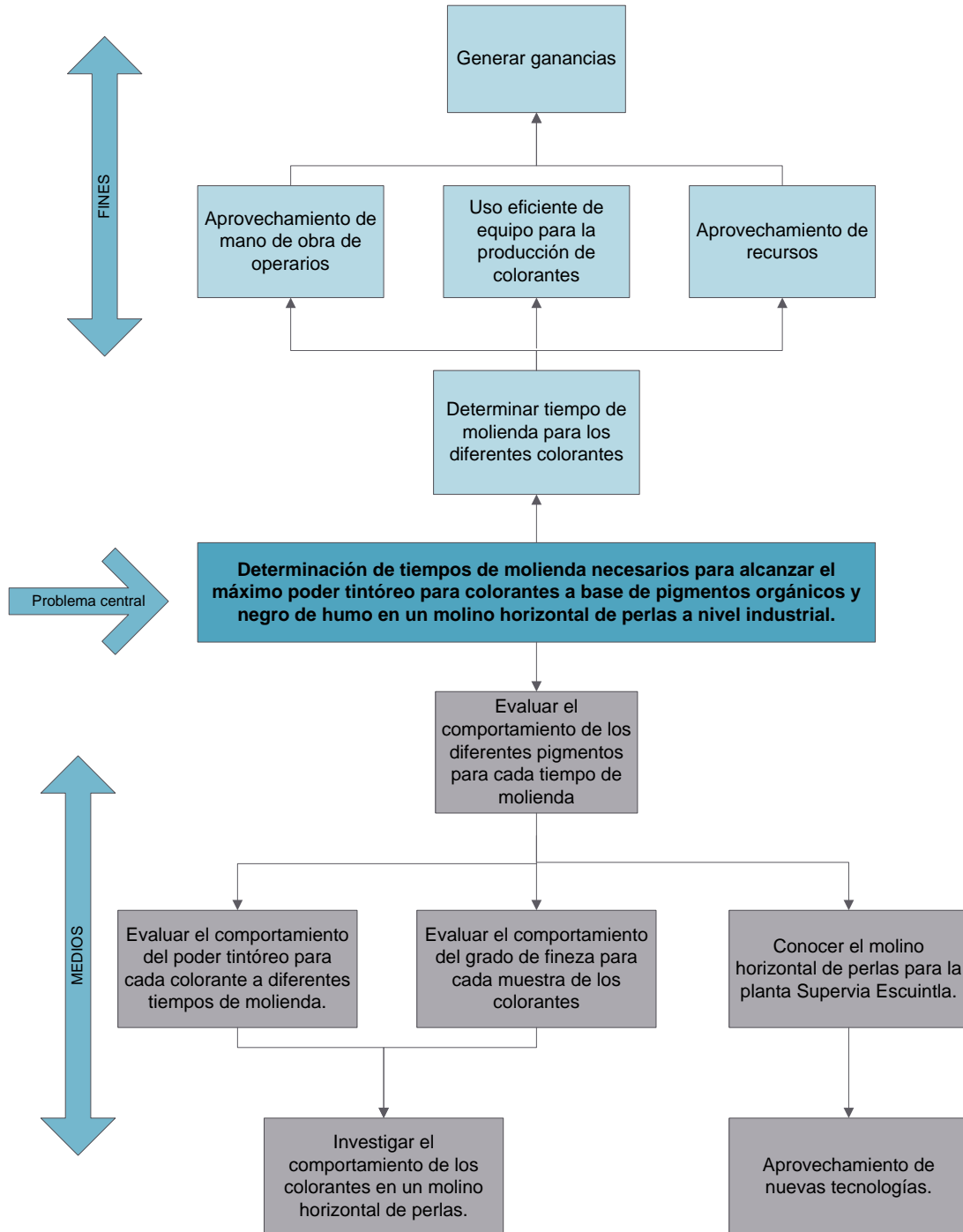
### Apéndice 3. **Árbol de problemas positivo**



Fuente: elaboración propia.



## Apéndice 4. **Árbol de objetivos**



Fuente: elaboración propia.

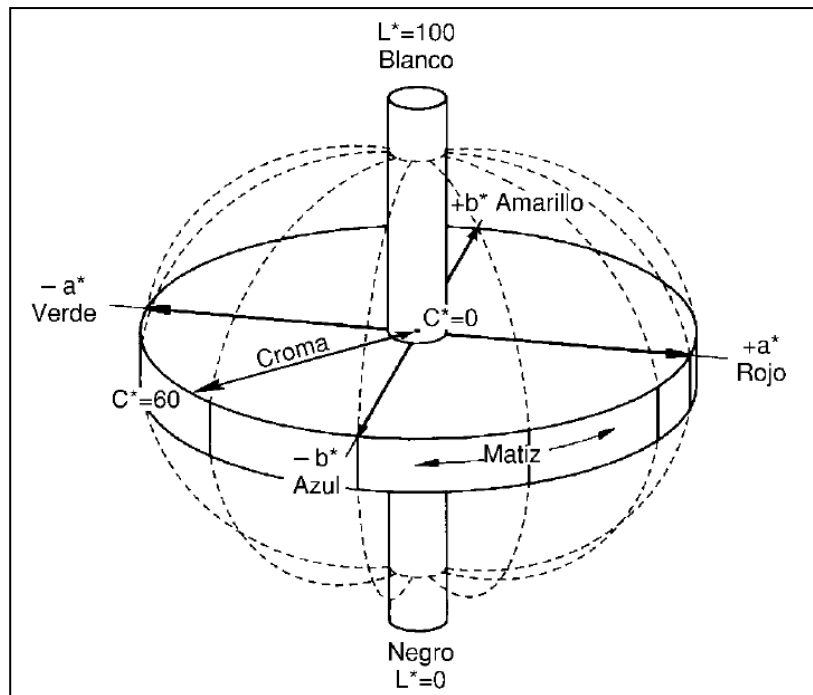
## **ANEXOS**



## Anexo 1. Sistema CIE ( $L^*a^*b^*$ )

Es una escala de color que se basa en la teoría de los colores opuestos que establece que un color no puede ser verde y rojo al mismo tiempo. Como resultado se pueden usar valores sencillos para describir los atributos rojo/verde y amarillo/azul.

A continuación se da una representación del sistema CIE( $L^*a^*b^*$ ) en un diagrama de tres dimensiones del valor de  $L^*$  luminosidad se presenta en el eje central. Los ejes  $a^*$  valor rojo/verde y  $b^*$  valor amarillo/azul aparecen sobre el plano horizontal.



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos-pdf4/comunicacion-del-color-artes-graficas/comunicacion-del-color-artes-graficas.pdf>. Consulta: 23 de enero de 2012.

Anexo 2. **Determinación de la finura de la dispersión en los sistemas pigmento vehículo mediante calibradores Hegman según norma ASTM D 1012**

- Se toma una muestra del producto.
- El producto se esparce mediante una pala de raspado en una línea pista en descendente maquinada.
- En un punto de esta pista se hacen visibles las partículas o aglomerados, o ambos.
- Se hace una lectura directa de la escala graduada en el punto en que las partículas forman un patrón definido.

A continuación se presenta la tabla de comparación de diferentes escalas de la Norma ASTM D 1210

Escala Hegman <sup>A</sup>	Profundidad, $\mu\text{m}$ <sup>B</sup>	Profundidad, mils <sup>B</sup>	Escala PC o FSPT <sup>C</sup>	Escala NPIRI <sup>D</sup>
0	100	4	0	40
1	90	3,5	1 1/4	35
2	75	3	2 1/2	30
3	65	2,5	3 3/4	25
4	50	2	5	20
5	40	1,5	6 1/4	15
6	25	1	7 1/2	10
7	15	0,5	8 3/4	5
8	0	0	10	0

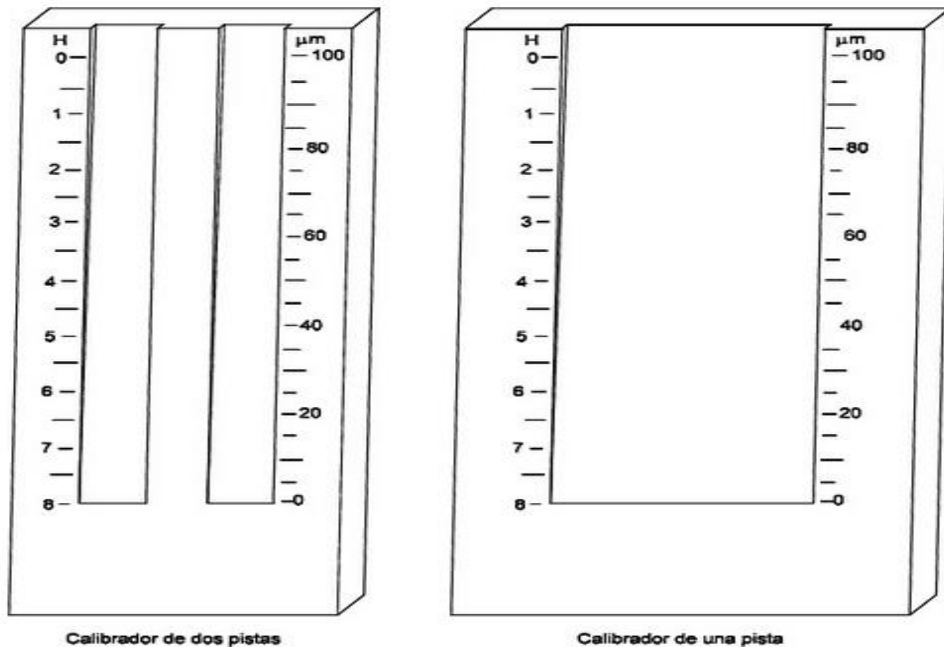
- A. A veces se denomina como Escala North Standard.
- B. Aproximada a  $5\mu\text{m}$  o 0,5 mils.
- C. Escala de la Federación de sociedades para la tecnología de pinturas.
- D. Escala del National Printing Ink Research Institute, 0 a 10 en la escala de NPIRI Production Grindometre pero extendida en muchas otras a 20 ó 30 (véase la Norma ASTM D 1316).

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/73032778/50088074-NTC557>. Consulta: 23 de enero de 2012.

Continuación del anexo 2.

A continuación se presentan dos calibradores finura tipo Hegman de dos pistas y de una pista que deben ser de bloque de acero endurecido, inoxidable o cromado, con una longitud de 170 milímetros (6,7 pulgadas) aproximadamente y 15 milímetros (0,6 pulgadas) de espesor. Se corta una pista, con 25 milímetros (1 pulgada) de ancho a lo largo y en el centro de un bloque de 65 milímetros (2,5 pulgadas) de ancho.

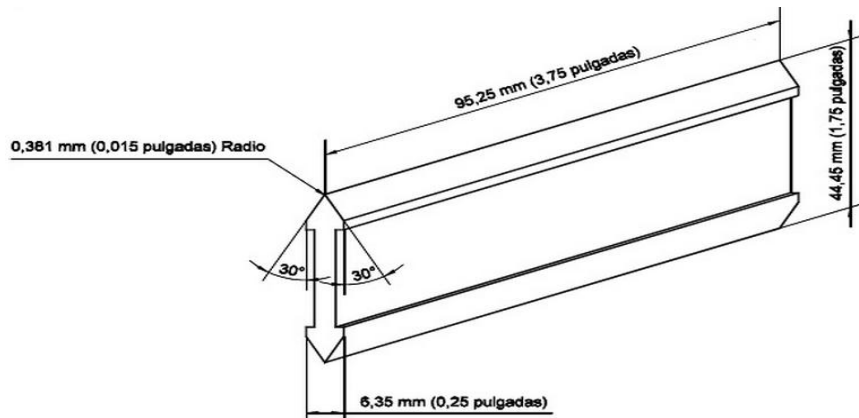
La pista se corta a dos profundidades diferentes, cada una en la mitad de su longitud. Las dos profundidades deben ser de 76 micrómetros (3 mils) y 25 micrómetros (1 mils), o lo que acuerden el comprador y el vendedor. Debe haber dos marcas, una arriba y otra abajo del escalón y a 25 milímetros (1 pulgada) de éste según Norma ASTM D 1210:



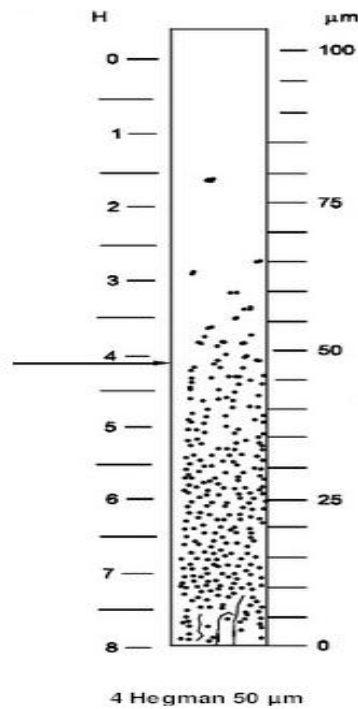
Fuente: <http://es.scribd.com/doc/73032778/50088074-NTC557>. Consulta: 23 de enero de 2012.

Continuación del anexo 2.

La espátula debe ser cuchilla de acero endurecido, de doble filo, acero inoxidable o cromado, con una longitud de 40 milímetros (1,5 pulgadas) y un espesor de 6,4 milímetros (0,25 pulgadas). Los dos bordes laterales deben estar redondeados a un radio de 0,38 milímetros (0,015 pulgadas)



Ejemplo de medición de la finura según la Norma ASTM D 1212 de una muestra para la cual se observa que tiene un valor de 4 Hegman o 50 micrómetros.



Fuente: <http://es.scribd.com/doc/73032778/50088074-NTC557>. Consulta: 23 de enero de 2012.