



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**PROGRAMA DE MAESTRIA Y DOCTORADO EN  
INGENIERIA**

FACULTAD DE QUIMICA

**“DEFINICIÓN DE MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN  
PARA LA SUSTITUCIÓN DE MATERIAS  
PRIMAS EN RECUBRIMIENTOS BASE AGUA  
INTERIORES Y EXTERIORES DE EDIFICIOS”**

**T E S I S**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRO EN INGENIERIA**

INGENIERIA DE SISTEMAS  
INGENIERIA Y ADMINISTRACION DE PROYECTOS

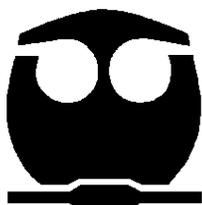
P R E S E N T A:

**GENARO GALVAN VARGAS**

TUTOR:

**M. en C. LETICIA LOZANO RIOS**

2008





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: M. en E. García Del Río Helio Humberto

Secretario: M. en A. Báez Ramos Fernando

Vocal: M. en C. Lozano Ríos Leticia

1<sup>er</sup>. Suplente: M. en C. Duran Preciado Alfonso

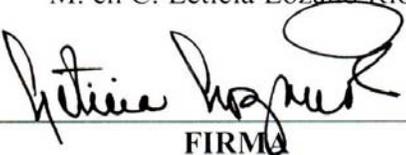
2<sup>do</sup>. Suplente: M. en C. Aguilar González Jorge Luís

Lugar o lugares donde se realizó la tesis:

-COMEX S. A. de C. V. Estado de México

**TUTOR DE TESIS:**

M. en C. Leticia Lozano Ríos

  
FIRMA

**A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

*Por habernos dado la oportunidad de ingresar a sus aulas donde se forman los grandes profesionistas.*

**A LA FACULTAD DE QUÍMICA**

*Por darnos la oportunidad de adquirir los conocimientos y herramientas de la ingeniería química.*

**A LA M. en C. LETICIA LOZANO RÍOS**

*Por haberme orientado en el conocimiento y brindarme su apoyo, paciencia y confianza para realizar este proyecto.*

**A TODOS MIS PROFESORES**

*Por forjarnos como personas valiosas, brindándonos el apoyo y sabiduría en el largo camino que ha concluido..*

**AGRADEZCO A MIS PADRES**

*Por darme todo lo que esta a su alcance y por dedicar su vida al bienestar mío y de mis, hermanos porque sin su apoyo yo no seria lo que soy ahora*

**A COMEX S.A de C.V.**

*Gracias por facilitarme los medios para la realización de esta tesis y por el apoyo de mis compañeros, que sin sus ideas no habría terminado este proyecto.*

# ÍNDICE

## PÁGINA

INTRODUCCIÓN.....	1
HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....	2
CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	
1.1. Definición de una pintura.....	4
1.2. Composición de una pintura.....	4
1.3. Clasificación de materia prima y/o aditivos.....	5
1.3.1. Aditivos.....	5
1.3.2. Pigmentos.....	6
1.3.3. Pigmentos extendedores.....	7
1.3.4. Pigmentos de dióxido de titanio.....	13
1.3.4.1. Teoría óptica.....	14
1.3.5. Disolventes y adelgazadores.....	21
1.3.6. Solventes.....	21
1.3.7. Emulsiones.....	22
1.3.8. Resinas.....	23
CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE EN LA FORMULACIÓN DE PINTURAS BASE AGUA.	
2.1. Orígenes de la formulación de pinturas.....	25
2.2. Principios de formulación.....	26
2.3. ¿Qué es PVC (Concentración de Pigmento en Volumen)?.....	30
2.4. Determinación de CPVC.....	42
2.5. Propiedades de la película y el CPVC.....	48
2.6. Factores que controlan el CPVC.....	54
CAPÍTULO 3. ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DEL MERCADO DE PINTURAS ARQUITECTÓNICAS.	
3.1. Principales empresas de recubrimientos en el mundo ....	58
3.2. Mercado mundial de pinturas arquitectónicas.....	60
3.3. Mercado nacional de pinturas.....	61
3.4. División del mercado nacional de pinturas arquitectónicas.....	63
3.5. Crecimiento de las empresas mexicanas de pinturas.....	65

## CAPÍTULO 4. MÉTODOS EXPERIMENTALES CONSISTENTES Y CONFIABLES EN LA DETERMINACIÓN DEL INDICE DE (CONCENTRACIÓN DE PIGMENTO EN VOLUMEN CRÍTICO) CPVC.

4.1. Métodos experimentales para determinar el CPVC.....	68
4.1.1. Resistencia eléctrica.....	69
4.1.2. Relación de contraste (opacidad).....	70
4.1.3. Índice de blancura (WI).....	70
4.1.4. Brillo.....	71
4.1.5. Resistencia a la abrasión.....	72
4.1.6. Porosidad de la película.....	72
4.2. Cálculos de determinación del CPVC teórico .....	73

## CAPÍTULO 5. CASO DE ESTUDIO

5.1. Definición del alcance.....	77
5.2. Programa de actividades y curva de avance.....	79
5.3. Materiales y equipos utilizados para el desarrollo de la experimentación.....	81
5.4. Procedimiento de fabricación de pinturas a nivel laboratorio.....	81
5.5. Procedimiento general de evaluación de materia prima....	84
5.6. Aplicación de métodos experimentales para determinar el CPVC.....	86
5.6.1. Método de la resistencia eléctrica.....	87
5.6.2. Método de la relación de contraste (opacidad).....	87
5.6.3. Método del índice de blancura (WI).....	88
5.6.4. Método de brillo.....	89
5.6.5. Método de la resistencia a la abrasión.....	90
5.6.6. Método de la porosidad de la película.....	90

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS DEL CASO DE ESTUDIO..... 92

CONCLUSIONES..... 95

GLOSARIO..... 98

ANEXO A..... 101

BIBLIOGRAFÍA.....104

FORMULAS DE PINTURAS EVALUADAS

# INTRODUCCIÓN

A medida que el mundo avanza en el siglo XXI, las condiciones de los mercados en los distintos continentes se ven inmersos en constantes cambios, resultado de los diferentes tratados que se llevan a cabo entre los países del primer mundo, con otros que les resultan de interés para aumentar su potencial de expansión comercial y económica.

La nueva economía mundial y de los negocios se caracterizan por la era de la información, del conocimiento, del cambio continuo, rápido e incierto y de la globalización de los mercados, con este término se denota que cada nación debe encontrar su propia forma de acercarse a sus vecinos territoriales y de esta manera poder estrechar lazos comerciales, culturales, sociales económicos, entre otros. Estos impulsores de la economía y los negocios han dado lugar a la competencia global en los mercados internacionales y nacionales, en que los países han tenido que abrir su economía y defender sus mercados.

El propio concepto de ventaja competitiva ha evolucionado a un nuevo concepto basado en la capacidad y la velocidad de la empresa para aprender e innovar productos y procesos con mayor rapidez que la competencia internacional; ya que las industrias que ocupan el lugar central como productoras de riqueza, son las que producen y administran conocimiento (creación y administración de conocimiento – innovación continua – ventaja competitiva) de ahí la importancia de la administración del conocimiento y calidad en las empresas.

El valor de la mayoría de los productos y de los servicios depende sobre todo de la forma en que se desarrollan los elementos intangibles que se basan en el conocimiento, como el diseño de productos, la forma de introducirlos al mercado, la comprensión del cliente, la creatividad personal y la innovación.

La ingeniería química hoy en día cuenta con una gran versatilidad en el ámbito profesional que la distinguen favorablemente del resto de las ingenierías actualmente impartidas en las universidades del mundo, ya que la formación que se recibe en ellas, además de contar con elementos científicos y técnicos competitivos, también contempla los efectos y repercusiones que se tendrían en el entorno derivadas del ejercicio operativo de las decisiones tomadas.

# HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

En la actualidad los formuladores de recubrimientos arquitectónicos presentan desviaciones en las propiedades finales de la pintura con respecto a las esperadas, lo que resulta realizar varias reformulaciones para obtener las propiedades deseadas, esto es igual a **más tiempo, más recursos (materiales y humanos) y mayor esfuerzo** que resta competitividad a la empresa, por ejemplo: en el lanzamiento de nuevos productos.

El presente estudio pretende aportar una nueva manera de calcular el índice de Concentración de Pigmento en Volumen Crítico (CPVC) reemplazando el método teórico-matemático que actualmente se utiliza en algunas empresas mexicanas en la formulación de pinturas arquitectónicas base agua para interiores y exteriores de edificios (excluyendo a otro tipo de pinturas o recubrimientos p.e. en polvo, electrodeposición, texturizados, etc.), dirigido a los formuladores e interesados en la formulación de estos productos, empleando métodos conocidos de medición de propiedades finales de pinturas, así como obtener un valor más preciso del CPVC, lo cual nos permitirá sustituir las materias primas de una manera eficiente y confiable.

El estudio y experimentación se realizará en las instalaciones de una empresa mexicana de recubrimientos, empleando materiales y recursos de esta empresa previa autorización de los responsables del laboratorio de formulación, siendo los nombres de los materiales y productos de carácter confidencial, por lo cual se presentaran resultados con carácter científico e informativo.

## **OBJETIVO GENERAL**

Utilizar métodos prácticos, efectivos y confiables para la determinación del índice de Concentración de Pigmento en Volumen Crítico (CPVC) como herramienta para resolver la problemática de la sustitución de materias primas rediseñadas o sustitutas en los recubrimientos base agua para interiores y exteriores de edificios, con el fin de mejorar la calidad, disminuir tiempos y costos de formulación de las pinturas.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Establecer métodos prácticos, efectivos y confiables en la determinación del PVC (Concentración del Pigmento en Volumen) y CPVC (Concentración de Pigmento en Volumen Crítico) como herramientas en la formulación de pinturas o recubrimientos para interiores y exteriores de edificios.

2. Determinar el índice de CPVC (Concentración de Pigmento en Volumen Crítico) por medio de los métodos establecidos tanto teóricos como experimentales.
3. Analizar y comparar los resultados obtenidos en la determinación del CPVC (Concentración de Pigmento en Volumen Crítico) teórica y experimentalmente.
4. Establecer el impacto del CPVC en las propiedades finales y el desempeño esperado en las pinturas bases agua para poder establecer una línea de experimentación que nos lleve a la sustitución de materias primas de una manera efectiva y confiable.

### **HIPÓTESIS GENERAL**

El uso de los métodos experimentales para determinar el índice CPVC (Concentración de Pigmento en Volumen Crítico), sirven como herramientas para establecer una línea de experimentación que nos lleve a la sustitución de materias primas rediseñadas o sustitutas en las pinturas o recubrimientos base agua para interiores y exteriores de edificios.

### **HIPÓTESIS ESPECÍFICA**

Los métodos experimentales son consistentes y prácticos en la formulación de pinturas basadas en el índice CPVC (Concentración de Pigmento en Volumen Crítico), lo que nos lleva a establecer con mayor certidumbre las propiedades finales de las pinturas y su funcionalidad cubriendo las necesidades y requerimientos de nuestros clientes.

# 1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

## 1.1. GENERALIDADES

Los recubrimientos o pinturas difieren de otros materiales de ingeniería, como el acero, la madera, el vidrio, etc., debido a que su uso exitoso necesita de una mezcla de ciencia y de arte. Las propiedades no cuantificables son importantes en el cumplimiento de la pintura. Las propiedades cuantificables son aquellas que pueden medirse con cuidado y con buena precisión y que puede utilizarse en especificaciones y en sus medidas.

La pintura tiene funciones inseparables; éstas son las decorativas, las protectoras y las especiales y todas están presentes simultáneamente. Una vez que el sistema de recubrimiento ha secado o curado, las capas o películas distintas no pueden separarse o desprenderse limpiamente para examinarlas, como resultado de esto, los efectos sobre las diferentes capas de los varios factores que tiene influencia en su formación y cumplimiento, no puede estudiarse individualmente.

## 1.2. COMPOSICIÓN DE UNA PINTURA

En el pasado era fácil definir a una pintura como la composición de cuatro principales tipos de ingredientes:

- Vehículo (emulsión o resina)
- Pigmento
- Solvente
- Aditivo

### *Excepciones*

A últimas fechas con la ventaja de la alta tecnología, la pintura es como se definió antes, sin embargo, ciertos tipos de recubrimientos tales como las pinturas en polvo, son 100% sólidos y no contienen solvente. Varios tipos de recubrimientos caen en esta categoría, los altos sólidos, los que curan por efecto de la luz ultravioleta, algunos productos que se aplican por electrodeposición, los texturizados que se aplican de manera diferente a la tradicional, etc. no serán tratados en este estudio por estar fuera del alcance.

### 1.3. CLASIFICACIÓN DE MATERIA PRIMA Y/O ADITIVOS

Existen una gran variedad de materias primas y/o aditivos que se utilizan en la formulación y elaboración de pinturas entre las cuales podemos encontrar los siguientes:

- Aditivos:
  - ◊ Biocidas
  - ◊ Catalizadores
  - ◊ Dispersantes
  - ◊ Modificadores reológicos
  - ◊ Plastificantes
  - ◊ Secantes
  - ◊ Etc.
- Pigmentos
- Pigmentos extendedores
- Disolventes y adelgazadores
- Solventes
- Emulsiones
- Resinas
- Etc.

De estos materiales, algunos se utilizan solamente en base solvente, otros en base agua y otros más en ambos sistemas.

#### 1.3.1. Aditivos

Como se mencionó anteriormente, son productos químicos especiales que ayudan a modificar o mejorar las características de los recubrimientos, en ocasiones se utilizan para eliminar los defectos de las pinturas, tanto en forma líquida como en forma de película seca.

Los aditivos se usan principalmente para:

- Acelerar la producción y obtener un rendimiento óptimo de la materia prima utilizada.
- Asegurar que las pinturas tendrán estabilidad durante el almacenamiento.
- Facilitar la aplicación de los productos.

- Mejorar las propiedades y el acabado de la película seca.
- Prolongar la duración de la película y evitar el deterioro prematuro de la misma.

Los niveles de uso dependen básicamente del tipo de formulación de que se trate, así como de los componentes que intervienen en una pintura.

En general se puede decir que se recomienda utilizar los aditivos en los siguientes niveles:

- De 0.1 % hasta 2.0% sobre el peso total de la formulación.
- Hasta 5 % como máximo del conjunto de todos los aditivos sobre el peso total de la fórmula.

Las dosificaciones de un aditivo normalmente se hacen por sugerencia de los fabricantes de los mismos y se terminan por definir por los estudios que se lleven a cabo en laboratorio y por último tomando la experiencia de los formuladores.

Los aditivos se pueden clasificar de la siguiente manera según el sistema de que se trate. (Anexo A)

1. Base agua
2. Base solvente

### **1.3.2.Pigmentos**

Es un polvo finamente dividido, insoluble en el medio en que se dispersa; es estable física y químicamente en condiciones normales de uso (no reacciona químicamente).

Propiedades principales de los pigmentos:

- *Poder cubriente*
- *Poder tintóreo*
- *Resistencia a la luz*
- *Sangrado/migración*
- *Resistencia al calor*

- *Resistencia a productos químicos*
- *Absorción de aceite*
- *Peso específico*
- *Dureza/dispersión*
- *Tamaño de partícula*
- *Reología (tixotropía)*

Existen dos clasificaciones de pigmentos según su naturaleza química, los orgánicos y los inorgánicos. (Anexo A)

Uno de los pigmentos más importantes y utilizado en la mayoría de las formulaciones de pinturas está el Bióxido o Dióxido de Titanio ( $TiO_2$ )

Los usos de los pigmentos se mencionan en la tabla 1.

### **1.3.3.Pigmentos Extendedores**

El nombre de extendedor o carga puede crear la impresión que son materiales de poca importancia o de relleno y no merecen un estudio a fondo; sin embargo, su efecto es de gran influencia en las propiedades de la pintura líquida, como en la apariencia y duración de la pintura.

Debido al gran número de tipos de extendedores y a la diversidad de propiedades, la mayoría de los formuladores no están completamente informados acerca de sus propiedades y de las ventajas de usarlos. El gran reto es encontrar la oportunidad de mejorar el acabado de los productos usando los extendedores con destreza.

Los extendedores son compuestos minerales de relativamente bajo índice de refracción, difieren entre sí en la composición, tamaño de partícula y forma. Desarrollan muy poco cubriente en pinturas brillantes y semibrillantes, pero dan alto cubrimiento en seco a bajo costo en las pinturas mate, debido a la interfase aire-pigmento como se explicará más adelante.

Extendedores o cargas son los pigmentos invisibles utilizados para controlar:

- Costo de Materia Prima
- Extendedor de  $TiO_2$
- Sólidos en Volumen
- Brillo

- Textura
- Blocking (Bloqueo tacking)
- Burning (Rayado)
- Reología
- Permeabilidad de película
- pH

<b>Tipo</b>	<b>Características</b>	<b>Uso</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pinturas:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- base agua :</li> <li>- base solvente :</li> <li>- polvo :</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vinílicas</li> <li>Acrílicas</li> <li>Látex</li> <li>Alquidálicas, Melamina / Poliéster</li> <li>Epóxicas, Acrílicas, Poliuretano, Lacas, etc.</li> <li>Epóxicas, Poliéster, Acrílicas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>arquitectónico industrial</li> <li>arquitectónico industrial anticorrosivo automotivo industrial automotivo</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tintas :               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Viscosas :</li> <li>○ Líquidas :</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Offset secado por oxidación, Horneo, uv, eb.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>papel , revistas , periódico</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Serigrafía :</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Base agua: Flexografía</li> <li>Base solvente: Rotograbado, flexografía</li> <li>Estampado, continuo, Tampografía.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>papel</li> <li>papel, película textil, papel, vidrio, madera , etc.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plásticos :</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inyección</li> <li>Extrusión</li> <li>Soplado</li> <li>Moldeo</li> <li>Máster Batch</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>PVC</li> <li>Poliestireno</li> <li>Polietileno</li> <li>Polipropileno</li> <li>PET , etc.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acabados Industriales:</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Detergentes</li> <li>Jabones</li> <li>Construcción</li> <li>Piel / Cuero</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Líquidos</li> <li>Sólidos</li> <li>Cemento, Tejas, Celosías, Impermeabilizantes</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Artículos Escolares:</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Carteles, Gises, Acuarelas</li> <li>Crayones, Oleos, Plastilinas</li> </ul>

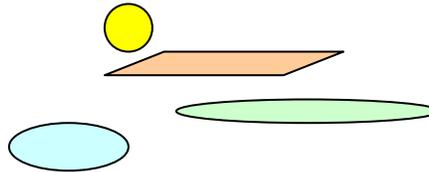
Tabla 1. Principales usos de los pigmentos

El color del extendedor es una de las características más importantes y con frecuencia se mide por su “brightness” (grado de blancura medido en un

espectrofotómetro) la cual varía del 70 al 98%, este valor baja cuando el extendedor está contaminado de impurezas minerales.

Otra característica es el tamaño de partícula la cual puede variar de 0.01 a 44.0 micras y de una gran variedad de formas por ejemplo:

- Esférico
- Laminar(placa)
- Acicular (aguja)
- Nodular (redondo)



La forma de la partícula puede influir en el empaquetamiento del pigmento, en la flexibilidad y agrietamiento de la película de la pintura, en particular la forma de la partícula puede impactar en:

- Esférico  
Mínimo efecto en disminución de brillo
- Laminar (Placa)  
Minimiza transmisión de humedad
- Acicular (aguja)  
Da resultados de asentamientos suaves. Es mejor usarlo en combinación con otros extendedores.
- Nodular (redondo)  
Tiende a asentamientos fuertes pero usualmente incrementa la resistencia a la abrasión en pinturas mate.

El tamaño de partícula y la distribución del tamaño de la partícula influyen en el cubriente, viscosidad, brillo, tersura, porosidad de la película, demanda de vehículo (emulsión o resina), demanda de surfactantes, etc.

Es importante señalar que un cubo de 5 micras (más o menos el tamaño de un grano de carbonato de calcio) puede generar 15,625 cubos de 0.2 micras (más o menos el tamaño de un grano de Dióxido de Titanio) con un incremento en el área superficial de 3600 micras cuadradas, esto quiere decir que el cubo con menor tamaño de partícula se extiende más y cubre más área, además de tener una mejor distribución dentro de la pintura.

Se han reportado muchos trabajos con respecto a la mejor manera de sustituir un extendedor por otro para reproducir razonablemente una pintura de iguales propiedades, para lo cual se ha encontrado que cuando un extendedor se sustituye por otro con base a peso o a volumen, se tiene como resultado una pintura con propiedades sustancialmente diferentes como la consistencia, durabilidad, permeabilidad, resistencia a la abrasión, resistencia al manchado, etc.

Entre los extendedores podemos encontrar los siguientes tipos:

### **Carbonato de Calcio**

- Obtenido de piedra caliza o en forma sintética (precipitado)
- Económico y de baja absorción de aceite
- Proporciona estabilidad y resistencia al colgado (sag) en las pinturas

### **Silicato de Aluminio**

Se le conoce como Caolín, Caolín Calcinado, China Clay. El caolín es esencialmente silicato de aluminio, las mejores y principales minas se encuentran en las Carolinas, Georgia en Estados Unidos y en Inglaterra.

El caolín inicialmente se usaba para papel, pero poco a poco ha ido ganando terreno en la industria de pinturas, los tratamientos de secado y flotado al aire se han mejorado con el proceso de lavado en agua, que da un mejor control de tamaño de partícula, y también el proceso de calcinación que es la innovación más significativa.

La forma de la partícula es laminar en forma de platos hexagonales. Todos los grados son hidrofílicos y prácticamente neutros.

La absorción de aceite es de 25 a 44% para los no calcinados y de 48 a 58% para los grados calcinados, debido a su propiedad hidrofílica el caolín es buen extendedor de pinturas base agua, son fáciles de dispersar e imparten buenas propiedades de brocheo y nivelación, se recomienda usar en compañía de otros extendedores. Su mayor aplicación es para pinturas de interior y exterior porque dan un alto cubriente en seco. Los tamaños de partículas finos ayudan a evitar la flotación y el flooding (defecto de color). Además podemos decir que son:

- Inertes y de buen color
- Se obtienen de piedra granita junto con sílicas y micas
- Tamaños de partícula 0.5-50 micras e imparten tixotropía.
- Agente mateante económico

### **Silicato de Magnesio**

Se le conoce como Talco, el cual es un mineral abundante que se extrae de minas en diferentes partes del mundo. La forma cristalina y sus características físicas varían según el lugar de extracción. Hay cuatro tipos básicos de talco:

- a. Fibroso
- b. Plano o micáceo
- c. Acicular o tremolítico
- d. Nodular o esteatita

Un talco es una mezcla de diferentes tipos pero hay predominantes como lo son el fibroso y el plano. Entre sus características podemos encontrar:

- Cubre un número de minerales con composición química que varía pero basado en Mg y Si con impurezas de Al y Ca
- Inerte e hidrofóbico, ayuda a evitar el Cracking de las pinturas
- Proporciona resistencia a la humedad, mejora flujo durante aplicación y evita sedimentación de pigmentos
- Mejora propiedades de lijado o tallado de películas de pintura

El tipo fibroso se emplea más para pinturas al exterior para impartir durabilidad, y ayuda a la suspensión evitando el asentamiento; sin embargo tiene deficiencia en la fluidez de la pintura y en la tersura de la película. Los talcos planos imparten mejor brochabilidad, fluidez y tersura de película. Los talcos granulares aunque son pocos, mejoran las propiedades de lijado en los selladores.

La absorción de aceite de los talcos es moderada entre 29 y 58% los talcos se humectan y se dispersan muy fácilmente en todos los líquidos para hacer pintura incluyendo el agua, con moderado esfuerzo y debido a su excelente suspensión ayudan a los demás extendedores a permanecer en suspensión.

Los grados más gruesos trabajan bien en primarios y en texturizados, así como en pintura para tráfico.

Los grados más finos se usan para control de brillo, consistencia y colgado, así como estabilidad de la viscosidad.

Los talcos imparten una propiedad característica al automantenimiento de las pinturas al exterior, debido a que calean lentamente y de manera uniforme, esta erosión suave y continua hace que la película se vaya limpiando sola.

## **Sílica**

Hay 3 tipos de sílicas:

- Sílica ordinaria que es cuarzo molido y clasificado
- Sílica diatomácea y
- Sílica sintética.

El cuarzo molido es difícil de dispersarse, se asienta mucho, es muy abrasivo y se ensucia mucho cuando se dispersa en equipo metálico. Es inerte y de baja absorción de aceite por lo mismo se usa en rellenos para madera, la sílica diatomácea se usa mucho por su alto efecto mateante, se obtiene de los grandes asentamientos lacustres en donde vivían las diatomitas acuáticas que al morir dejaban sus esqueletos de silicio, a estos asentamientos se les conoce como tierras diatomáceas.

Estos esqueletos son porosos y frágiles y tienen formas que superan a la imaginación, las sílicas diatomáceas varían desde 83 hasta 95% de sílica, la mayor parte es un material blanco aunque hay un componente gris y otro algo rosado, la combinación de su estructura irregular y la absorción de aceite produce un efecto mate, un alto poder de espesamiento y una buena suspensión de pigmento.

Debido a su porosidad y a su fragilidad no resiste al manchado y la resistencia a la prueba de resistencia a la abrasión es baja.

- Es una carga blanca disponible tanto natural como sintética
- Fuentes naturales incluyen tierras Diatomáceas (Celites®), sílicas amorfas, sílicas cristalinas
- Agentes matizantes
- Mejoran adherencia entre capas

Las sílices diatomáceas dan buen cubriente en seco, pero la proporción en que deben usarse está limitada por los efectos de consistencia, pobre brocheo, baja fluidez y tienden a pulir los equipos de proceso, de manera que el desbaste es considerable.

Este efecto de pulido hace que la pintura no pueda permanecer mucho tiempo en el proceso porque se hace gris, otro problema serio es su alto contenido de sílice cristalina de la cual se sospecha que produce cáncer y por lo mismo se está restringiendo cada vez más su uso, la sílice amorfa no tiene este problema.

Las sílicas sintéticas con sílica pura de pequeño tamaño de partícula, pueden clasificarse de acuerdo al proceso de manufactura y al tamaño de partícula:

<i>Hidrogel</i>	<i>3 a 10 micras</i>
<i>Aerogel</i>	<i>3.5 micras</i>
<i>Aerogel</i>	<i>menor de una micra</i>
<i>Pirogenica</i>	<i>menor de una micra</i>
<i>Arc</i>	<i>menor de una micra</i>
<i>Precipitada</i>	<i>menor de una micra</i>

Los pigmentos con tamaños de una micra son altamente eficientes como agentes mateantes y también tienen acción espesante. Los tamaños menores son difíciles de dispersarse y provocan un excesivo espesamiento.

### **Sulfato de Bario**

El sulfato de bario es un extendedor que se encuentra de dos maneras, el mineral sólido llamado barita y el sintético o precipitado llamado blanco fijo. Los procesos de molienda y de blanqueado producen baritas de excelente color y finura a un costo relativamente bajo, y por esta causa el proceso sintético no es muy atractivo.

La absorción de aceite es baja 6 a 14% y su densidad es muy alta, lo cual le da propiedades muy especiales que la hacen apta para rellenadores y productos que no deben perder mucho volumen cuando secan. El sulfato de bario es químicamente inerte y por lo mismo se puede usar en productos que requieran resistencia química.

### **Mica**

La mica comprende un grupo de varios minerales que difieren en composición química y en propiedades físicas. El tipo muscovita es el más usual.

La mica se da en grandes hojas de cristales conocidas como libros, después de que las rocas han sido delaminadas por aire comprimido se muele la mica ya sea por el método húmedo o seco, el más usado es el primero y produce tamaños de partícula Malla 325.

Por su forma laminar le imparte a la película de pintura un refuerzo, además hace que el agua de la película tenga que caminar más para poder evaporarse, por esto se usa en pinturas base agua y base solvente para eliminar el **“cracking”** o agrietamiento como defecto. La proporción de mica es baja aproximadamente el 5% del total de la pigmentación, por la dificultad que ofrece a los solventes a transportarse a través de la película se usa para formular primarios antisangrantes.

### **1.3.4. Pigmentos de Dióxido de Titanio**

El dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ) es el pigmento blanco más importante en la industria de los recubrimientos. Se utiliza ampliamente debido a su alta eficiencia para dispersar la luz visible, que le permite impartir blancura, brillantez y opacidad al ser incorporado en un recubrimiento. En el mercado, el dióxido de titanio está disponible con dos estructuras cristalinas: anatasio y rutilo. Los pigmentos de  $\text{TiO}_2$  de rutilo son preferidos porque dispersan la

luz de manera más eficiente, y son más estables y durables que los pigmentos de anatasio.

Los pigmentos de dióxido de titanio son insolubles en los vehículos para recubrimientos en los que son dispersados; en consecuencia, las propiedades de desempeño, p.e., las características físicas, fotoquímicas y físicas, son determinadas principalmente por el tamaño de la partícula de pigmento y la composición química de su superficie. La mayoría de los grados de dióxido de titanio tienen tratamientos superficie inorgánicos, y orgánicos en algunos casos. Con mayor frecuencia, los modificadores superficiales inorgánicos son revestimientos precipitados de alúmina y sílice, cuyos parámetros de tipo, cantidad y método de dispersión son meticulosamente controlados.

Estos tratamientos superficiales inorgánicos mejoran una o más propiedades de desempeño relevantes, tales como la capacidad de dispersión en agua y en numerosos líquidos orgánicos; la eficiencia del poder cubriente, de la resistencia al tizamiento y a la decoloración ocasionada por calor o fotorreducción. Los tratamientos superficiales orgánicos pueden mejorar la capacidad de dispersión del pigmento, en sistema de recubrimientos selectos.

Diversos grados son producidos al variar las combinaciones del tratamiento superficial para maximizar el valor en uso dentro de una amplia gama de formulaciones de recubrimientos.

No es correcto equiparar el desempeño superior del pigmento de  $TiO_2$ ; en pintura con un análisis de alto  $TiO_2$ . Por ejemplo, los grados de *Ti-Pure*<sup>®</sup> que tienen un contenido mínimo especificado de dióxido de titanio de 80-88%, son notablemente superiores a los grados con mayor contenido, en los atributos de eficiencia del poder cubriente en algunas pinturas mate sumamente pigmentadas

#### **1.3.4.1. Teoría óptica**

El dióxido de titanio y otros pigmentos blancos dan opacidad a las películas de pintura, principalmente al reflejar la luz de manera difusa. Esta reflexión se debe a que el pigmento blanco dispersa o dobla la luz en gran medida. Si existe pigmento blanco suficiente en una película de pintura, casi toda la luz visible que incide sobre él será reflejada (con excepción de una pequeñísima cantidad absorbida por el vehículo o el pigmento), y la apariencia de la película será opaca, blanca y brillante.

El control primario de la opacidad y brillantez de películas de pintura blanca depende de la dispersión de la luz. Esta se define como el doblamiento de la luz y, en recubrimientos, la luz puede ser doblada por reflexión de la superficie, por refracción y por difracción.

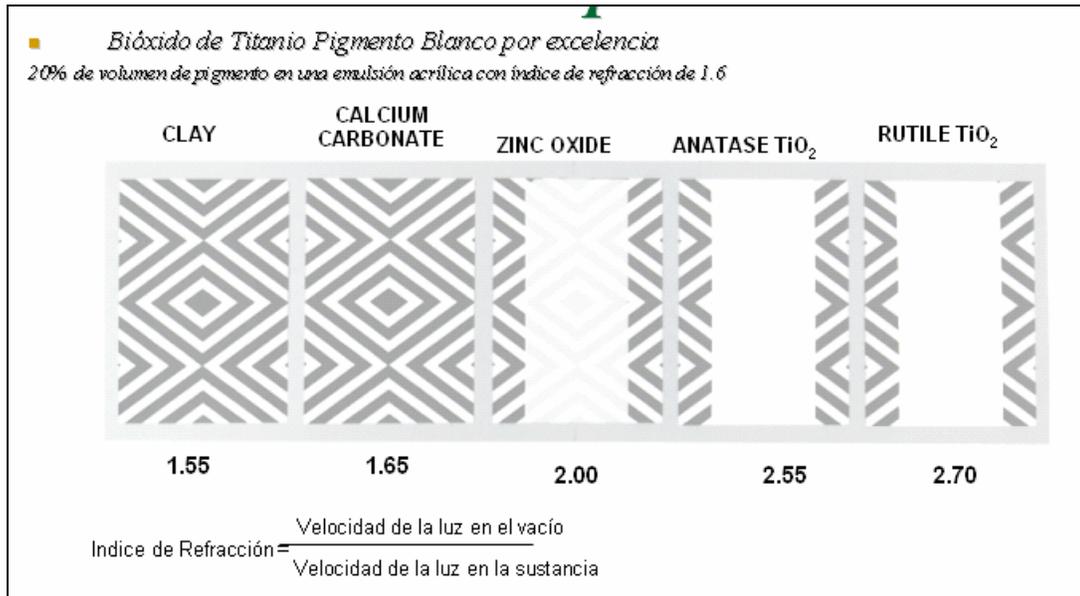


Figura 1. Comparación de extendedores con diferente índice de refracción.

## Reflexión

La figura 2 muestra la dispersión de la luz por reflexión. En el caso de la barra de vidrio sobre la línea negra a la derecha, la línea muestra claramente que la luz se ha reflejado sólo dos veces (adelante y atrás de la barra), y que sólo una pequeña cantidad (-4%) ha sido reflejada en cada superficie. Del lado izquierdo, sobre la línea negra se ha colocado una pila de delgadas placas de vidrio con el mismo grosor. En este caso, la línea es invisible debido a que la luz ha sido reflejada en la interfase aire-vidrio de cada placa. Si la pila fuera sumergida en aceite hasta que todo el aire fuera desplazado, o si se comprimiera hasta que todo el aire fuera eliminado, la pila sería tan transparente como la barra de vidrio.

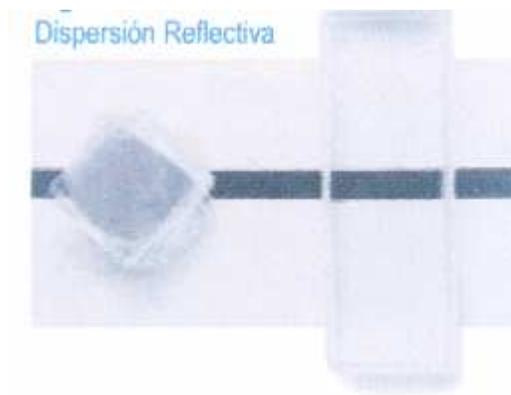


Figura 2. Reflexión

Un cambio en el índice de refracción favorece la reflexión. En esta ilustración, es la diferencia en el índice de refracción del vidrio (1.5) y el aire (1.0) lo que produce reflexiones dispersas desde superficies sucesivas de las delgadas placas. En cierto modo, la reflexión de la luz se dará sólo desde la superficie de los pigmentos de  $\text{TiO}_2$  que tengan un elevado índice de refracción (2.7) y que estén en contacto con diversos vehículos del recubrimiento en un bajo índice de refracción (1.5).

## Refracción

Cuando la luz golpea una sola partícula transparente con alto índice de refracción (con respecto al vehículo que la rodea), la porción que no se refleja entra en la partícula y sufre una desviación de su ruta original. Cuando la luz entra en un medio con mayor índice de refracción, es doblada hacia una línea perpendicular a la superficie en el punto de entrada. Cuando la luz emerge, es doblada nuevamente con respecto a esta perpendicular. Mientras mayor sea la diferencia en el índice de refracción entre la partícula y su medio, mayor será el ángulo en que la luz será doblada.

En la figura 3, la esfera de la izquierda tiene un índice de refracción mayor al de la esfera del lado derecho, por lo que la luz se dobla más abruptamente; la esfera de la izquierda dispersa más la luz que la de la derecha.

La figura 4 muestra las secciones transversales de dos películas de pintura blanca. En la ilustración superior (pigmento con alto índice de refracción), la luz que entra a la película recorre una ruta más corta que en la ilustración inferior (pigmento con bajo índice de refracción). Ambas películas parecen opacas y blancas, dado que prácticamente toda la luz incidente es regresada a la superficie.

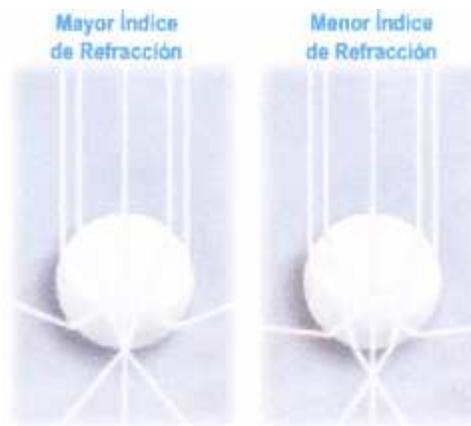


Figura 3. Refracción

Si se redujera el grosor de las películas a "X", y se colocaran sobre un fondo negro, la ilustración superior seguiría siendo opaca y blanca, mientras que la inferior, que contiene el pigmento con menor índice, permitiría que una porción de luz entrara en el fondo negro y fuera absorbida. Al ser comparadas, esta película tendría una apariencia gris.

## **Difracción**

El fenómeno de difracción puede ser abordado si se considera una característica del movimiento de las ondas. Cuando una onda pasa un obstáculo, tiene a doblarse con respecto a su ruta original. Por ejemplo, las ondas de agua que pasan por un pilote vertical se doblaran detrás de él. Esto también sucede cuando las ondas de luz pasan cerca de un objeto, y tienden a doblarse detrás del objeto. En general, cuando se trata de objetos grandes, el doblamiento es insignificante a la vista, pero cuando las dimensiones del objeto se aproximan a la longitud de onda de la luz incidente, el doblamiento (difracción) se hace evidente.

Cuando el tamaño de las partículas de  $\text{TiO}_2$  se acerca a la mitad de la longitud de onda de la luz incidente, las partículas pueden doblar de cuatro a cinco veces la luz que en realidad cae sobre la partícula, dado que una gran cantidad de la luz es difractada cuando pasa cerca de las partículas. En otras palabras, la sección transversal de la dispersión puede ser cuatro o cinco veces la sección transversal geométrica de las partículas.

La figura 5 es una consideración cualitativa de la diferencia entre la eficiencia de difracción y el tamaño de partícula. El incremento en la difracción a un tamaño de partícula muy pequeño (de manera ideal, la mitad de la longitud de onda de la luz que se desea dispersar), se debe a la resonancia electromagnética entre la partícula y la luz. En otras palabras, la partícula sintoniza la onda de luz de la misma forma que una antena responde a las ondas de radio.

La capacidad de las partículas bien espaciadas con tamaño bien controlado para difractar la luz, es un aspecto fundamental en el diseño de sistemas de recubrimientos totalmente funcionales.

El  $\text{TiO}_2$  es único en el sentido de que combina un elevado Índice de refracción con un alto grado de reflectancia en la región visible del espectro, como se ilustra en la figura 6. Esta combinación da al formulador de recubrimientos una ruta hacia los blancos o tintes sumamente opacos y brillantes, con grosores de película mínimos.

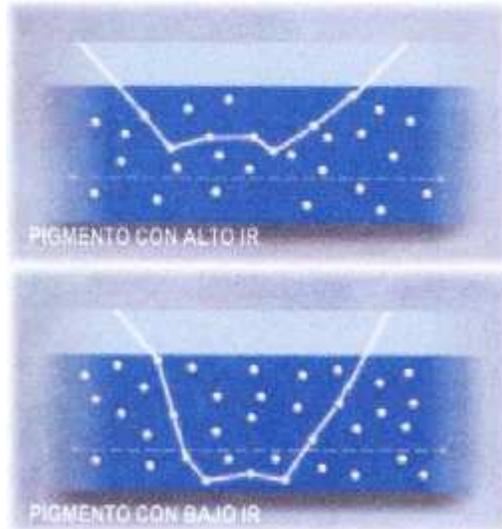


Figura 4. Ruta de la luz en películas de pintura blanca.

Para comprender por qué el  $\text{TiO}_2$  y, especialmente el  $\text{TiO}_2$  de rutilo, ofrece estas grandes ventajas para el cubrimiento, sólo es necesario comparar los índices refractivos del rutilo y el anatasio con los de otros pigmentos blancos y vehículos de pintura comercial, como se resume en la Tabla 4. Mientras mayor sea la diferencia entre el índice de refracción del pigmento y el del medio en el que está disperso, mayor será la dispersión refractiva de la luz.

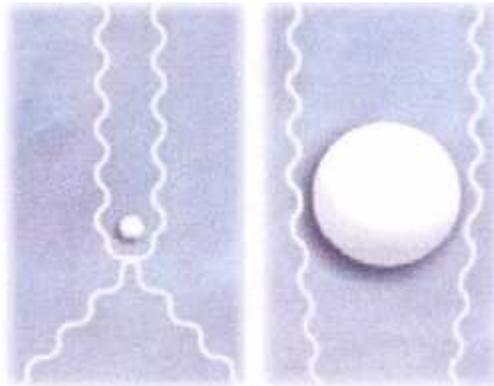


Figura 5. Difracción alrededor de las partículas.

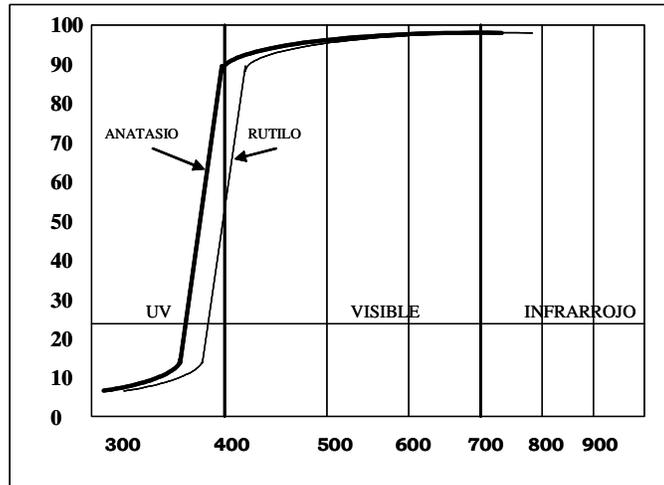


Figura 6. Reflectancia del pigmento  $TiO_2$  en regiones del espectro

<b>Pigmentos Blancos</b>	<b>IR</b>	<b>Pigmentos Blancos</b>	<b>IR</b>	<b>Vehículos o medios</b>	<b>IR</b>	<b>Vehículos o medios</b>	<b>IR</b>
Tierra de diatomáceas	1.45	Lithopone	1.84	Vacio	1.0000	Resina Acrílica	1.49
Sílica	1.45-1.49	Óxido de Zinc	2.02	Aire	1.0003	Aceite de China	1.52
Carbonato de Calcio	1.63	Óxido de Antimonio	1.09-2.29	Agua	1.3330	Soya Alquidálica Oxidante	1.52-1.53
Baritas	1.64	Sulfuro de Zinc	2.37	Resina de Acetato de Polivinil	1.47	Resina de Estireno-butadieno	1.52-1.53
Arcilla	1.65	Dióxido de Titanio (anatasio)	2.55	Aceite de Soya	1.48	Alcide/Melamina (75/25)	1.55
Silicato de Magnesio	1.65	Dióxido de Titanio (rutilo)	2.73	Aceite de Linaza refinado	1.48		
				Resina Vinilica	1.48		

Tabla 2. Índices de refracción.

### Tamaño de partícula del $TiO_2$

Como se ha discutido anteriormente, para dispersar la luz de la manera más eficiente, el diámetro del pigmento debe ser ligeramente menor a un medio de la longitud de onda de la luz a ser dispersada. Dado que el ojo humano es más sensible a la luz amarilla-verde (longitud de onda alrededor de 0.55 micras), el tamaño óptimo de las partículas de los pigmentos de  $TiO_2$  para recubrimientos tiene entre 0.2 y 0.3 micras de diámetro. Los estudios microscópicos ha confirmado este intervalo para el tamaño de partícula principal. Sin embargo, las diferentes tecnologías de medición pueden dar resultados diferentes.

## Poder de Dispersión

Las curvas derivadas de las consideraciones teóricas en sistemas altamente diluidos, muestran el poder de dispersión relativo del  $\text{TiO}_2$  de rutilo para la luz azul, verde y roja, en función del tamaño de partícula. Aproximadamente a 0.2 micras, se maximiza la suma de la luz dispersada en todas las longitudes de onda. Cuando el tamaño de partícula se incrementa a 0.25 y 0.30 micras, la dispersión de la luz azul se reduce con rapidez, pero la de la luz verde y roja permanece relativamente sin cambio. Ahora bien, a 0.15 micras, que es el diámetro correspondiente a la máxima dispersión de la luz azul, se registra una notable reducción en la dispersión de la luz en las regiones roja y verde.

## Subtono

En una película blanca ideal pigmentada a cubrimiento completo, un cambio en el tamaño de partícula del pigmento no tiene efecto sobre el color, dado que toda la luz que incide en la película se dispersa totalmente. Esto se ilustra en la figura 7, que muestra que tanto la luz azul, que tiene la ruta de menor longitud, y la luz roja, que tiene la de mayor longitud, son reflejadas en su totalidad - el efecto visual es el mismo que si toda la luz tuviera una ruta con la misma longitud.

La figura 8 ilustra el caso en el que un pigmento absorbente como el negro de humo ha sido agregado a la fórmula blanca. Ahora, la luz blanca con la ruta más larga tiene oportunidad de ser absorbida. En consecuencia, el matiz reflejado parece más azul. Entonces, en una película de pintura que contiene un poco de materia absorbente de la luz, un decremento en el tamaño de partícula de  $\text{TiO}_2$  incrementara la tonalidad azul. Este fenómeno se llama subtono.

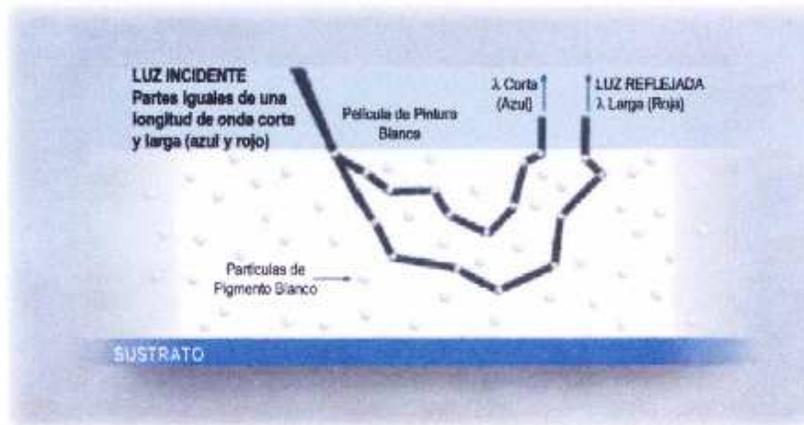


Figura 7. Dispersión de la luz por una pintura blanca

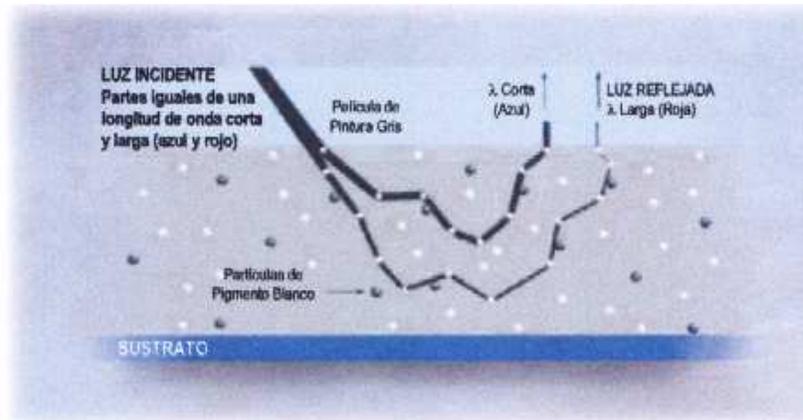


Figura 8. Dispersión y absorción de la luz por una pintura gris

### 1.3.5. Disolventes y Adelgazadores

*Disolventes:* Líquidos que modifican la viscosidad mediante una verdadera solución del formador de película.

*Adelgazadores:* Son lubricantes moleculares y la acción de bajar la viscosidad, es el resultado de mezclar un líquido de alta con uno de baja viscosidad.

### 1.3.6. Solventes

Como se mencionó anteriormente, un solvente es la parte volátil de la pintura, la cual se utiliza para proporcionar propiedades de aplicación, flujo y tiempo de secado.

Durante el proceso de secado de la pintura, el solvente se evapora y se pierde. Entre los principales solventes utilizados, tenemos:

- Agua (el solvente universal y más usado)
- Alcoholes: metílico, etílico, propílico, isopropílico, butílico, isobutílico
- Cetonas: acetona, MIBK, MEK, MIAK, ciclohexanona, isoforona.
- Esteres: acetato de metilo, etilo, propilo, isopropilo.
- Glicol éteres: cellosolve, butil-cellosolve, acetato de cellosolve.
- Aromáticos: tolueno, xileno, aromina.
- Alifáticos: gas nafta, gasolvente, gasolina.

### 1.3.7.Emulsiones

Es la polimerización de monómeros en agua, se utilizan surfactantes e iniciadores para formar una dispersión con tamaño de partícula fino.

La selección de la emulsión para formular pinturas arquitectónicas tendrá impacto significativo en:

- Desempeño de las propiedades de película seca
- Desempeño de las propiedades de aplicación
- Flexibilidad de la Formulación
  
- Costo de toda la Formulación:  
    Precio/Balance en Desempeño

Propiedades clave para el formulador de la emulsión/látex:

- Composición Monómeros
  - Durabilidad
  - Resistencia H<sub>2</sub>O
  - Brillo
- MFFT
  - Facilidad Coalescencia
  - Demanda Cosolvente
- Tamaño Partícula
  - Reología
  - Eficiencia ligante
- Tg
  - Dureza película
  - Resistencia depósito polvo
  - Resistencia Craqueo
- Peso Molecular
  - Durabilidad Exterior
  - Resistencia a la abrasión
- Paquete Estabilización
  - Estabilidad Temp.
  - Compatibilidad Color

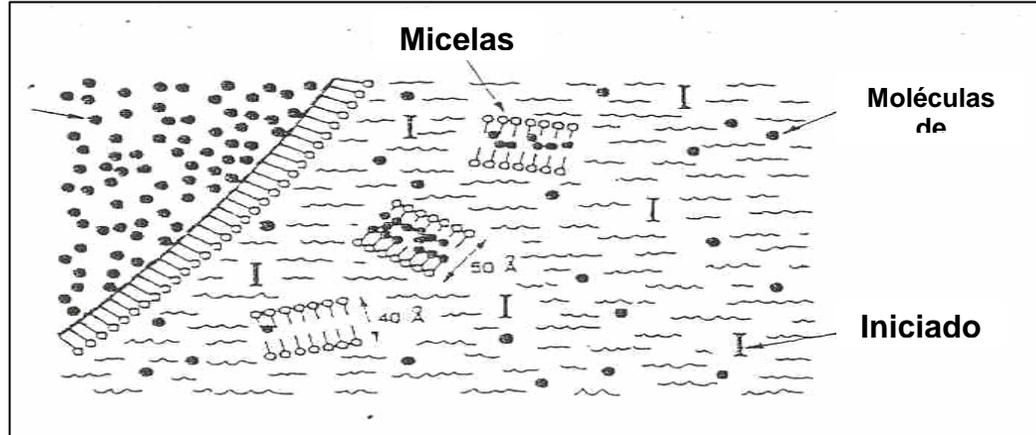


Figura 9. Emulsión

Monómeros:

- Acetato de Vinilo
- Estireno
- Cloruro de Vinilo
- Acrilonitrilo
- Vinil Versatato
- Etileno
- Acrilatos:
  - Butilo
  - Etilo
  - 2Etil-Hexilo

### 1.3.8. Resinas

Una resina es un polímero de alto peso molecular generalmente disuelto en solventes orgánicos y que es susceptible de formar película una vez que seca.

Existen tantos polímeros como necesidades hay en el mercado.

La resina es el componente principal ó formador de película en los recubrimientos.

Diferentes tipos de resinas que se usan en fabricación de recubrimientos base solvente.

- Alquidálicas
- Acrílicas
- Estirenadas
- Epóxicas

- Ester Epóxico
- Fenólicas
- Melanina-Formaldehído
- Oleoresinosas
- Poliesteres
- Uretanos
- Urea-Formaldehído
- Vinílicas
- Maleícas

Como ejemplo, ponemos los componentes principales de una resina alquidática.

*Aceites:* Linaza, Soya, China, Coco, Cártamo, Café, etc.

*Polialcoholes:* Glicerina, Pentaeritritol, Trimetilolpropano, Trimetilol-Etano, Sorbitos, etc.

*Diácidos y/o Anhídridos:* Anhídrido Ftálico, Anhídrido Maleíco, Anhídrido Isoftálico, etc.

*Solventes:* Tolueno, Xileno, Gasnafta, Aromina, etc.

## 2. ESTADO DEL ARTE EN FORMULACIÓN DE PINTURAS BASE AGUA

### 2.1. ORIGENES DE LA FORMULACIÓN DE PINTURAS.

En 1865, se registró la primera patente de pintura de los Estados Unidos (u.s. Patente 50058), que protegía una composición basada en óxido de zinc, potasa, resina, leche y aceite de linaza.

Las pinturas de caseína fueron mejorando y su mejor atractivo fue el bajo precio. Su principal aplicación fue de uso doméstico.

Durante la segunda guerra mundial se comenzaron a usar pinturas a base de emulsiones de aceite secante.

Al final de la guerra se comenzaron a usar las pinturas de látex sintético, y el primer látex usado fue el de estireno-butadieno.

Posteriormente aparecieron las emulsiones de acetato de polivinilo duras y quebradizas por lo tanto necesitaban una plastificación que las hiciera prácticas para usarse el dibutilftalato (DBP) fue una buena solución que se añadía a la emulsión y se le conoce como plastificante externo.

Los monómeros acrílicos butil-acrilato y 2-etil-hexil-acrilato eran materiales que se podían polimerizar junto con el acetato de vinilo y estos copolímeros resultantes quedaban plastificados, plastificación interna con otras propiedades sobresalientes.

Se desarrollaron emulsiones con dos y tres monómeros que se les conoce como copolímeros y terpolímeros 100% acrílicos que mejoran algunas propiedades pero que son de alto costo. Estos desarrollos han sido la base para la tecnología de los productos base agua.

Hay tres tipos de recubrimientos base agua los solubles en agua los dispersables en agua y los reducibles con agua las pinturas a base de emulsión pertenecen al ultimo tipo.

Las ventajas de usar agua para este propósito son el bajo costo, la falta de inflamabilidad el no tener olor y que el agua no es tóxica sin embargo

también tiene sus desventajas, por ejemplo es más difícil dominar la humectación, la nivelación y el tiempo de secado.

El agua es un líquido muy especial con propiedades únicas comparada con otros líquidos si nos fijamos en su estructura molecular deberíamos esperar que fuera un gas como el dióxido de azufre (H<sub>2</sub>S) y no un líquido (H<sub>2</sub>O) las moléculas del agua tienen una gran atracción entre sí debido a una propiedad llamada enlaces de hidrógeno esta tendencia asociativa es la causa de una gran tensión superficial y de la necesidad de una gran energía para la evaporación.

## 2.2. PRINCIPIOS DE FORMULACIÓN.

La formulación de pinturas es el arte de seleccionar científicamente las materias primas que mezcladas en la proporción adecuada, generen un producto competitivo que satisfaga los requerimientos de desempeño solicitados y que se pueda fabricar de forma eficiente.

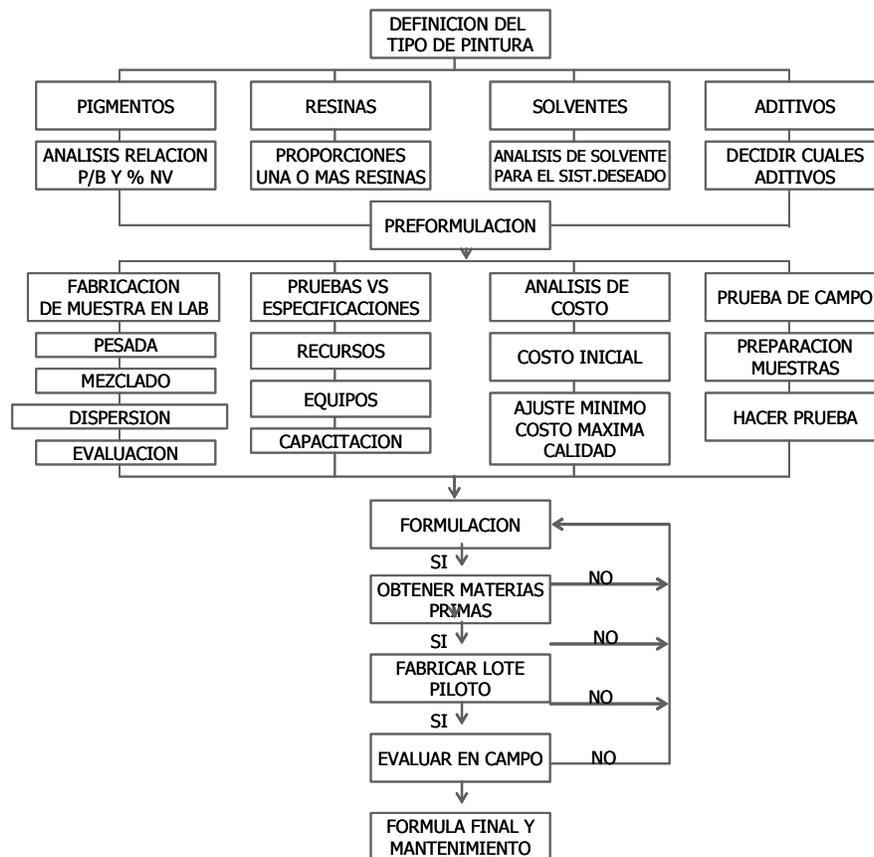


DIAGRAMA DE FLUJO DE FORMULACION

El punto de partida de la formulación se origina de la información proporcionada y/o recolectada por los proveedores de resinas, emulsiones, pigmentos y aditivos, además de la investigación de la competencia de productos que ya han demostrado satisfacción de las necesidades de los clientes y que son reconocidos como adecuados para el mercado al que son dirigidos pueden tomarse como estándar o patrón de referencia y obtener información para su formulación. (%ST, %SP, %SV, brillo, cubriente, blancura, finura, propiedades mecánicas, resistencias, etc.)

- A la actividad de tomar lo mejor de una sola cosa se le conoce como plagio.
- A la actividad de tomar lo mejor de muchas cosas se le conoce como investigación.

Sin duda la experiencia de los investigadores siempre buscan la satisfacción de las necesidades del cliente, estas necesidades están presentadas en los tipos de recubrimientos que utilizan y los problemas habituales a los que se enfrentan.

- Tipos de Recubrimientos
  - Arquitectónicos
  - Industriales
  - Recubrimientos para Maderas
  - Repintado Automotriz
  - Recubrimientos Especiales
- Tipos de Problemas
  - Adherencia a substratos difíciles
  - Resistencia a condiciones específicas

Por lo general una formulación enlista los siguientes ingredientes de una pintura:

- Vehículo
- Solvente
- Pigmentación
- Aditivos

Las cantidades se fijan normalmente en unidades de peso, para seguridad; equipo de medición preciso, permite medir los líquidos en unidades de volumen. Las relaciones significantes de los ingredientes de la pintura seca, son relaciones en volumen, no de peso.

El formador de película puede estar presente como un aceite secante, como un barniz, como una resina en solución, como una resina seca o dura, como plastificante o como alguna combinación de éstos. El solvente puede estar presente como un solvente único o como componente de un barniz o de una resina en solución. Los pigmentos y los aditivos se enlistan por lo general en forma separada.

Las diferencias entre las relaciones de los principales ingredientes, es el factor más importante en las diferencia entre los tipos de pinturas. El más importante de estas relaciones es el volumen total de la película seca. Los tipos comunes de pinturas, en términos de las diferencias en las relaciones de los ingredientes que ellas contienen son:

- Acabados transparentes,
- Tintes,
- Esmaltes brillantes,
- Esmaltes semibrillo (satinado),
- Pinturas mates,
- Selladores y primarios,
- Pinturas para exterior de casas (de madera),
- Pinturas para estuco (mampostería) y
- Compuestos para rellenar y recubrir.

**Acabados transparentes.** Estos materiales normalmente son el puro formador de película, más el solvente y los aditivos, tal como un agente secante y un antiformador de nata. Pueden contener un aceite y una resina cocinada como barniz (oleoresinoso) o contener una resina sintética en solución, como una alquidámica u otra. Su color es generalmente transparente, a no ser que se le agregue un pigmento mateante. Sus propiedades dependen de los aceites y de las resinas utilizadas y de las condiciones del proceso de fabricación del barniz.

**Tintes.** Los tintes son de reducido formador de película y de pigmentación, especialmente si se trata de tintes penetrantes. Se hacen para teñir la superficie o darle color y algún grado de protección, sin formación de película en la superficie. Los tintes llamados de alta pigmentación o de alta viscosidad, son versiones de altos sólidos del mismo tipo de formulación. El de baja relación de formador de película a pigmento en los productos de altos sólidos, puede limitar la durabilidad y permitir falla prematura.

**Esmaltes brillantes.** Estas pinturas contienen una alta concentración de color y opacidad (cubrimiento). Durante el secado, la alta concentración del vehículo polimeriza y cubre el pigmento, dando una superficie lisa y brillante. El formador de película en un esmalte se selecciona para que al secar sea duro y resistente al rayado.

**Esmaltes semibrillantes (satinado).** Los acabados semibrillantes contienen menor cantidad de formador de película y más pigmento que los acabados brillantes. Algunas de las partículas del pigmento se proyectan a través de la superficie para dispersar la luz y dar reflexión más difusa, necesaria para el bajo brillo.

**Pinturas mates.** Estas pinturas contienen gran cantidad de pigmento y reducida cantidad de formador de película. Las partículas de pigmento se proyectan a través de la superficie en bastantes lugares para dar completa reflexión difusa, lo cual cuenta para la completa pérdida de brillo. Los formadores de película de las pinturas de buena calidad, especialmente para paredes interiores, son vehículos de alta polimerización que dan buena continuidad de película sobre superficie de porosidad variable.

**Selladores primarios.** Los selladores se formulan y designan para aplicarse sobre superficies porosas para sellar y evitar la succión causada por la porosidad. Estos contienen más formador de película y menos pigmento que los primarios. Los primarios se designan para hacer la superficie más "pintable", que un esmalte viejo, un plástico, un metal, etc. La carga de pigmentación de un sellador es parecida a la de un esmalte semibrillo, mientras que la carga de un primario es parecida a la de las pinturas mates para paredes interiores.

En los años recientes, los términos selladores y primarios, han tomado una idea más general, debido a la proliferación de tipos nuevos de substratos que se pintan. Un sellador puede ahora ser cualquier acabado que pueda mantener las siguientes capas de la superficie. Por ejemplo, un sellador sobre plástico puede sostener o detener el ataque del solvente al plástico por las capas siguientes. Un primario puede ser, ahora, cualquier recubrimiento que proporcione una mejorada adherencia, para las capas sucesivas; tanto un sellador como un primario, entonces, pueden hacerse con poco o sin pigmento.

**Pinturas para exterior de casas (de madera).** Las pinturas para casas de madera, normalmente están pigmentadas mucho más que los esmaltes brillantes para exteriores. También, el formador de película se selecciona para que seque blando, más flexible. Las casas de madera tienen áreas grandes que deben repintarse varias veces. El tipo de falla de pintura que permite la necesidad de repintarse es importante. Un tipo deseable de falla es el que minimice la preparación de la superficie a repintarse. En las pinturas para casas esto se hace normalmente formulando una pintura que se calcine. El caleo es el proceso de desgaste de la película de pintura por formación polvorosa. La pintura calcada puede quitarse mediante una brocha, dejando una superficie finamente texturizada, adecuada para

pintarse sin preparación posterior, excepto tal vez para lavado con agua de la superficie. Las pinturas llamadas de "limpieza por si mismas" son aquellas que se formulan para que la tiza (polvo) que se forma no se adhiera a la superficie y sea lavada por la lluvia. En otros tipos de pinturas, el caleo es un indeseable tipo de falla.

**Pinturas para yeso.** Las pinturas para yeso y otras superficies de mampostería son formuladas normalmente en emulsión, tan espeso como el de las pinturas para casas de madera. Las pinturas para yeso necesitan prevenir no solamente el paso del agua líquida de la lluvia a través de la película desde su exterior, sino también permitir el paso del vapor de agua a través de la película desde el interior. Los vehículos tipo emulsión (látex) hacen esto con más éxito que cualquier otro tipo, esta propiedad es de especial ayuda para prevenir el desprendimiento o pelado de la película de pintura aplicada al yeso, por la acción de capilaridad del agua, del suelo.

La habilidad de una pintura emulsionada de permitir que el agua atrapada atrás de la película se evapore a través de ella, opera solamente si ésta se aplica directamente sobre el yeso o mampostería. Una capa de pintura de aceite a prueba de agua abajo de la pintura emulsionada completamente hecha a perder ésta propiedad de la pintura emulsionada.

Las pinturas emulsionadas hechas con acetato de polivinilo y con resinas acrílicas y algunas otras, también muestran otras propiedades importantes de resistencia como: resistir al deterioro por la luz solar y a los álcalis, mejor que las pinturas de aceite.

**Compuestos para rellenar y recubrir.-** Estos materiales contienen una mínima cantidad de solventes volátiles, pues de otra manera se pueden encoger después de su aplicación. Los compuestos para rellenar se formulan normalmente con alta carga de pigmentación de modo que cuando sequen duros, tengan buenas propiedades de lijado. El formador de película debe ser tenaz y tener excelente adherencia. Los compuestos para calafatear contienen más formador de película que los rellenadores y el formador de película es más flexible debido a que el producto seco debe tener flexibilidad y/o elasticidad. El formador de película debe adherirse a una variedad de superficies.

### **2.3. ¿QUÉ ES LA PVC (CONCENTRACIÓN DE PIGMENTO POR VOLUMEN)?**

Para la industria de pinturas y recubrimientos en general, es clara la importancia que tienen los parámetros de formulación: El PVC (ó pigment

volume content, por sus siglas en inglés) y la relación pigmento-vehículo en peso (ó en inglés, pigment binder ratio). Siendo cada una definida como:

$$PVC = \frac{V_P}{V_P + V_R} \dots\dots\dots(1)$$

En donde,

$V_P$ : Es el volumen de los pigmentos, cargas o extendedores del sistema.

$V_R$ : Es el volumen de la resina sólida, empleada como vehículo del sistema

$$Rel(p/l) = \frac{W_P}{W_R} \dots\dots\dots(2)$$

En donde;

$W_P$ : Es el peso de los pigmentos, cargas o extendedores del sistema.

$W_R$ : Es el peso de la resina sólida, empleada como vehículo del sistema.

Es evidente que, mientras el PVC viene dado como una relación de volúmenes, la Rel. ( $p/l$ ) está en función de una relación en peso (aunque también puede expresarse como una relación en volumen). Así, en las pinturas se usan parámetros de formulación tanto en peso como en volumen (si analizamos en detalle estas relaciones, vemos que éstas no son más que maneras de expresar la concentración de pigmento en una formulación, ya sea en peso o en volumen). Algunos ejemplos de parámetros de formulación referidos en peso son: partes en peso, porcentaje en peso, contenido de pigmento en peso (o pigmentación), así como la mencionada relación pigmento-vehículo. Ejemplos de relaciones en volumen son: la relación pigmento-vehículo en volumen y el PVC. Adicionalmente, hay que mencionar que algunos parámetros se dan como una combinación de ambos, es decir, como una relación peso/volumen, como por ejemplo, el contenido de dióxido de titanio de una pintura, dado como peso de dióxido de titanio en Kg por volumen de pintura en litro, y expresado como, Kg /litro.

Es importante agregar que, a partir de los trabajos de Maxwell sobre la conductividad de las dispersiones y de Einstein sobre la reología de las dispersiones, se demostró que la medida de la concentración apropiada en dispersiones y compuestos *viene dada sobre la concentración en volumen (y no en peso o concentración molar)*. Así se tienen trabajos iniciales en los años 30's, como los de Elm en EEUU y Wulf en Alemania sobre el uso de pigmentos en recubrimientos, analizados como una base de concentración en volumen. Aún a pesar de esto, la industria de pinturas continuó y continúa usando algunas relaciones en peso para expresar la concentración de pig-

mento, tal como la relación pigmento-vehículo, por su facilidad de cálculo con relación a otros parámetros. Para analizar la expresión del PVC esta puede describirse como la relación entre el volumen del pigmento al volumen total de la película de pintura (ó el volumen total de sólidos). En dicha formula se emplea el término volumen de pigmento como la suma del volumen de los pigmentos activos y el de las cargas o extendedores. Adicionalmente, es de mencionar que, en algunos casos se acostumbra definir un PVC parcial con relación a un pigmento específico, con lo cual el PVC se expresa como:

$$PVC = \frac{V_{P.E.}}{V_P + V_R} \dots\dots\dots(3)$$

En donde,

$V_{P.E.}$ : Es el volumen del pigmento específico, con relación al cual se quiere referir el PVC.

Así, la expresión del PVC dada por la ecuación (1) se denomina PVC total.

En este sentido es importante agregar que, el PVC total de las pinturas usuales, varía entre los siguientes límites:

- En pinturas brillantes base-disolvente el PVC se encuentra entre el 10-20%.
- En pinturas de emulsión (base-agua) brillantes, el PVC se encuentra entre el 17-23%.
- Y finalmente, los mayores valores del PVC total, se encuentran en las pinturas de emulsión (base agua) que están entre el 40-85%.
- 

Para muchos formuladores, es desconocido el hecho de que el PVC y la relación pigmento-vehículo están "íntimamente relacionados", tanto que una puede expresarse en función de la otra. Así, a partir de la expresión (1) y recordando que:  $V_i = m_i / \rho_i$  se puede encontrar que:

$$PVC = \frac{Rel(p/l)}{Rel(p/l) + \left( \frac{\rho_P}{\rho_R} \right)} \dots\dots\dots(4)$$

En donde,

$\rho_P$ : Es la densidad de la mezcla de pigmentos, cargas o extendedores del sistema.

$\rho_R$ : Es la densidad de la resina sólida, empleada como vehículo del sistema.

En donde, la Rel. (p/l) viene expresada en peso, el PVC como una relación de volúmenes y los términos  $\rho_P$ ,  $\rho_R$  son las gravedades específicas de la mezcla de pigmentos (activos, cargas o extendedores) y de la resina sólida, respectivamente.

Así se ha deducido una ecuación con la cual el PVC puede expresarse en función de la Rel. (p/l). Por lo tanto, conociendo la Rel. (p/l) puede encontrarse el PVC y viceversa, sólo resta determinar el factor ( $\rho_P / \rho_R$ ).

En cuanto al término  $\rho_P$ , sabemos que se refiere a la densidad de una mezcla de pigmentos (activos, cargas o extendedores), así, básicamente, es la densidad de una mezcla de sólidos. Luego, la gravedad específica de dicha mezcla puede expresarse como:

$$\rho_P = \left[ \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{\rho_i} \right] \dots\dots\dots(5)$$

Siendo n el número de pigmentos de dicha mezcla.

En donde,

$x_i$ : Es la fracción en peso del componente i, de la mezcla de pigmentos, cargas o extendedores.

$\rho_i$ : Es la gravedad específica del componente i de la mezcla de pigmentos, cargas o extendedores.

Para la ( $\rho_R$ ) es necesario tener presente que, en general, las resinas son suministradas por el fabricante en forma líquida, es decir, diluidas en un disolvente. Por lo cual, es claro que dichos fabricantes reporten el dato de la densidad de la resina pero bajo la forma de suministro, es decir, de la resina diluida. Pero la ecuación (3) requiere la densidad de la resina sólida, dato que podría determinarse, pero dicho procedimiento entrañaría cierta laboriosidad. En su lugar, se puede obtener una expresión analítica para la densidad requerida, haciendo las siguientes suposiciones: a) Los *volúmenes de la mezcla de la resina (polímero ó vehículo) y del disolvente diluyente son aditivos*, cuando ocurre la dilución, y b) no hay cambio en las propiedades por mezclado, esto es, cuando ocurre la dilución de la resina. Con dichas suposiciones se puede obtener:

$$\rho_R = \frac{(x_{R.L.})(\rho_{R.L.})(\rho_D)}{(\rho_D) - (1 - x_{R.L.})\rho_{R.L.}} \dots\dots\dots(6)$$

En donde:

$X_{R.L.}$ : Es la fracción en peso del contenido de sólidos de la resina líquida.

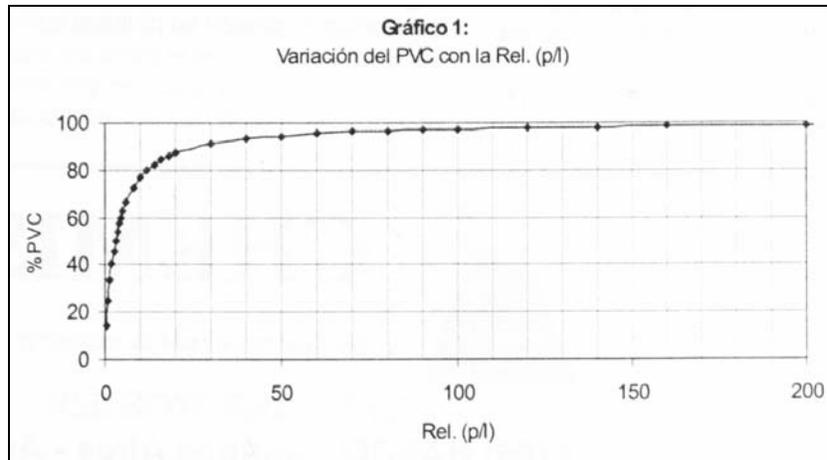
$\rho_{R.L.}$ : Es la densidad de la resina líquida (en la forma de suministro).

$\rho_D$ : Es la densidad del disolvente diluyente en el cual se encuentra diluida la resina.

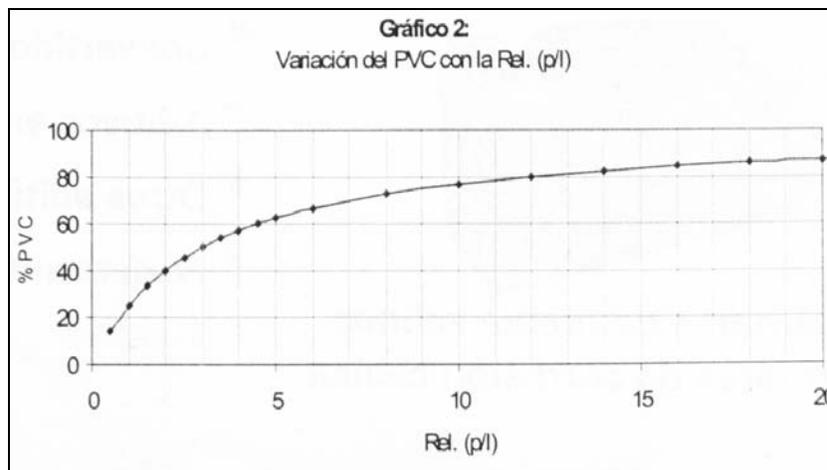
La ecuación 4 muestra que el PVC está en función de: la Rel. (p/l) y la relación de gravedades específicas ( $\rho_P/\rho_R$ ). Así, manteniendo constante una de dichas variables puede encontrarse la influencia de esta variable en el PVC.

Luego, se tiene:

a) Manteniendo constante la relación ( $\rho_P/\rho_R$ ) [se supondrá que ( $\rho_P/\rho_R$ ) = 3], se obtiene la siguiente gráfica 1.



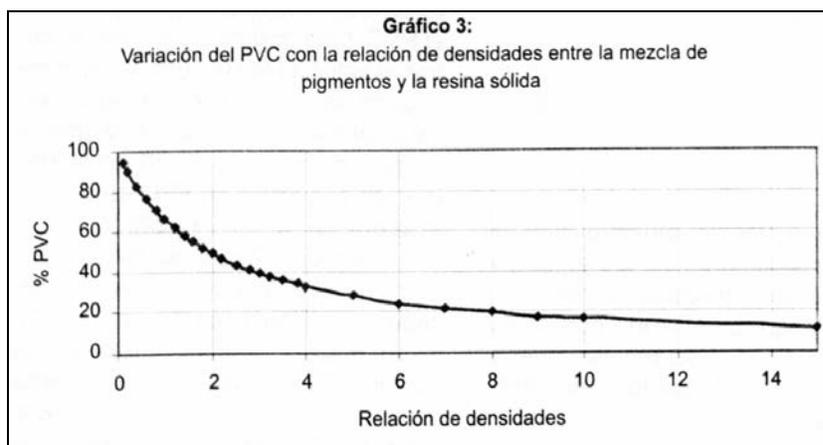
Así, se observa que el PVC (para este caso), crece rápidamente con la Rel. (p/l) hasta, aproximadamente, un valor de 30, valor luego del cual, un aumento significativo en la Rel. (p/l) tiene una influencia muy pequeña en el PVC. Esta gráfica 1 permite encontrar el valor de la Rel. (p/l) a partir del cual no hay una influencia significativa en el PVC. Con base en la gráfica 1, para dicho valor de 30 en la Rel. (p/l), se encuentra un PVC de aproximadamente, 90%, y recordando que los mayores valores del PVC llegan hasta un 85% (lo que correspondería, según la gráfica a una Rel. (p/l) de 17).



En realidad, cuando la Rel. (p/l) es mayor a 30, hay un comportamiento asintótico de la curva, acercándose al valor del PVC de 100%. En términos prácticos, para analizar las pinturas convencionales, la gráfica de PVC contra la Rel. (p/l) se puede representar como el gráfico 2.

El cual es un gráfico hasta un límite de la Rel. (p/l), al cual pueden llegar las pinturas convencionales.

b) Manteniendo constante la Rel. (p/l) [se supondrá igual a 2], se obtiene el gráfico 3, se observa que al aumentar la relación de densidades ( $\rho_P/\rho_R$ ), disminuye rápidamente el PVC. Esto es lógico en el sentido de que, al aumentar la relación ( $\rho_P/\rho_R$ ) se tiene cada vez una mezcla de pigmentos con mayor densidad, y por ende ocuparán menos volumen por unidad de masa, por lo cual, disminuirá el contenido de pigmento en volumen de la película de pintura, disminuyendo por tanto, el PVC de la misma.



Para determinar de alguna manera el valor máximo que puede alcanzar la relación ( $\rho_P/\rho_R$ ), se tomará quizás el pigmento con la mayor gravedad específica empleado en pinturas convencionales, como es el polvo de zinc ( $\rho_{\text{pigm}} = 7.14$ ) (empleado en primers ricos en zinc y pinturas de pasivación anódica), y la resina ó vehículo con la menor gravedad específica, tal como una resina alquídica-media en aceite ( $\rho_{\text{resina}} = 1.12$ ) (empleada en anticorrosivos alquídicos como vehículo mayoritario). Con dichos valores se obtiene que: ( $\rho_P/\rho_R$ )= 6.38. Luego, se puede afirmar que al analizar el gráfico 3; el valor máximo que puede tomar la absisa será de 6.5 unidades, correspondiente a la relación ( $\rho_P/\rho_R$ ) máxima en pinturas convencionales.

A modo de ejemplo, se planteará una formulación típica de un vinilo tipo 1 para interiores (tomado de la referencia [2]). Así, (solo se reportaran las gravedades específicas de los componentes a ser empleados en los cálculos), los datos se presentan en la tabla 6.

COMPONENTES	FRACCION EN PESO	GRAVEDAD ESPECIFICA
Agua	27.30	
Tripolisfotato de Potasio	0.04	
Espesante celulósico	0.42	
Antiespumante no-siliconado	0.12	
Aceite de pino industrial	0.18	
Dispersante poliacrilato	0.19	
Biocida	0.19	
Surfactante	0.16	
Regulador de pH amoniacal	0.12	
Dióxido de titanio rutilo cubierto	17.13	4.00
Carbonato de calcio	9.39	2.71
Caolín hidratado delaminado	6.96	2.66
Extender de titanio silico-aluminato de sodio-magnesio	2.86	2.42
Emulsión vinil-acrítica al 51% sólidos	34.16	1.09
Coalescente	0.78	
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	

Tabla 3. Formulación de vinilo Tipo 1 para interiores

Es necesario determinar la densidad de la resina sólida, lo cual se logra empleando la ecuación (6), a partir de la cual, se obtiene:

$$\rho_R = \frac{(0.51)(1.09)(1.00)}{(1.00) - (0.49)(1.09)} = 1.19$$

Así se puede construir la tabla 7

COMPONENTES	FRACCION EN PESO	GRAVEDAD ESPECIFICA	VOLUMEN FRACCIONAL
Dióxido de Titanio	17.13	4.00	4.28
Carbonato de Calcio	9.39	2.71	3.46
Caolín hidratado	6.96	2.66	2.35
Extender de titanio	2.86	2.42	1.18
Emulsión vinil-acrítica	34.16	1.19 (resina sólida)	14.64
<b>TOTAL</b>	<b>70.50</b>		<b>25.91</b>

Tabla 4. Datos de los componentes requeridos para los cálculos

Luego se calcula:

La Rel. (p/l) con base a la ecuación (2), y se obtiene:

$$Rel.(p/l) = \frac{17.13 + 9.39 + 6.96(0.9) + 2.86}{34.16(0.51)} = 2.046$$

El PVC en base a la ecuación (1), y se tiene:

$$\% PVC = \frac{4.28 + 3.46 + 2.35 + 1.18}{(4.28 + 3.46 + 2.35 + 1.18) + 14.64} * 100 = 43.50$$

Para verificar la ecuación (4), se tiene:

PIGMENTO	$X_i$	$\rho_i$	$X_i/\rho_i$
Dióxido de titanio	0.481	4.00	0.120
Carbonato de calcio	0.263	2.71	0.097
Caolín hidratado	0.176	2.66	0.066
Extender de titanio	0.080	2.42	0.033
TOTAL	1.000		0.316

Tabla 5. Datos requeridos para verificar la ecuación (4)

$$\rho_p = \left[ \sum \frac{x_i}{\rho_i} \right]^{-1} = 3.16 \quad \text{entonces} \quad \% PVC = \frac{2.046}{2.046 + \frac{3.16}{1.19}} = 43.52$$

En donde, la diferencia de este valor con el anterior se debe al uso de las cifras significativas. Así, se verifica la validez del uso de la ecuación propuesta.

Finalmente, emplearemos la ecuación (4) para el análisis de la variabilidad del PVC con relación a los componentes de la formulación.

Caso 1. Supóngase que se requiere disminuir el valor del PVC de la pintura teniendo constante la Rel. (p/l). Para ello, supóngase que se cambia 1:1 en peso una de las cargas, en este caso elegiremos reemplazar completamente el contenido de caolín hidratado delaminado por barita.

Así se tiene la tabla 9

$$\rho_p = \left[ \sum \frac{x_i}{\rho_i} \right]^{-1} = 3.46$$

Recuérdese que se mantuvo constante la Rel. (p/l), y por haber cambiado 1:1 en peso el caolín por Barita, no cambia la composición fraccional en peso de la mezcla de pigmentos.

$$\% PVC = \frac{2.046}{2.046 + \frac{3.46}{1.19}} = 41.30$$

Obsérvese que disminuyó el PVC aproximadamente un 2 % con relación al valor inicial, sólo cambiando uno de los pigmentos 1:1 en peso, por otro de mayor densidad. Esto teniendo presente que, el caolín solo representaba el 17.8 % en peso de la mezcla de pigmentos. De haber reemplazado el carbonato o el dióxido de titanio, el impacto en el PVC hubiera sido mayor.

COMPONENTES	FRACCION EN PESO	GRAVEDAD ESPECIFICA	VOLUMEN FRACCIONAL	X <sub>i</sub>	X <sub>i</sub> /ρ <sub>i</sub>
Dióxido de Titanio	17.13	4.00	4.28	0.481	0.120
Carbonato de Calcio	9.39	2.71	3.46	0.263	0.097
Barita	6.26	4.50	1.39	0.176	0.039
Extender de titanio	2.86	2.42	1.18	0.080	0.033
Emulsión vinil-acrítica	34.16	1.19 (resina sólida)	14.64	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>69.80</b>		<b>24.95</b>	<b>1.000</b>	<b>0.289</b>

Tabla 6. Datos de los componentes requeridos para los cálculos del Caso 1

Caso 2. Analicemos ahora el caso contrario, al cambiar un pigmento de mayor densidad por uno de menor densidad. Para este caso, cambiaremos 1:1 en peso el contenido de carbonato por el extender de titanio. Manteniendo nuevamente constante la Rel. (p/l) así se tiene la tabla 10:

COMPONENTES	FRACCION EN PESO	GRAVEDAD ESPECIFICA	VOLUMEN FRACCIONAL	X <sub>i</sub>	X <sub>i</sub> /ρ <sub>i</sub>
Dióxido de Titanio	17.13	4.00	4.28	0.481	0.120
Caolín hidratado	6.96	2.66	2.35	0.176	0.066
Extender de titanio	12.25	2.42	5.06	0.343	0.142
Emulsión vinil-acrítica	34.16	1.19 (resina sólida)	14.64	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>70.50</b>		<b>26.33</b>	<b>1.000</b>	<b>0.328</b>

Tabla 7. Datos de los componentes requeridos para los cálculos del Caso 2

$$\rho_p = \left[ \sum \frac{x_i}{\rho_i} \right]^{-1} = 3.05 \quad \text{entonces} \quad \%PVC = \frac{2.046}{2.046 + \frac{3.05}{1.19}} = 44.39$$

En este caso, el PVC aumentó en un 2 % con relación al valor inicial. Es de anotar que, las resinas empleadas en las pinturas convencionales base agua o base disolvente presentan gravedades específicas, generalmente, entre 1.1-1.3 (valor referido a la resina sólida). Así, en caso de no disponer de los suficientes datos, puede emplearse el valor promedio de 1.2 para la gravedad específica de la resina sólida.

Aunque si bien, con estos ejemplos se pretendió ilustrar la influencia de las gravedades específicas de los pigmentos y cargas en el valor del PVC, es importante anotar que, cualquier cambio en alguno de los componentes de la formulación genera cambios a todo nivel (en mayor o menor grado) en las diferentes propiedades de la pintura (propiedades de aplicación, ópticas, mecánicas, de desempeño, entre otras). Sumado esto al hecho muy importante, de que existe un PVC crítico (o CPVC, por sus siglas en inglés), a partir del cual las propiedades cambian bruscamente, y **ciertamente, cualquier cambio en alguno de los componentes, genera un cambio en la ubicación de dicho CPVC (en otras palabras, cuando se cambia el PVC, se cambia la ubicación del CPVC). Es así, como el análisis de un cambio en cualquier formulación, es un proceso complejo.**

A modo de ilustración, analizaremos cuatro situaciones simples:

Para el análisis de estos ejemplos es necesario tener en cuenta que, muchas de las propiedades de los materiales que se presentan se refieren a las propiedades medidas y que se encuentran en la literatura para los materiales en estado puro sin tener presente las impurezas que estos materiales realmente presentan, que ciertamente son muy variables, ya que dependen de cada lote de fabricación, fabricante, y muchos otros factores que puede involucrar la extracción mineralógica de un mineral.

No olvidemos que las materias primas empleadas en pinturas, como los pigmentos, siempre contienen trazas de otros materiales, en este caso, otros minerales (incluso materia orgánica), que pueden afectar sus propiedades físico-químicas. Un talco, por ejemplo, la literatura reporta que posee una dureza de 1.0 en la escala de Mohs, mientras que un talco comercial actual puede presentar una dureza de hasta 3.0 en la escala de Mohs, valor afectado por las mencionadas impurezas que contiene el material.

Si cambiamos una carga de gravedad específica 2.71 -como el carbonato- (de forma de partícula nodular), por una de gravedad específica 4.50 -como la barita- (de forma de partícula laminar), esperaríamos una mejora en el poder cubriente; una disminución de la permeabilidad al agua de la película de pintura, y una disminución del PVC.

Si cambiamos una carga de gravedad específica 2.66 -como el caolín- (de forma de partícula laminar), por una de gravedad específica 4.50 -como la barita- (de forma de partícula laminar), esperaríamos un ligero aumento del poder cubriente de la película de pintura. Sustentado esto en el hecho de que, el caolín tiene un índice de refracción con relación al aire (IR) de 1.569, mientras que la barita posee un IR de 1.64; adicionalmente, se esperaría una disminución en el PVC.

Si cambiamos una carga -como el carbonato- (de gravedad específica 2.71, forma de partícula nodular, IR de 1.62, dureza de 3.0 en la escala de Mohs), por -dióxido de titanio- (de gravedad específica 4.00, forma de partícula nodular, IR de 2.71 y dureza de 6.5 en la escala de Mohs), se esperaría un aumento en el poder cubriente; un aumento de la dureza de la película de pintura; y una disminución en el PVC.

Si cambiamos una carga -como el caolín- (de gravedad específica 2.66, índice de absorción de aceite de 40 (gr./100gr de pigm) y forma de partícula laminar), por un extender de titanio -tipo sílica- (de gravedad específica 2.18, índice de absorción de aceite de 140 (gr./100gr de pigm), y amorfa), se esperaría un aumento apreciable en la viscosidad del sistema, ó la pintura líquida, debido a la alta absorción de aceite de la sílica; un aumento de la dureza de la película de pintura; y un aumento en el PVC de la pintura.

Así pues, el análisis de la influencia de uno de los componentes de una pintura, implica el conocimiento de muchos factores y la interacción entre éstos. Estas situaciones, no están más que planteadas a modo de ilustración, para mostrar que no se puede modificar una propiedad del sistema, en este caso, un parámetro de formulación como el PVC, sin modificar las propiedades de la pintura líquida, o de la película de pintura final.

En recubrimientos de bajo brillo el componente menos caro de la película seca del recubrimiento es el pigmento inerte; con el propósito de minimizar el costo del recubrimiento, es deseable maximizar el contenido del pigmento inerte.

**Análisis más específicos requerirán el conocimiento de más propiedades, mediciones experimentales, el valor del CPVC, entre otras.**

Existe una serie de variables de operación como función del PVC (Concentración en Volumen del Pigmento), que es el por ciento en volumen del pigmento en una película seca de pintura. (Algunos autores llaman al PVC como contenido en volumen del pigmento). El término PVC nunca debe ser usado para especificar el volumen de pigmento en una película húmeda.

Asbeck y Van Loo observaron que muchas propiedades de la película de la pintura cambiaban abruptamente a determinados PVC, tales como el brillo, la permeabilidad, porosidad, poder cubriente, poder tintóreo y subtono están directamente relacionados con la PVC. Una película de pintura seca es una estructura tridimensional y, como tal, las relaciones de volumen entre sus componentes tendrán un impacto importante en el desempeño de la pintura. La PVC es la proporción, por volumen, de todos los pigmentos en la pintura con respecto a los compuestos no volátiles totales.

Esta relación (PVC) nos da una idea de cómo está constituida la película, hasta cierto punto podemos predecir las características de los recubrimientos.

Características:

Estéticas: apariencia  
brillo  
tersura

Físicas: flexibilidad  
resistencia al impacto  
resistencia a la abrasión  
adherencia

Comportamiento y/o desempeño: permeabilidad  
corrosión  
ampollamiento

Así a una PVC particular, denominada la "*Concentración Crítica de Pigmento en Volumen*" (*Critical Pigment Volume Concentration*) (CPVC), muchas de las propiedades físicas y ópticas de la pintura cambian abruptamente. En general, la CPVC se considera como la PVC donde hay vehículo apenas suficiente para recubrir las superficies del pigmento y dar una fase continúa a través de toda la película.

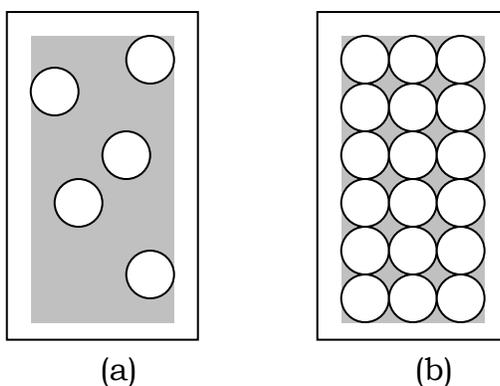


Figura 10. Representación del PVC (a) y CPVC (b).

Cuando las películas son preparadas para recubrimientos con PVC cerca al CPVC no existe una buena distribución uniforme del pigmento a través de la película seca. Así que algunas partes de la película pueden estar localizadas por arriba del CPVC y otras por debajo del CPVC.

La precisión y exactitud de las determinaciones del CPVC pueden variar sustancialmente dependiendo del método de determinación.

## 2.4. DETERMINACIÓN DEL CPVC

La concentración crítica del volumen de pigmento, ha sido determinada por diferentes procedimientos. En muchos casos, la reproducibilidad del valor es relativamente baja y menos cercana al valor verdadero, al mismo tiempo la precisión es también en algunas veces pobre o indeterminada.

Muchos cambios en las propiedades de la película han sido usados como medidas de determinación del CPVC. Para encontrar experimentalmente el CPVC se deben hacer una serie de pinturas donde generalmente se varía la proporción de pigmentos y resina para obtener un rango de PVC (usualmente de 20 a 70%) las cuales son evaluadas. Al graficar los datos obtenidos de la experimentación, se puede encontrar el CPVC que es un punto donde la curva muestra una discontinuidad o punto de inflexión.

Como es de esperarse, la complejidad y el costo de los métodos varían. Uno de los métodos más complejos y costoso es el llamado SLAM (Scanning Laser Acoustic Microscopy), en el cual la película de la pintura seca es introducida dentro de un sistema electrónico consistente en un scanner láser, un generador acústico y un escaneo microscópico acústico. Este sistema produce una imagen acústica de la película con huecos de aire los cuales son mostrados como puntos o barras oscuras, el PVC donde los puntos o barras oscuras comienzan a verse, por definición es el CPVC.

Otro método desarrollado por Cole combina técnicas gráficas y computacionales. Arriba o abajo del CPVC la ecuación

$$V = V_p + V_b \dots\dots\dots(7)$$

describe el volumen de la película seca de la pintura, donde  $V_p$  es el volumen real del pigmento y  $V_b$  es el volumen de la resina. Arriba del CPVC los huecos de aire introducen un factor  $P$  de empacamiento del pigmento (igual a la razón de volumen real), entonces la ecuación queda:

$$V = PV_p \dots\dots\dots(8)$$

Usando las ecuaciones (7) y (8) y si la pintura teóricamente tiene un volumen ( $V$ ) y un área ( $A$ ), entonces el espesor de la película puede ser calculado como:

$$At_c = V_p + V_b \dots\dots\dots(9)$$

pero si el espesor es medido entonces hay una relación entre el espesor medido y calculado que es:

$$\frac{(t_m - t_c)}{t_c} \dots\dots\dots(10)$$

si se grafica contra el PVC, el CPVC será el punto donde la curva intercepta el eje del PVC.

El CPVC puede ser determinado por filtración de una pintura el cual mide el volumen de pasta del pigmento filtrado. Asbeck recomienda un filtro de diseño especial que el le llamó celda de CPVC.

Por otro lado, la absorción de aceite es expresada como gramos de aceite de linaza por 100 gramos de pigmento, **CPVC esta expresada como mililitros de pigmento por 100 mL de película**;  $\rho$ = densidad de los pigmentos y 93.5 es 100 veces la densidad del aceite de linaza.

$$CPVC = \frac{1}{1 + \frac{(AO)(\rho)}{93.5}} \dots\dots\dots(7)$$

El significado de la interrelación depende de la observación que la AO y CPVC son aproximadamente independientes del vehículo o resina, dado que las partículas de pigmento no son floculadas. Esta ecuación puede ser razonablemente aproximada para el CPVC (**excepto en pinturas látex**) puesto que depende de la exactitud de la determinación de la AO de la combinación de los pigmentos.

Aunque el CPVC para pigmentos individuales y para combinaciones específicas de pigmentos puede ser calculado a partir de la absorción de aceite, el CPVC de valores de combinación de pigmento no puede ser calculado a partir de sus valores individuales, puesto que la diferencia en la distribución del tamaño de partícula con combinaciones de pigmento, afecta el factor de empacamiento o acomodo. **Los valores de AO de para cada combinación de pigmentos, debe ser calculado experimentalmente.**

Existen muchos trabajos en el CPVC de pinturas látex, que nos dicen que el CPVC debe ser considerado de diferente manera en pinturas látex que en pinturas base solvente.

Para determinar el CPVC en pinturas látex existen métodos donde se utiliza la porosidad de la película. Uno de esos métodos mide el manchado que

ocurre cuando una solución estandarizada de Gilsonita es vertida en una aplicación de película seca. El PVC donde hay un importante manchado por la Gilsonita, es el CPVC, el problema de este método es donde es el “importante manchado” ya que es muy subjetivo y cada persona puede determinarlo en diferentes puntos.

Otro de esos métodos utiliza la permeabilidad del vapor de agua de una película libre. La película es pasada rápidamente por la abertura de una copa que contiene agua. La prueba se realiza en condiciones controladas de humedad y temperatura. La permeabilidad del vapor de agua es calculada por la siguiente ecuación:

$$VP = \frac{W * t}{S(R_1 - R_2)} \dots\dots\dots(11)$$

donde:

W= vapor de agua transmitida

t= espesor de la película

S= presión de vapor saturada a la temperatura de la prueba

R<sub>1</sub>= humedad relativa dentro de la copa

R<sub>2</sub>= humedad relativa fuera de la copa

La permeabilidad del vapor de agua es graficada contra el PVC, el CPVC será el punto donde se incrementa súbitamente la permeabilidad.

Un estudio sobre el efecto del CPVC sobre el cubriente de pinturas látex, llevo a la conclusión de que el incremento de cubriente a un CPVC, es un método conveniente para la determinación del CPVC en pinturas látex.

Se ha encontrado que el LCPVC (Látex CPVC) es mucho menor que el CPVC de una pintura base solvente con la misma combinación de pigmentos.

Por lo tanto, aunque el CPVC es casi independiente de la resina en pinturas base solvente, el LCPVC varia con el látex y algunos otros componentes de las pinturas de látex. Se ha encontrado que el LCPVC se incrementa cuando el tamaño de partícula del látex decrece. También el LCPVC se incrementa como la Tg (temperatura de transición vítrea) del látex decrece y un agente coalescente incrementa el LCPVC. El binder index (índice de vehículo) (e) siempre será menor que 1 con la misma combinación de pigmentos.

$$e = \frac{Vs}{Vl} \dots\dots\dots(12)$$

Vs = razón de volumen del vehículo en base solvente

VI = razón de volumen del vehículo en base látex.

Si se sabe que el índice de vehículo para algunos látex puede ser calculado el LCPVC para pinturas hechas con ese látex y otros pigmentos de los valores de CPVC calculados de la absorción de aceite (o para mezclas de por el cálculo de AO, densidad y datos de tamaño de partícula).

Si la Tg del polímero es baja, la viscosidad del polímero a la misma temperatura es menor y la distancia que el látex puede penetrar a través de los aglomerados de las partículas del pigmento es mayor. Análogamente, la reducción de viscosidad del látex por coalescente incrementa el CPVC.

La emulsión esta presente en forma de macromoléculas, las cuales son extremadamente pequeñas en comparación con las partículas de pigmento. El ligante en una pintura basada en emulsión, esta compuesta de partículas discretas de polímero, las cuales pueden ser de hecho mucho más largas y grandes que algunas partículas de pigmento en el sistema.

Berardi ha definido el índice de poder de ligamiento (binding power index) como la razón de volumen de aceite requerido para humectar completamente y llenar los espacios de una cantidad dada de pigmento, para el volumen de sólidos en la emulsión requeridos para unir la misma cantidad de pigmento.

Uno de los métodos esta basado en el fenómeno de cubriente en seco (dry hiding) el cual es una consecuencia de la porosidad de la película de la pintura a PVC's mayores que el CPVC. Por definición el volumen del ligante presente en la película es insuficiente para llenar completamente los vacíos entre las partículas de pigmento.

Cuando pigmentos de alta opacidad tales como el  $TiO_2$  son usados, el incremento relativo en la razón de contraste al CPVC es mucho menor y no puede ser mayor que el orden del error experimental y este método no es usado usualmente.

Para realizar la experimentación por cubriente en seco para pinturas látex (relación de contraste), se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- El tamaño de partícula de una emulsión dada.
- La temperatura de transición vítrea (Tg).
- La concentración del agente coalescente sobre la resina sólida.
- Se debe establecer las experimentaciones a un mismo valor de sólidos en volumen.
- Desde luego, utilizar las mismas materias primas.
- Formular pinturas en un rango de PVC de 20 a 70%.

Después de dejar secar la película por tres días, obtener la relación de contraste de cada pintura y graficarlo contra el PVC.

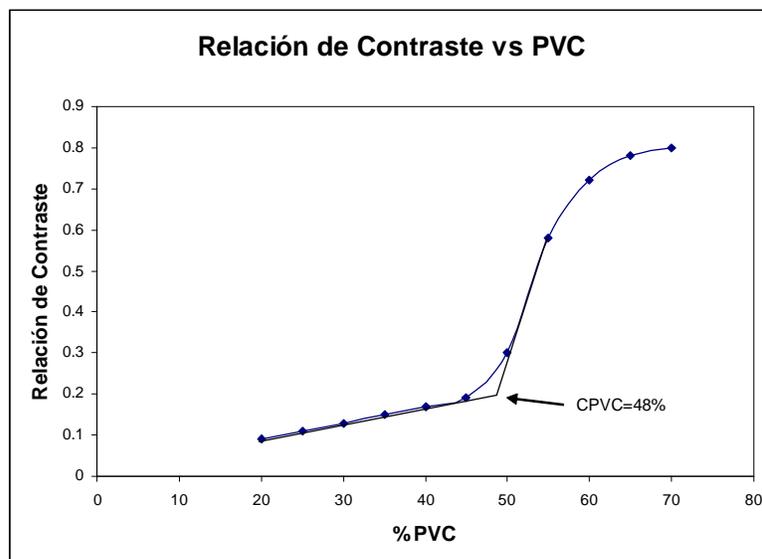


Gráfico 4. Relación de contraste vs PVC.

El CPVC obtenido de las experimentaciones es afectado por el grado de dispersión de las pinturas y la reproducibilidad de la dispersión del pigmento que esto es un verdadero problema para controlar las propiedades que sirven para determinar el CPVC, es decir, una mala dispersión o formación de la película siempre afecta los valores de CPVC obtenidos.

### ¿Cómo afecta la emulsión al CPVC?

En estudios realizados por Edward J. Schaller de la empresa Rohm and Haas en 1992, se encontró que el CPVC es afectado por tres propiedades de la emulsión:

1. El tamaño de partícula de la emulsión.
2. La temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ).
3. El agente coalescente.

Las CPVCs de una serie de pinturas preparadas con emulsión acrílica de idéntica composición a una  $T_g$  de 20°C pero variando el tamaño de partícula de 0.15 $\mu$  a 0.76 $\mu$  fueron determinadas por el método de la relación de contraste del cual se obtuvo la siguiente conclusión: El tamaño de partícula como función de la emulsión se observa que hay un incremento en el CPVC cuando el tamaño de partícula decrece.

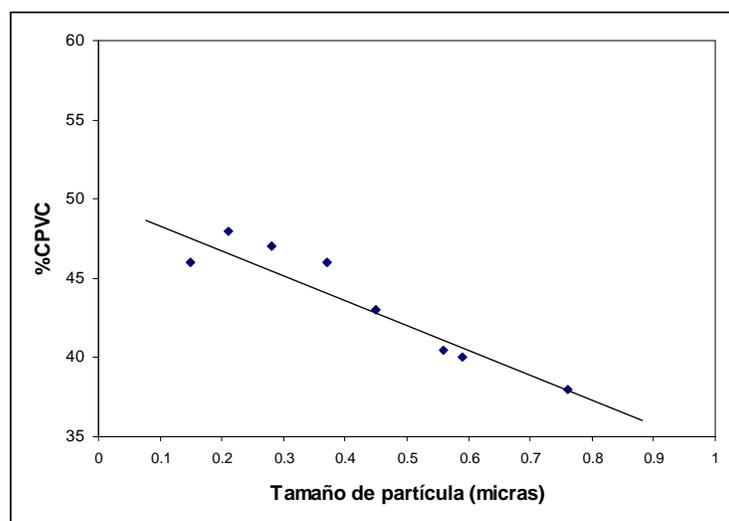


Gráfico 5. CPVC vs tamaño de partícula de la emulsión.

Por otro lado, dos series de emulsiones fueron preparadas las cuales variaban la temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) de  $-12^{\circ}\text{C}$  a  $+35^{\circ}\text{C}$  con un tamaño de partícula constante de  $0.2\mu$  y  $0.8\mu$ . Las emulsiones con una temperatura de transición vítrea baja el CPVC se incrementa.

De igual forma, se estudio el efecto del agente coalescente sobre el CPVC, al preparar las emulsiones del estudio del tamaño de partícula con concentraciones de hexilen glicol del 10 y 20% a una  $T_g$  de  $20^{\circ}\text{C}$  (Gráfica 7). Es importante notar que en todos los tamaños de partícula de  $0.15\mu$  a  $0.76\mu$  se observa un incremento del CPVC al 10% de coalescente el cual disminuye a una concentración de 20%, esto sugiere que se puede utilizar mucho coalescente hasta encontrar un punto óptimo de concentración de coalescente que nos de el máximo CPVC.

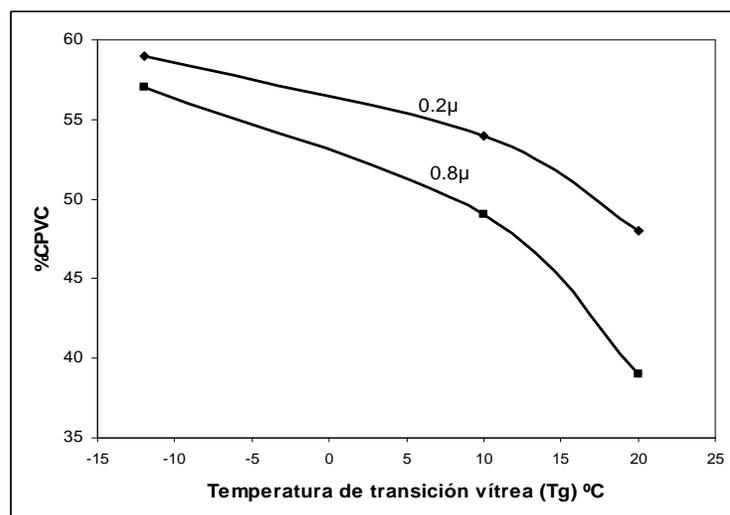


Gráfico 6. CPVC vs  $T_g$  de la emulsión a  $0.2\mu$  y  $0.8\mu$  de tamaño de partícula.

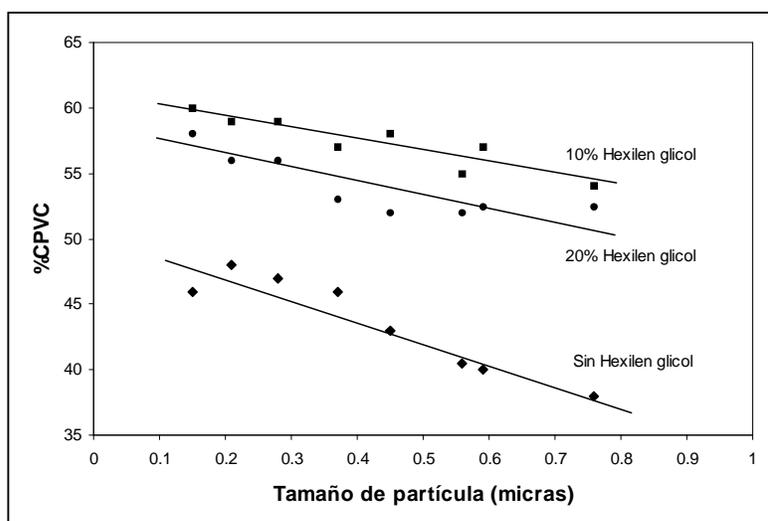


Gráfico 7. Efecto del agente coalescente sobre el CPVC a diferentes tamaños de partícula.

## 2.5. PROPIEDADES DE LA PELÍCULA Y EL CPVC

Las determinaciones del CPVC por el método de cubriente en seco o relación de contraste es una manera fácil y práctica para encontrar el CPVC, sin embargo, las otras propiedades de la pintura tienen inflexiones en diferentes regiones, esto sugiere que cada una de estas propiedades tienen su propio cambio en la morfología de la película de la pintura.

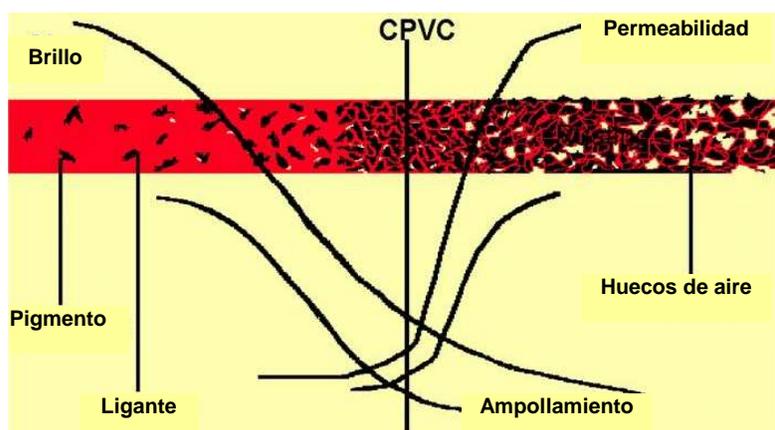


Figura 11. Propiedades afectadas por el CPVC

Consideremos:

En una película seca de pintura cada partícula de pigmento está cubierta en una capa de resina casi monomolecular adherida a la superficie y parte absorbida por el mismo (Va).

Parte de la resina rellena los intersticios entre pigmento y pigmento ( $V_b$ ). Además de la cantidad de pigmento ( $V_p$ ), figura 12, entonces:

$$CPVC = \frac{V_p}{V_p + V_a + V_b}$$

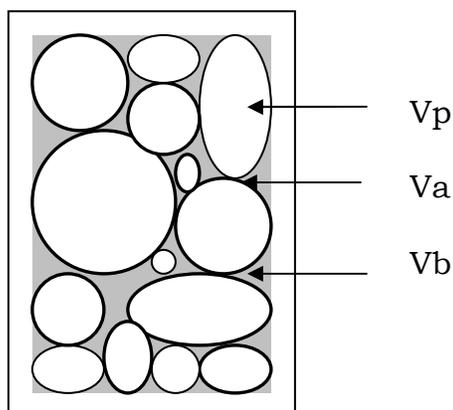


Figura 12

- Para cada combinación de pigmentos hay un solo CPVC en particular.
- Solamente cambiará cuando la combinación de pigmentos varíe en tipo o proporción entre estos.
- Hay pigmentos más porosos que tienen mayor absorción y demandan mayor cantidad de resina.
- Los pigmentos con menor tamaño de partícula, desarrollan mayor área superficial y demandan mayor cantidad de resina.
- Si sustituimos algunos de los pigmentos por otros de mayor absorción de aceite, el CPVC decrecerá ya que demanda mayor cantidad de resina ( $V_a$ ).
- El mismo fenómeno ocurrirá si aumentamos pigmento de mayor absorción a expensas del de menor absorción.
- Para elevar el CPVC tenemos que cambiar los pigmentos más absorbentes por otros de menor absorción.

El PVC puede ser fácilmente modificado, variando la proporción de pigmento/resina.

El nivel de pigmentación respecto al de resina, es muy importante para el formulador ya que de esto dependen las propiedades de la película seca.

<b>Acabado de la pintura</b>	<b>TiO2 %</b>	<b>Extender %</b>	<b>PVC %</b>	<b>Brillo @ 60° Unidades de Brillo</b>
Brillante	10 – 20	-	20	más de 60
Semi brillante	10 – 20	menos de 10	25 – 35	45 – 60
Satinada	10 – 20	10 – 30	35 – 45	60
Mate de alta calidad	10 – 20	menos de 10	50 – 60	menos de 10
Mate de baja calidad	5	35 – 40	70 o más	0 - 5

Tabla 8. Acabados de la pintura

Un incremento en el PVC refleja que el pigmento tiene más alta densidad que el vehículo. Sin embargo por arriba del CPVC la baja densidad del aire reduce la densidad de la película. Abajo del CPVC las partículas del pigmento sirve como reforzamiento de partículas e incrementa el Strength (poder tintóreo): esto puede ser considerado como moléculas del polímero absorbida sobre la superficie de las múltiples partículas del pigmento proporcionando el equivalente de enlaces cruzados. Por lo tanto, más fuerza es requerida para romper estos enlaces físicos con incremento de los niveles de pigmento. Sin embargo por arriba del CPVC, los huecos de aire debilitan la película.

Generalmente la abrasión y resistencia al desgaste (scrub resistance) también cae cuando el PVC el incremento es superior al CPVC.

En una falla cohesiva la película del recubrimiento se rompe y en una falla adhesiva existe separación de la interfase entre recubrimiento y sustrato.

La resistencia al manchado decrece rápidamente por arriba del CPVC, porque los líquidos manchadores pueden penetrar a través de los poros dejando color a su paso, que es difícil de remover. La porosidad también afecta otras propiedades.

Cuando el agua penetra a la madera después de la aplicación de la pintura, ésta puede escaparse a través de los poros de la pintura alcalina, cuando el PVC esta por encima del CPVC, pero no cuando el PVC esta por debajo del CPVC.

El cubriente va de un mínimo, que gradualmente crece con un incremento mayor en PVC, y entonces hay otro incremento por arriba del CPVC. Este incremento en cubriente por arriba del CPVC resulta de los vacíos de aire dejados en la película cuando el PVC esta por encima del CPVC.

Debido al elevado costo del  $\text{TiO}_2$  las pinturas generalmente no son formuladas con un PVC de  $\text{TiO}_2$  más alto que el de 18 %, desde que se incrementa el cubriente a un alto PVC este no es eficientemente costeable.

El CPVC generalmente incrementa cuando la absorción de aceite del  $\text{TiO}_2$  decrece. Para la eficiencia del Scattering (dispersión de la luz) incrementa con la absorción de aceite. Estos cambios reflejan el decrecimiento del tamaño de las partículas, cuando la absorción de aceite se incrementa.

La eficiencia de Scattering del  $\text{TiO}_2$  es también afectada por el tamaño de partícula de los pigmentos inertes con un tamaño de partícula mucho menor que el de Dióxido de Titanio (menos de  $0.2 \mu\text{m}$ ) incrementa la eficiencia por activación un llamado espaciador o extendedor de las partículas del  $\text{TiO}_2$ .

El Poder Tintoreal (Strength) de las pinturas blancas también incrementa significativamente cuando series de PVC son incrementadas más allá del CPVC. Los espacios de aire por arriba del CPVC incrementa la luz difractada, así que el color de una pintura seca tiene un color más intenso que uno de la misma cantidad de pigmento pero con un PVC debajo del CPVC.

Para alguna aplicación en particular hay una relación de PVC/CPVC más apropiada para la combinación de propiedades necesarias para esta aplicación. Esta relación ha sido establecida cambiando la combinación en pigmentos para que la aplicación deba ser hecha tal que esta relación PVC/CPVC sea mantenida. (Se verá un poco más adelante)

La decisión de proponer cargas de pigmento de una formulación particular debe ser basada en datos experimentales no en los mejores valores teóricos de PVC.

Cualitativamente los valores de adsorción de aceite y densidad para pigmentos individuales se usan junto con el reconocimiento que el CPVC incrementa usando mezcla de pigmentos con diferente tamaño de distribución de partícula. Una vez establecida la combinación de pigmentos se empiezan formulaciones en un rango razonable de composiciones.

### **Absorción de aceite**

La relación de pigmento a resina en volumen (PVC) y su idealizada forma de empaquetado (CPVC) es vital para entender la física de la pintura.

Es casi imposible calcular el CPVC de forma matemática, sin embargo se puede calcular por métodos empíricos de absorción de aceite y la densidad de los pigmentos.

La absorción de aceite es la medida de la cantidad de aceite necesaria para mojar la superficie de una cantidad de pigmento y llenar los espacios entre los pigmentos.

En la práctica se deja caer el aceite (de linaza) de una bureta y se va integrando el pigmento con una espátula (ASTM-D-281-84) esta cantidad de aceite nos da el volumen de resina en el punto CPVC (base solvente). La absorción de aceite depende de muchos factores como el tamaño y forma de partícula, la distribución de tamaño de partícula, la absorbencia, su facilidad de mojarse, capilaridad, etc.

Sabemos que en el punto CPVC tenemos resina para envolver el pigmento con una capa casi monomolecular y a la vez llenar los intersticios entre las partículas de pigmento. Por lo tanto el CPVC y el valor  $\lambda$ . no solo depende de la cantidad de pigmento sino también del tipo de pigmentos utilizados.

La determinación del CPVC por el método empírico de absorción de aceite y densidad, parece no ser solamente los más convenientes sino más precisos que los inexactos modelos matemáticos.

La determinación del CPVC por el método de "absorción de aceite con espátula" se lleva a efecto con la determinación anticipada de la absorción de aceite. En términos comunes es el peso de aceite por 100 gr. de pigmento y la consecuente transformación a unidades de volumen para calcular el PVC.

Factores que afectan la absorción de aceite:

- Número ácido del aceite de linaza
- Energía aplicada
- Tipo de equipo
- Acondicionamiento del pigmento
- La exacta determinación del punto final.

Propiedades que son afectadas por el CPVC

Físicas:

- densidad
- resistencia a la tensión
- adherencia

De permeabilidad:

- Porosidad
- Corrosión
- Ampollamiento
- Resistencia a la abrasión húmeda
- Manchado
- Retención de brillo (enamel holdout)

Ópticas:

- Desviación de la luz
- Relación de contraste
- Poder tintórea!
- Poder cubriente
- Brillo
- Satin

Factores que afectan el CPVC:

- Absorción de aceite del pigmento
- Intensidad y tiempo de la mezcla
- Presencia de agentes humectantes
- Empacado de partículas

### **Lambda $\lambda$ y CPVC**

En una pintura al incrementar la cantidad de pigmento en volumen, se va consumiendo resina y se agota la resina de los intersticios ( $V_b$ ) y va a formar parte de la envoltura del pigmento ( $V_a$ ), lo anterior significa que parte de  $V_b$  se convierte en  $V_a$ , sin embargo, la suma de  $V_a+V_b$  permanece constante.

En este caso que estamos analizando cuando la relación  $\frac{PVC}{CPVC}$  es mayor que uno. La resina de los intersticios es reemplazada por aire (Ver figura 10 (b)). Las propiedades de la película varían con estos cambios antes vistos entre pigmento y resina. Un producto duro, impermeable, de alto brillo con excelente resistencia a la corrosión, lo tendremos cuando  $\frac{PVC}{CPVC}$  ó  $\lambda$  es menor que 1. (Ver figura 10 (a))

Un producto relativamente mate, de baja impermeabilidad y mejor resistencia al ampollamiento. Las propiedades de cohesión y adhesión son reducidas pero pueden ser ajustadas. (Fig. 10 (b))

El último estado es cuando la resina ya esta en déficit produciendo una película mate, porosa, poco resistente a corrosión y de baja adherencia.

La relación  $\frac{PVC}{CPVC}$  es mayor que 1.

El PVC es un método ampliamente adoptado para saber la proporción de pigmento a resina, diferente al P/B (relación de pigmento sobre resina sólida en peso). El uso del PVC esta tan difundido actualmente que es empleado para definir cualquier formula y frecuentemente aparece en las especificaciones.

<b>Propiedades</b>	<b>Arriba del CPVC</b>	<b>Abajo del CPVC</b>
Resistencia al lavado	Pobre	Buena
Cubriente en seco de los extendedores	Bueno	Regular
Retención de brillo (hold-out)	Pobre	Buena
Resistencia a grasa y manchas	Pobre	Buena
Flexibilidad	Pobre	Buena
Resistencia a la eflorescencia de sales	Pobre	Buena
Resistencia al blocking	Pobre	Buena

Tabla 9. Propiedades que dependen del CPVC

Al remplazar los extendedores para modificar el satín (brillo), retocado resistencia al lavado debe tenerse en cuenta la absorción de agua de los pigmentos. El parámetro para formular PVC/CPVC es definitivamente la medida más realista para la calidad y comportamiento de la pintura arriba de CPVC.

## 2.6. FACTORES QUE CONTROLAN EL CPVC

La dispersión de los pigmentos afecta el CPVC como se mencionó anteriormente; los CPVC de películas para las pinturas en las cuales el pigmento es floculado, son mucho menor que los CPVC de pinturas correspondientes con dispersiones de pigmento no floculado. Por ejemplo, el CPVC decrece de 43 a 28% con el incremento de la floculación. Asbeck sugiere el uso del término UCPVC (último CPVC) para describir el CPVC con una combinación de pigmento no floculado.

Es mejor reconocer que la floculación es una de las muchas variables que pueden afectar el CPVC, especialmente puesto que es difícil determinar el UCPVC experimentalmente. Actualmente, el CPVC con una combinación dada de pigmento parece ser independiente de la composición del vehículo, excepto en pinturas de látex.

### Cubrimiento Seco

Es interesante que, cuando el aire se incorpora en una película de pintura como resultado de la formulación de recubrimientos altamente pigmentados

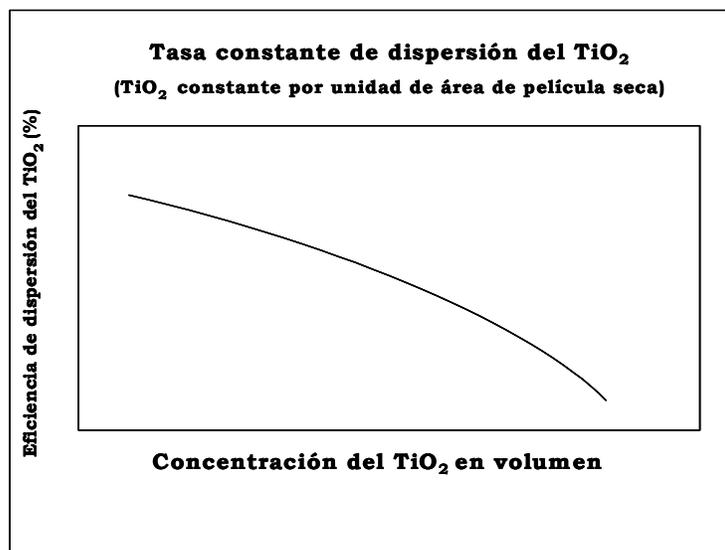
arriba de la CPVC, el índice de retracción promedio de la matriz del vehículo disminuye, incrementando la diferencia en el índice de refracción entre el pigmento y el medio que le rodea. El resultado es un incremento en la dispersión de la luz. Con frecuencia, los formuladores utilizan cubrimiento mate para mejorar el poder cubriente de los acabados arquitectónicos mate de bajo brillo para interiores.

### **Eficiencia de dispersión y opacidad del recubrimiento**

A medida que la PVC del  $\text{TiO}_2$  o la concentración de  $\text{TiO}_2$ ; por volumen (índice de  $\text{TiO}_2$ ) por volumen en la pintura con respecto a los compuestos no volátiles totales), aumenta aproximadamente sobre el 10%, la dispersión difractiva de la luz disminuye, debido al apiñamiento de las partículas de dióxido de titanio. El resultado de este efecto puede ilustrarse si se formula una serie de recubrimientos con un contenido de  $\text{TiO}_2$  por volumen cada vez mayor, pero con  $\text{TiO}_2$  constante por unidad de área de la película seca (grosor de la película cada vez menor, como se presenta en la Figura 10. Por otro lado, un incremento en la concentración de  $\text{TiO}_2$  por volumen con el mismo grosor de película mostrará, inicialmente, un incremento en la opacidad total del recubrimiento (a pesar de la pérdida en eficiencia), hasta aproximadamente 30% PVC. A partir de ese momento, el poder cubriente u opacidad disminuyen con cada adición posterior de dióxido de titanio, debido a que la eficiencia para dispersar la luz está cayendo más rápidamente que la capacidad para compensar una concentración de  $\text{TiO}_2$  más elevada. Esto continua hasta que se alcanza la CPVC, y en este punto, el inicio del cubrimiento mate seco hace que la opacidad incremente de nuevo, como se ilustra en la Figura 11.

### **Tratamiento Superficial del $\text{TiO}_2$**

Una forma de evitar el apiñamiento de las partículas de  $\text{TiO}_2$  en los pigmentos altamente pigmentados, consiste en recubrir la superficie del pigmento de manera controlada. Así, el recubrimiento superficial actúa como espaciador físico, manteniendo la separación entre las partículas adyacentes, minimizando las pérdidas en la eficiencia de dispersión difractiva de la luz, a medida que se incrementa la concentración de pigmento. Una unidad en peso de este pigmento especialmente recubierto, contiene menos  $\text{TiO}_2$ ; que su contraparte no recubierta, pero su capacidad para dispersar la luz es más elevada en la mayoría de las pinturas con alto PVC.

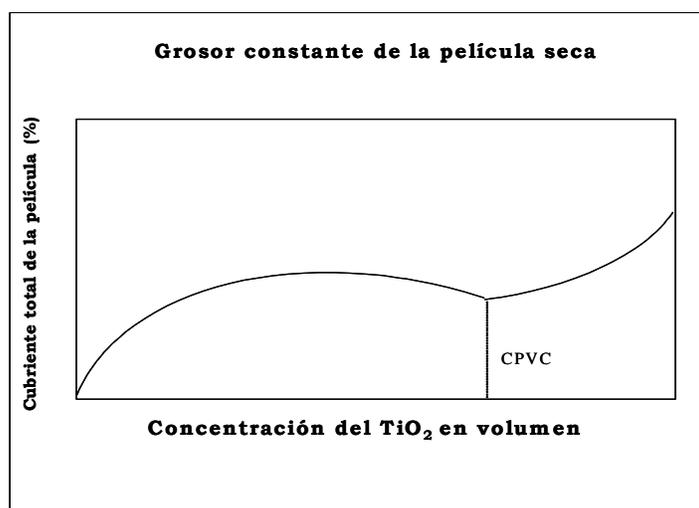


Gráfica 8. Tasa constante de dispersión del  $\text{TiO}_2$

### Color, tamaño de partícula y PVC

Con frecuencia el color y el subtono se confunden. Ahora bien, es posible que una pintura que tiene  $\text{TiO}_2$  de subtono azul tenga un color amarillo, debido a uno de los efectos no deseables que aparecen en la pintura. Los pigmentos de subtono azul y amarillo tendrán el mismo color o brillantez cuando sean medidos en fórmulas de recubrimientos blancos puros a opacidad completa.

Es probable que surjan más problemas en la igualación del color debido al uso de dióxido de titanio con el tamaño de partícula incorrecto y/o a la incapacidad de reconocer los cambios en el subtono que son ocasionados por la concentración de  $\text{TiO}_2$  y no por las combinaciones inadecuadas de los pigmentos coloreados.



Gráfica 9. Grosor constante de la película seca

Los efectos combinados del tamaño de partícula y la PVC del  $\text{TiO}_2$  PVC sobre el color de una pintura, son fundamentales. La disminución de la eficiencia para dispersar la luz, que se presenta a medida que la PVC del  $\text{TiO}_2$  incrementa, se presenta en mayor medida en la parte roja del espectro. Entonces, la luz reflejada cambia a la región azul al incrementarse la PVC.

### 3. ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DEL MERCADO DE PINTURAS ARQUITECTÓNICO.

#### 3.1. Principales empresas de recubrimientos en el mundo.

Este ranking se basa en ventas anuales de pintura, de recubrimientos, de pegamentos, de primarios y selladores y de otros productos relacionados. Para las compañías que se encuentran fuera de los Estados Unidos, las ventas se convirtieron a dólares americanos usando el tipo de cambio medio para el período fiscal de las compañías.

Ranking	Compañía	País	Venta de recubrimientos Millones de dólares	Venta de recubrimientos Millones de Litros
1	Akzo Nobel	Netherlands	6,905	1,330
2	PPG	USA	5,566	954
3	Sherwin-Williams	USA	5,534	1,058
4	ICI	UK	4,238	1,160
5	DuPont	USA	4,047	650
6	BASF	Germany	2,710	540
7	RPM	USA	2,647	489
8	Valspar	USA	2,442	940
9	SigmaKalon	Netherlands	2,211	730
10	Kansai	Japan	1,916	314
11	Nippon	Japan	1,890	452
12	Behr	USA	1,606	620
13	Comex	Mexico	1,190	398
14	Jotun	Norway	1,041	286
15	Benjamin Moore	USA	960	250
16	DAW	Germany	932	340
17	Hempel	Denmark	814	225
18	Korea Chemical	South Korea	805	250
19	Beckers	Sweden	775	172
20	Materis	France	660	180
21	Chugoku	Japan	610	204
22	Sto	Germany	589	220
23	Altana	Germany	582	100
24	Asian Paints	India	570	340
25	Tikkurila	Finland	569	143
26	Brillux	Germany	510	183
27	S K Kaken	Japan	455	119
28	Rohm and Haas	USA	431	125
29	Ostendorf	Germany	398	221
30	Orica	Australia	397	83
31	DNT	Japan	394	110

DEFINICIÓN DE MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN PARA LA SUSTITUCIÓN DE MATERIAS PRIMAS EN RECUBRIMIENTOS BASE AGUA INTERIORES Y EXTERIORES DE EDIFICIOS

32	Barloworld	South Africa	391	162
33	Kelly-Moore	USA	344	116
34	Stahl	Netherlands	343	76
35	Fujikura	Japan	339	83
36	Wattyl	Australia	324	77
37	Yasar	Turkey	291	95
38	Dyrup	Denmark	280	64
39	DPI	South Korea	264	103
40	IVM	Italy	257	90
41	Berger	India	250	154
42	Meffert	Germany	249	110
43	Teknos	Finland	244	50
44	Dunn-Edwards	USA	240	65
45	National	Jordan	235	194
46	Rock	Japan	231	96
47	CIN	Portugal	222	54
48	H B Fuller	USA	215	57
49	BASF CC	Germany	211	100
50	Yung Chi	Taiwan	209	112
51	Helios	Slovenia	206	71
52	Grebe	Germany	201	34
53	Renner	Brazil	180	76
54	V33	France	168	40
55	Flügger	Denmark	168	50
56	Wörwag	Germany	167	28
57	Titan	Spain	164	44
58	Arch	USA	160	44
59	Mankiewicz	Germany	155	23
60	FLH	Switzerland	153	40
61	3M	USA	150	40
62	M A Bruder	USA	150	40
63	Tohpe	Japan	145	50
64	Tigerwerk	Austria	143	42
65	Shinto	Japan	141	42
66	Motip	Netherlands	139	15
67	Vogel	USA	133	34
68	Boero	Italy	132	26
69	ACE	USA	130	39
70	Asahipen	Japan	121	32
71	Empils	Russia	117	68
72	Pacific Paint	Philippines	117	70
			62,872	15,992

Tabla 10. Ranking mundial de empresas de recubrimientos 2006

La tabla indica que para estar en este grupo, se necesita tener un nivel de entrada de ventas superior a los \$100 millones de dólares, moviéndose a \$200 millones para estar en los primeros 50, entonces hay que tener \$2 billones de dólares para conseguir estar en el exclusivo club de los 10 primeros.

De esos diez, cinco son de los E.E.U.U., dos de los Países Bajos y uno de Alemania, de Japón y del Reino Unido.

En los últimos tres años los cambios en el ranking han sido en mayor parte por las fusiones y las adquisiciones de compañías grandes con otras compañías grandes. A continuación se presentan las fusiones y/o adquisiciones de empresas más importantes.

<b>Adquisiciones y/o fusiones de empresas</b>			
Ameron	USA	por PPG	USA
Duron	USA	por Sherwin-Williams	USA
Ferro Powder	USA	por Akzo Nobel/Rohm and Haas	Netherlands/USA
NOF	Japan	por BASF	Germany
Polifarb Cieszyn	Poland	por SigmaKalon	Netherlands
Professional	USA	por Comex	Mexico
Relius	Germany	por BASF	Germany
Robbialac	Portugal	por Lafarge/Materis	France
Sico	Canada	por Akzo Nobel	Netherlands
Zolpan	France	por Lafarge/Materis	France
<b>Cambio de propietario</b>			
Lafarge	France	por CVC Capital Partners/Advent International	
Materis	France	por LBO France	France
Materis	France	por Wendel Investissement	France
SigmaKalon	Netherlands	por Bain Capital	USA
Stahl	Netherlands	por Wendel Investissement	France

Tabla 11. Cambios en las empresas de recubrimientos desde el 2003

### 3.2. Mercado mundial de pinturas arquitectónicas

Las empresas transnacionales e institutos de investigación de los países industrializados llevan años desarrollando métodos para la predicción del CPVC como parámetro de formulación de las pinturas base agua (punto de interés en este trabajo). En México como en otros países con economías emergentes, la aplicación de métodos confiables de formulación de pinturas es difícilmente investigado o se basan en recomendaciones de proveedores de materias primas, es por ello que la práctica confiable y científica de formulación es importante para minimizar costos y tiempos que se traducirán en beneficios económicos para la empresa.

Las pinturas decorativas o arquitectónicas están experimentando un mercado estancado en Europa Occidental. El crecimiento está principalmente en los países europeos Centrales y Orientales, así como en Asia donde China es el gran reto para los grandes productores de pintura europeos y americanos. El mercado estadounidense también ha crecido positivamente y América del Sur está creciendo a un paso moderado.

Los precios de compra de las materias primas están aumentando considerablemente, causados por los costos de inventario y el hecho que China está dando grandes créditos y produciendo volúmenes más grandes. Por otro lado la continua presión de los gobiernos en reducir los márgenes de regulación de las pinturas (p. e. la reducción de VOC “Compuestos Orgánicos Volátiles” entre otros) ha provocado la búsqueda de nuevos materiales que a su vez incrementan el costo de producción.

Actualmente el mercado esta muy fragmentado, incluso las compañías muy grandes solo participan por debajo del 10% en el mercado global, aunque de manera superior en Estados Unidos y Europa, estos fabricantes buscan afianzar buenos ingresos por inversión, lo cual es esencial para los productores de pintura.

Otros problemas importantes son el competir con las empresas fuertes, contar con cadenas del suministro eficaces, tener clientes fieles, una buena distribución y un claro enfoque a la innovación.

Históricamente, como se ve la empresa frente a sus clientes ha sido uno de los factores más importantes que se ha desarrollado a través de los años y con las adquisiciones u fusiones con otras empresas, se ha logrado una proyección de fortaleza en el mercado local y mundial.

<b>Tamaño del Mercado</b>	9 billones de litros
<b>Principales empresas</b>	Akzo Nobel, ICI, Nippon, Sherwin-Williams, SigmaKalon
<b>Porción de Mercado de las principales empresas</b>	33%
<b>Segundas principales empresas</b>	Behr, DAW, Kansai, PPG, Valspar
<b>Terceras principales empresas</b>	Asian Paints, Berger, Benjamin Moore, Comex, Ostendorf, SKKaken
<b>Crecimiento del Mercado (en volumen)</b>	2005 1%
	2006 1%

Tabla 12. Participación de las empresas en el mercado mundial

### 3.3. Mercado nacional de pinturas

Conocer el mercado nacional es de suma importancia, debido a que se debe saber el impacto y el beneficio que podrá tener en la industria de pinturas del país. Enseguida se muestran datos económicos y de mercado de las industrias de pinturas nacionales de manera general y hasta el año 2000.

Enseguida se muestra la participación del mercado mexicano de pinturas en el mundo.

Segmento	Europa		Norteamérica		Asia Pacífico		Resto del Mundo		Total	
	MM Dlls	%	MM Dlls	%	MM Dlls	%	MM Dlls	%	MM Dlls	%
Arquitectónico	10,300	41.8	7,250	35.2	8,000	53.3	6,300	59.4	31,850	45.0
Industrial	9,400	38.1	8,150	39.6	3,200	21.3	1,650	15.6	22,400	31.6
Propósito Especial	4,950	20.1	5,200	25.2	3,800	25.3	2,650	25.0	16,600	23.4
Totales	24,650	100.0	20,600	100.0	15,000	100.0	10,600	100.0	70,850	100.0
% del Total	34.8		29.1		21.2		15.0		100.0	

Tabla 13. Estimaciones Mercados de Pinturas y Recubrimientos en el Mundo, año 2000

	MM Dlls	%
México	1,220	1.7
Otros países de Latinoamérica	2,845	4.0
Todos los demás países	6,535	9.2
Total	10,600	15.0

Tabla 14. Columna del Resto del Mundo desglosada

Enseguida, se muestra el resumen de la participación de las diferentes líneas de productos que maneja la industria de pinturas en México.

	MM Lts	%/Total	MM \$	%/Total
• Pinturas Arquitectónicas	261.2	53.0	5,122	39.9
• Pinturas y Recubrimientos para Propósito Especial	53.5	10.9	2,309	18.0
• Pinturas y Recubrimientos Industriales y Equipo Original	104.4	21.2	4,982	38.3
• Disolventes y Adelgazadores	73.5	14.9	487	3.8
Total Mercado de Pinturas	492.6	100.0	12,841	100.0

Tabla 15. Mercado Mexicano de Pinturas (Volúmenes y Porcentajes de Participación en el 2000)

En primera instancia, se muestra como ha sido el desarrollo del mercado nacional desde el año 1998 hasta el 2000. En particular la participación de las pinturas comerciales o arquitectónicas ha sido mayor en el mercado mexicano.

DEFINICIÓN DE MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN PARA LA SUSTITUCIÓN DE MATERIAS PRIMAS EN RECUBRIMIENTOS BASE AGUA INTERIORES Y EXTERIORES DE EDIFICIOS

Tipo de Pintura	1998				1999				2000			
	Ms Lts	%	MM \$	%	Ms Lts	%	MM \$	%	Ms Lts	%	MM \$	%
Emulsionadas	167,000	39.5	2,047	20.3	175,320	39.3	2,364	20.1	192,501	39.1	2,829	22.0
Esmaltes	55,000	13.0	1,597	15.9	57,200	12.8	1,827	15.6	60,918	12.4	2,120	16.5
Otras Pinturas Comerciales	6,800	1.6	125	1.2	7,150	1.6	145	1.2	7,821	1.6	173	1.3
<b>I ) Total Pinturas Comerciales</b>	<b>228,800</b>	<b>54.1</b>	<b>3,769</b>	<b>37.4</b>	<b>239,670</b>	<b>53.7</b>	<b>4,336</b>	<b>36.9</b>	<b>261,240</b>	<b>53.0</b>	<b>5,122</b>	<b>39.9</b>
Pintura para Mantenimiento Industrial	12,000	2.8	408	4.0	12,600	2.8	471	4.0	13,608	2.8	555	4.3
Pintura para Mantenimiento Marino	1,850	0.4	80	0.8	1,915	0.4	91	0.8	2,073	0.4	107	0.8
Pintura para Transito	4,600	1.1	67	0.7	4,900	1.1	78	0.7	6,125	1.2	106	0.8
Repintado Automotriz	23,500	5.6	1,026	10.2	24,675	5.5	1,186	10.1	26,772	5.4	1,415	11.0
Aerosoles	4,300	1.0	93	0.9	4,601	1.0	109	0.9	4,880	1.0	127	1.0
<b>II) Total Pintura y Recubrimientos para Uso Especial</b>	<b>46,250</b>	<b>10.9</b>	<b>1,674</b>	<b>16.6</b>	<b>48,691</b>	<b>10.9</b>	<b>1,935</b>	<b>16.5</b>	<b>53,458</b>	<b>10.9</b>	<b>2,309</b>	<b>18.0</b>
Pintura Automotriz Original	31,000	7.3	2,669	26.5	33,480	7.5	3,171	27.0	41,180	8.4	2,569	20.2
Electrodomésticos	810	0.2	34	0.3	851	0.2	39	0.3	681	0.1	35	0.3
Productos para Madera	15,000	3.5	302	3.0	15,450	3.5	342	2.9	17,304	3.5	429	3.3
Fabricaciones metálicas	5,000	1.2	105	1.0	5,200	1.2	120	1.0	5,569	1.1	144	1.1
Pintura en Polvo	10,000	2.4	373	3.7	11,000	2.5	451	3.8	12,650	2.6	581	4.5
Rollos Metálicos	8,500	2.0	224	2.2	9,392	2.1	272	2.3	10,519	2.1	341	2.7
Envases Metálicos	4,400	1.0	107	1.1	4,652	1.0	125	1.1	4,894	1.0	147	1.1
Industrial Misceláneo	10,240	2.4	486	4.8	10,800	2.4	564	4.8	11,556	2.3	676	5.3
<b>III) Total Recubrimientos para Manufactura y Equipos Originales</b>	<b>84,950</b>	<b>20.1</b>	<b>4,300</b>	<b>42.7</b>	<b>90,825</b>	<b>20.4</b>	<b>5,084</b>	<b>43.3</b>	<b>104,353</b>	<b>21.2</b>	<b>4,922</b>	<b>38.3</b>
<b>I)+ II)+ III) Total Pinturas y Recubrimientos</b>	<b>360,000</b>	<b>85.1</b>	<b>9,743</b>	<b>96.7</b>	<b>379,186</b>	<b>85.0</b>	<b>11,355</b>	<b>96.7</b>	<b>419,052</b>	<b>85.1</b>	<b>12,354</b>	<b>96.2</b>
<b>IV ) Disolventes y Adelgazadores</b>	<b>63,000</b>	<b>14.9</b>	<b>330</b>	<b>3.3</b>	<b>66,780</b>	<b>15.0</b>	<b>385</b>	<b>3.3</b>	<b>73,458</b>	<b>14.9</b>	<b>487</b>	<b>3.8</b>
<b>Gran Total Mercado de Pinturas</b>	<b>423,000</b>	<b>100.0</b>	<b>10,073</b>	<b>100.0</b>	<b>445,966</b>	<b>100.0</b>	<b>11,740</b>	<b>100.0</b>	<b>492,510</b>	<b>100.0</b>	<b>12,841</b>	<b>100.0</b>

Tabla 16. Desarrollo del Mercado Mexicano de Pinturas 1998-2000

### 3.4. División del mercado nacional de pinturas arquitectónicas

Así mismo, las pinturas Arquitectónicas se dividen en varios tipos, como se muestra enseguida:

DEFINICIÓN DE MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN PARA LA SUSTITUCIÓN DE MATERIAS PRIMAS EN RECUBRIMIENTOS BASE AGUA INTERIORES Y EXTERIORES DE EDIFICIOS

<b>Distribución</b>	Miles Lts	%
• Vinílica	5,200	2.0
• Acrílica	13,100	5.0
• Vinil-Acrílica	166,201	63.7
• Selladores base agua	8,000	3.0
<b>Subtotal Emulsionadas</b>	<b>192,501</b>	<b>73.7</b>
• Alquidálicas	58,690	22.4
• Oleorresinoso	1,620	0.6
• Base agua	608	0.3
<b>Subtotal Esmaltes</b>	<b>60,918</b>	<b>23.3</b>
• Pintura en Polvo	1,000	0.4
• Texturizados	5,500	2.1
• Otras pinturas y acabados	1,321	0.5
<b>Subtotal Otras Pinturas</b>	<b>7,821</b>	<b>3.0</b>
<b>Total</b>	<b>261,240</b>	<b>100.0</b>

Tabla 17. Distribución de Pinturas Arquitectónicas

El consumo de pintura por habitante, ha ido creciendo hasta nuestros días como lo muestra la tabla siguiente:

Año	Litros de Pintura	Población MM habitantes	Litros per cápita
1990	342,040	81,250	4.21
1995	344,964	91,158	3.78
2000	492,510	97,483	5.03

Tabla 18. Consumo promedio de litro de Pintura por habitante

Otro factor importante es el precio de las pinturas, ya que influye directamente en el consumo de pintura por habitante, es decir, debe estar al alcance del consumidor.

<b>Tipo de Pintura</b>	<b>Pesos/Litro</b>
Emulsionadas	14.33
Esmaltes	32.72
Otras Pinturas Comerciales	22.12
<b>I) Total de Pinturas Comerciales</b>	<b>18.85</b>
Pintura para Mantenimiento Industrial	43.72
Pintura para Mantenimiento Marino	51.13
Pintura para Tráfico	19.10
Repintado Automotriz	60.06
Aerosoles	26.02
<b>II) Total de Pintura y Recubrimientos para uso Especial</b>	<b>47.76</b>
Pintura Automotriz Original	62.38
Electrodomésticos	49.94
Productos para Madera	26.81
Fabricaciones Metálicas	24.06
Pintura en Polvo	45.85
Rollos Metálicos	40.69
Envases Metálicos	31.67
Industrial Misceláneo	40.07
<b>III) Total Recubrimientos para Manufactura y Equipos Originales</b>	<b>47.17</b>
<b>I)+II)+III) Total Pinturas y Recubrimientos</b>	<b>29.48</b>
<b>IV) Disolventes y Adelgazadores</b>	<b>10.20</b>
<b>V) Gran Total Mercado de Pinturas</b>	<b>26.07</b>

Tabla 21. Precios Promedio por Litro, año 2000

Las pinturas Arquitectónicas emulsionadas base agua, son las de mayor producción y de menor costo, por lo que cualquier optimización en la formulación de pinturas impacta directamente en los costos de producción y en el precio final del producto.

Empresas transnacionales como Sherwin Williams que se encuentra posicionada en los primeros lugares de producción y ventas a nivel mundial, aplican e investigan sobre estos métodos de determinación del CPVC, lo que le ha traído beneficios.

Empresas mexicanas como en la que actualmente laboro, han investigado poco sobre estos métodos y solo realizan los cálculos de manera teórica lo que en ocasiones genera una información equivocada y un retraso en la obtención de formulaciones.

### **3.5. Crecimiento de las empresas mexicanas de pinturas**

Una de las empresas más importantes en México y América Latina es sin duda Comercial Mexicana de Pinturas S.A. de C.V. conocida como Comex la cual ha presentado un crecimiento importante con la adquisición de otras empresas y además de ampliar su catálogo de productos.

--Líder con más de la mitad del mercado de pinturas y ventas por 4 mil 400 millones de pesos en el 2003, y ventas por \$1.22 mil millones de dólares en el ejercicio 2005-2006.

Los personajes claves son: Marcos Achar, CEO de Comex; Leon Cohen, director de la división pinturas Comex; Kent Child, CEO de Professional Paint; y Dan Colbourne, CFO of Professional Paint.

Principales productos: Una amplia gama de recubrimientos y de productos relacionados, incluyendo formulaciones arquitectónicas, automotivas e industriales.

Durante los últimos 4 años Comex se ha centrado particularmente en ampliar su negocio en Norteamérica, con la compra de Professional Paint, Inc. (PPI) en 2004, Comex hizo que su entrada fuera excepcional en Norteamérica para establecerse como actor importante. Como el productor más grande de pintura de México con ventas en 2005 de \$1.22 mil millones, Comex ha continuado su iniciativa del crecimiento en Norteamérica con la compra reciente de Professional Paint la cual es la matriz de un grupo de compañías de pinturas como Frazee Paint, con presencia en San Diego, California, Kwal Paint, en Denver, Colorado, Parker Paint, en Tacoma,

Washington, Stellar Kwal Paint, en Dallas, Texas, General Paint, en Vancouver, Canadá, Ideal Paint, en Toronto, y Duckback Productos, en Chico, California.--<sup>1</sup>

--Los últimos años Comex los ha dedicado a una reingeniería de procesos con el fin de enfocar sus energías al servicio en los puntos de venta y ampliar su oferta.

En el 2003 invirtió en la remodelación de locales y orientó sus pasos hacia la asesoría en decoración, y cerrar con ello el paso a la competencia. Además, amplió su oferta a acabados de pintura como texturas, mármol aparente, tornasoles, etcétera.

Para atender el mercado automotriz, Comex firmó en 1995 una alianza con Akzo Nobel, y así tener acceso a tecnología de avanzada y a materias primas.

Otro de sus socios es Amercoat, firma especializada en mantenimiento anticorrosivo industrial, además de adquirir recientemente la empresa Color Wheel Paint & Coatings ubicada en Orlando, FL, Color Wheel es el mayor productor regional de pinturas arquitectónicas y recubrimientos. Incluye la adquisición de la planta de Color Wheel y 37 centros de servicio.--<sup>2</sup>

Grupo Comex desembolsará alrededor de 40 a 50 millones de dólares en la construcción de dos plantas de pintura en México.

--"La inversión la realizaremos en los próximos 18 meses y estarán situadas en el estado de México, así como en algún estado de la frontera norte del país. Queremos aprovechar nuestra reciente adquisición de la red de distribuidores en Estados Unidos para surtir del lado estadounidense", dijo en entrevista Alfredo Achar Tussie, presidente de la compañía.

Comex el año pasado elaboró 500 millones de litros de pintura y, para cuando concreten los planes de construcción de las mencionadas plantas, habrá ampliado su capacidad en 30%, explicó Achar luego de inaugurar una fábrica de paneles de yeso.

Este nuevo activo se construyó en el Parque Industrial Querétaro, donde ayer se anunció también el lanzamiento de la nueva marca para los paneles: Plaka Comex.

"Ya tenemos aquí mismo los terrenos y las instalaciones preparadas con lo que podremos ampliar su capacidad de 50% a 70%", detalló Achar. Se estima que el mercado de placas de yeso en el país tienen un valor de 300 millones de dólares. El año pasado 60 millones de metros de paneles se utilizaron por la industria de la construcción. El crecimiento en los últimos años fue de 15% anual.

La construcción de la nueva planta fue una coinversión con Lafarge, la firma más grande en la producción de cemento del mundo y el tercer jugador del orbe en la manufactura de paneles de yeso. Isidro Miranda, director general de Lafarge Gypsum, detalló que los planes son inaugurar 14 plantas en varios países este año.

Por lo pronto, la inversión realizada en México requirió de 50 millones de dólares, 60% los proveyó Comex con recursos propios y de créditos bancarios. El resto fue aportación de Lafarge, quien además puso el conocimiento técnico y la investigación de mercado. Alfredo Achar auguró que este nuevo negocio podría representar entre 10% y 15% de los ingresos del grupo Comex en cinco años.

Esta planta y el nuevo panel de yeso es el resultado de la alianza entre Grupo Comex y Lafarge Gypsum, anunciada en junio de 2005.--<sup>3</sup>

La exportación de México está creciendo más rápidamente, en aproximadamente ocho por ciento por año, que el crecimiento total de la producción local de los materiales de recubrimientos, estimada en aproximadamente cuatro por ciento, según el informe índices comerciales.

- 
1. <http://www.coatingsworld.com/articles/2006/07/top-companies-report.php>
  2. [http://www2.eluniversal.com.mx/pls/impreso/noticia.html?id\\_nota=42393&tabla=finanzas](http://www2.eluniversal.com.mx/pls/impreso/noticia.html?id_nota=42393&tabla=finanzas)
  3. <http://www.eluniversal.com.mx/finanzas/56512.html>

## 4. MÉTODOS EXPERIMENTALES CONSISTENTES Y CONFIABLES EN LA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE (CONCENTRACIÓN DE PIGMENTO EN VOLUMEN CRÍTICO) CPVC.

### 4.1. Métodos experimentales para determinar el CPVC

El diseño estadístico de experimentos es una herramienta el cual nos permite planear un experimento para obtener información (datos) que nos permite cumplir ciertos objetivos, estos datos se analizan mediante métodos estadísticos. Los resultados se interpretan y con base en todos los elementos del proceso de experimentación se generan conclusiones válidas y objetivas.

Cuando diseñamos un experimento buscamos diseñar el proceso de modo que haya mayor calidad, buscamos valores para los parámetros del proceso que mejoren el producto y que mejoren la calidad.

Un diseño de experimentos nos permite conocer los factores clave que afectan a la calidad y/o al rendimiento, nos da información para el desarrollo de nuevos procesos y muestra diseños del proceso robustos.

Los elementos de un experimento son la respuesta, los factores cualitativos o cuantitativos, los tratamientos, la unidad experimental, el error experimental y las interacciones.

Los diseños pueden ser completamente al azar, aleatorizado por bloques, cuadro latino, factorial, etc. los cuales pueden tener desde un factor con dos niveles hasta más factores y más niveles.

La experimentación tiene como propósito, la obtención de datos de CPVC por medio de la medición de algunas propiedades del producto terminado (pintura), estos datos o valores se comparan contra los datos teóricos del cálculo convencional del CPVC y se calcula su diferencia. Para el estudio se utilizaron las técnicas del diseño de experimentos sin seguir alguno en particular.

El primer paso, es especificar la formulación para preparar las muestras a diferente PVC. Los valores de PVC elegidos fueron: 25, 35, 45, 55, 65, y 75. Los extendedores utilizados en las formulaciones son los mismos cualitativamente y cuantitativamente, lo único que cambia es la relación de

volumen de pigmento y volumen de sólidos de la resina, tratando de mantener como valor fijo el porcentaje de sólidos en el producto.

Las pruebas generarán datos que se graficarán en función del PVC y así obtener gráficas para determinar de manera práctica el CPVC del producto.

A continuación se enuncian los métodos experimentales utilizados para obtener datos y así determinar los valores de CPVC.

#### **4.1.1 Resistencia Eléctrica.**

El equipo y los materiales utilizados son los siguientes:

- Potenciómetro para determinar la resistencia eléctrica de la película de pintura.
- Sustrato metálico conductor de energía eléctrica.
- Sal de mesa
- Esponja o pad

#### **Procedimiento**

- Preparar una solución salina al 1% de cualquier sal que forme electrólitos fuertes
- Se aplica la película de pintura con un espesor de 25 mils sobre el sustrato metálico, se deja curar durante 24 horas a condiciones normales de presión y temperatura.
- Humedecer el pad o esponja con la solución salina y humedecer una parte de la película, rápidamente se retira el exceso con otro pad seco y sin tardar se coloca uno de los electrodos sobre la superficie húmeda y otro sobre el sustrato para cerrar el circuito
- Leer la resistencia eléctrica de la película
- Obtener los datos y registrarlos.

Una de las limitaciones de este método es la presencia de aire durante la elaboración de las muestras; esto hace que la película presente poros y que la solución salina esté en contacto directo con el sustrato y el electrodo; lo anterior provocará que todas tus lecturas se encuentren aproximadas o con el mismo valor o bien con una resistencia eléctrica nula. Esto también se puede obtener cuando colocas el pad húmedo sobre la película y el electrodo sobre el pad por lo que no es recomendable.

#### **4.1.2. Relación de contraste (Opacidad)**

Es la capacidad de una película delgada o de una hoja de material tal como pintura o papel, de cubrir una superficie que se encuentre atrás y en contacto con ella, expresada como la razón del factor de reflectancia  $R_b$  cuando el material esta colocado sobre una superficie negra al factor de reflectancia  $R_w$  cuando este colocado sobre una superficie blanca.

Los equipos y materiales que se utilizan para hacer la determinación son los siguientes:

- Espectrofotómetro y software capaz de generar valores de reflectancia.
- Equipo automático para la aplicación de película
- Estufa u horno de secado con circulación forzada
- Enrasador de película con claro de 10 mils de pulgada.
- Tarjetas de aplicación para relación de contraste.

#### **Procedimiento**

- Agitar la muestra manualmente hasta homogeneizar (aprox. 1 min)
- Colocar la tarjeta de aplicación sobre el equipo automático de aplicación.
- Aplicar la muestra sobre la tarjeta de aplicación.
- Secar la aplicación en la estufa recirculación forzada a una temperatura de 50°C por 30 minutos.
- Leer la reflectancia de la aplicación sobre el fondo negro y sobre el fondo blanco, de acuerdo a las instrucciones del software y del espectrofotómetro.
- Obtener del software la opción de % de Opacidad o relación de contraste
- Obtener los datos y registrarlos

#### **4.1.3. Índice de Blancura (WI)**

Este índice se mide a pinturas látex de color blanco y se obtiene mediante valores de los triestímulos X, Y y Z obtenidos por un espectrofotómetro.

Los materiales y equipos a utilizar son los siguientes:

- Espectrofotómetro y software capaz de generar valores de reflectancia.
- Equipo automático para la aplicación de película
- Estufa u horno de secado con circulación forzada
- Enrasador de película con claro de 10 mils de pulgada.

- Tarjetas de aplicación para relación de contraste.

### **Procedimiento**

- Agitar la muestra manualmente hasta homogeneizar (aprox. 1 min)
- Colocar la tarjeta de aplicación sobre el equipo automático de aplicación.
- Aplicar la muestra sobre la tarjeta de aplicación.
- Secar la aplicación en la estufa recirculación forzada a una temperatura de 50°C por 30 minutos.
- Leer la reflectancia de la aplicación sobre el fondo negro y sobre el fondo blanco, de acuerdo a las instrucciones del software y del espectrofotómetro.
- Obtener del software la opción de índice de blancura (WI)
- Obtener los datos y registrarlos

#### **4.1.4. Brillo**

Es la propiedad óptica de los cuerpos que se manifiesta cuando el incide un rayo de luz y éste emite un reflejo. La geometría del ángulo y lugar de medición son elegidos en base al brillo esperado. Existen varios ángulos de incidencia pero los más comunes son: 20°, 60° y 85°.

Los equipos y materiales utilizados son los siguientes:

- Brillómetro con 3 ángulos de medición
- Vidrio plano transparente de 15 x 20cm y con un espesor de 3 a 5 mm preferentemente.
- Enrasador de película con claro de 5 mils de pulgada

### **Procedimiento**

- Agitar la muestra manualmente hasta homogeneizar (aprox. 1 min)
- Aplicar la muestra manualmente sobre el vidrio
- Dejar secar el vidrio con la aplicación en condiciones de 25 a 30°C por 60 minutos.
- Calibrar el brillómetro
- Colocar el brillómetro sobre la aplicación fijando los ángulos de medición a 60° y 85°
- Hacer las lecturas por triplicado en la parte central de la aplicación
- Promediar las 3 lecturas y registrarlas

#### **4.1.5. Resistencia a la abrasión**

Es la propiedad de las pinturas látex a resistir al desgaste de la película seca por un medio abrasivo representado en ciclos de desgaste.

Los equipos y materiales utilizados son los siguientes:

- Equipo para determinar resistencia a la abrasión
- Equipo automático para la aplicación de película
- Enrasador de película con claro de 7 mils de pulgada.
- Tarjetas plásticas de aplicación para resistencia a la abrasión.
- Solución de detergente comercial al 5% en peso
- Dos tiras de latón con espesor de 7 mils de pulgada por 1.3 cm de ancho y 15 cm de largo

#### **Procedimiento**

- Agitar la muestra manualmente hasta homogeneizar (aprox. 1 min)
- Colocar la tarjeta de aplicación sobre el equipo automático de aplicación.
- Aplicar la muestra sobre la tarjeta de aplicación.
- Secar la aplicación en condiciones normales ambientales por 7 días.
- Preparar el equipo para determinar resistencia a la abrasión colocando las tiras de latón sobre la superficie del vidrio de manera que quede adherida al vidrio a la mitad de la plancha de vidrio en posición perpendicular al largo del equipo.
- Colocar las aplicaciones dentro del equipo para determinar resistencia a la abrasión
- Armar el equipo colocando los cepillos (material abrasivo) y 3 ml de solución de detergente (medio abrasivo) sobre la aplicación y comenzar con los ciclos de resistencia a la abrasión
- Adicionar 3 ml de solución de detergente cada 300 ó 400 ciclos aprox. con la intención de no dejar la aplicación sin solución de detergente.
- Detener la prueba cuando se desgaste la película de pintura y se observe el fondo de la tarjeta en la posición de las tiras de latón.
- Obtener los ciclos y registrar los datos.

#### **4.1.6. Porosidad de la película**

La porosidad de la película se da cuando la pintura es formulada con un PVC por arriba del CPVC o la relación PVC/CPVC es mayor que 1, debido a los huecos de aire presentes en la película de la pintura seca. Por debajo del CPVC la película no presenta porosidad.

El equipo y material utilizado es el siguiente:

- Espectrofotómetro y software capaz de generar valores de reflectancia  $R_y$ .
- Equipo automático para la aplicación de película
- Enrasador de película con claro de 10 mils de pulgada.
- Tarjetas de aplicación para relación de contraste.
- Solución de gilsonita al 10% en peso
- Gas nafta
- Paños y brocha

### **Procedimiento**

- Agitar la muestra manualmente hasta homogeneizar (aprox. 1 min)
- Colocar la tarjeta de aplicación sobre el equipo automático de aplicación.
- Aplicar la muestra sobre la tarjeta de aplicación.
- Secar la aplicación a condiciones normales ambientales por 24 horas.
- Aplicar la solución de gilsonita con la brocha sobre la tarjeta en posición vertical cubriendo de la mitad hacia abajo y enjuagar con gas nafta, enseguida secar el exceso de gas nafta con un paño seco.
- Dejar secar por 4 horas para que se evapore el exceso de gas nafta
- Leer la reflectancia  $R_y$  de la aplicación sobre el fondo blanco donde no se aplicó la solución y otra lectura de  $R_y$  sobre el fondo blanco aplicada con la gilsonita
- Obtener del software la opción de  $R_y$  o reflectancia "Y"
- Obtener los datos y calcular  $DE = R_y \text{ sin gilsonita} - R_y \text{ con gilsonita}$
- Registrar los datos

### **4.2. Cálculos de determinación del CPVC teórico**

La formulación de la cual se partió para realizar las experimentaciones de la determinación del CPVC se encuentra en el Anexo 1 a la cual le llamaremos "STD", esta formulación tiene teóricamente un PVC arriba del CPVC (pintura mate de media calidad), pero hay propiedades (ver Tabla 13) que en dado caso cambian y esto es una sospecha que el CPVC verdadero se encuentra muy cerca del PVC y como se ha mencionado anteriormente, las propiedades pueden cambiar abruptamente en un momento dado con una pequeña variación en la formulación, es por esto que vamos a analizar esta formulación. Los parámetros de formulación se encuentran en la Tabla 12, en la cual se incluye el valor de PVC, CPVC y la relación PVC/CPVC obtenidos teóricamente.

$$\checkmark \text{ Densidad} = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}} = \frac{1293\text{g}}{1000\text{mL}}$$

$$\checkmark \% \text{Dioxido de Titanio} = \frac{\text{masa}}{\text{masa total}} = \frac{122\text{g}}{1293\text{g}} = 9.437$$

$$\checkmark \% \text{Peso de Pigmento} = \frac{\text{masa de pigmentos}}{\text{masa total}} = \frac{420.25\text{g}}{1293\text{g}} = 32.506$$

$$\checkmark \% \text{Volumen de Pigmento} = \frac{\text{volumen de pigmentos}}{\text{masa total}} = \frac{147.142\text{mL}}{1293\text{g}} = 11.381$$

de la ec. (6)

$$\checkmark \rho_R = \frac{(X_{R.L.})(\rho_{R.L.})(\rho_D)}{(\rho_D) - (1 - X_{R.L.})\rho_{R.L.}} = \frac{(0.55)(1.045)(1.0)}{(1 - (1 - 0.55))(1.045)} = 1.085$$

$$\checkmark \% \text{Volumen de Sólidos Resina} = \frac{(\% \text{ peso emulsión})(X_{R.L.})}{\rho_R}$$

$$\% \text{Volumen de Sólidos Resina} = \frac{(27.75)(0.55)}{1.085} = 14.066$$

$$\checkmark \% \text{Sólidos Volumen} = \frac{\left(\frac{\text{masa sol emulsión}}{\rho_R}\right) + \text{volumen de pigmentos}}{\text{volumen total}}$$

$$\% \text{Sólidos Volumen} = \frac{\left(\frac{197.311}{1.085}\right)\text{mL} + 147.142\text{mL}}{1000\text{mL}} = 32.892$$

$$\checkmark \% \text{Sólidos Totales} = \frac{(\text{suma de masa sol pintura})}{\text{masa total}} = \frac{634.89}{1293} = 49.108$$

$$\checkmark \% \text{PVC} = \frac{\text{vol de pig}}{\text{vol de pig} + \text{vol de res sol}} = \frac{147.142\text{mL}}{147.142\text{mL} + \left(\frac{197.311}{1.085}\right)\text{mL}} = 44.723$$

El cálculo del CPVC se hace con los CPVC de cada pigmento y al final se suman.

$$\checkmark \text{CPVC}_{\text{TiO}_2} = \frac{1}{1 + \frac{(AO \text{ pig})(\rho_{\text{pig}})}{93.5}} \left( \frac{\text{vol pig}}{\text{vol total pig}} \right) * 100 = \frac{1}{1 + \frac{(20.0)(4.0)}{93.5}} \left( \frac{30.5}{147.14} \right) = 11.17$$

$$\begin{aligned} \checkmark \quad CPVC_{Caolin \text{ calc}} &= \frac{1}{1 + \frac{(AO \text{ pig})(\rho_{pig})}{93.5}} \left( \frac{vol \text{ pig}}{vol \text{ total pig}} \right) * 100 = \frac{1}{1 + \frac{(60.0)(2.62)}{93.5}} \left( \frac{18.21}{147.14} \right) = 4.61 \\ \checkmark \quad CPVC_{Talco \ 1} &= \frac{1}{1 + \frac{(AO \text{ pig})(\rho_{pig})}{93.5}} \left( \frac{vol \text{ pig}}{vol \text{ total pig}} \right) * 100 = \frac{1}{1 + \frac{(52.5)(2.80)}{93.5}} \left( \frac{33.57}{147.14} \right) = 8.87 \\ \checkmark \quad CPVC_{Talco \ 2} &= \frac{1}{1 + \frac{(AO \text{ pig})(\rho_{pig})}{93.5}} \left( \frac{vol \text{ pig}}{vol \text{ total pig}} \right) * 100 = \frac{1}{1 + \frac{(36.0)(2.80)}{93.5}} \left( \frac{11.90}{147.14} \right) = 3.89 \\ \checkmark \quad CPVC_{Tierra \ Deat} &= \frac{1}{1 + \frac{(AO \text{ pig})(\rho_{pig})}{93.5}} \left( \frac{vol \text{ pig}}{vol \text{ total pig}} \right) * 100 = \frac{1}{1 + \frac{(200.0)(2.30)}{93.5}} \left( \frac{48.26}{147.14} \right) = 5.54 \\ \checkmark \quad CPVC_{Caolin \ sint} &= \frac{1}{1 + \frac{(AO \text{ pig})(\rho_{pig})}{93.5}} \left( \frac{vol \text{ pig}}{vol \text{ total pig}} \right) * 100 = \frac{1}{1 + \frac{(46.0)(2.60)}{93.5}} \left( \frac{4.70}{147.14} \right) = 1.40 \\ \checkmark \quad CPVC_{Total} &= 11.17 + 4.61 + 8.87 + 3.89 + 5.54 + 1.40 = 35.49 \end{aligned}$$

$$\%AO \ Total = \sum_{i=1}^n \frac{(masa \ pigm_i)(AO \ pigm_i)}{100} = \frac{2440 + 2862 + 4935 + 1200 + 22200 + 562}{100} = 341.99$$

En la siguiente tabla se muestran resumidos los resultados obtenidos anteriormente:

PARÁMETROS DE FORMULACIÓN	FORMULA DE PRUEBA (STD)
Densidad (g/mL)	1.293
% Dióxido de titanio	9.437
% Peso de pigmento	32.506
% Volumen pigmento	11.381
% Volumen de sólidos resina	14.067
% Sólidos volumen	32.892
<b>% Sólidos totales</b>	<b>49.108</b>
<b>% PVC</b>	<b>44.723</b>
<b>% CPVC</b>	<b>35.490</b>
<b>PVC/CPVC</b>	<b>1.260</b>
Absorción de aceite total	341.990

Tabla 19. Parámetros de Formulación

La siguiente tabla muestra las propiedades que se han obtenido de la pintura STD, las cuales muestran un rango amplio de propiedades debido a los cambios abruptos en las propiedades con pequeñas variaciones en el proceso de fabricación.

Viscosidad (KU) @ 25°C	90 – 100
Densidad (g/mL) @ 25°C	1.280 – 1.310
pH @ 25°C	8 – 9.5
Opacidad (%) @ 10 mils hum de espesor.	98.0 Mínimo
Blancura WI (%) @ 10 mils hum de espesor	72.0 Mínimo
Amarillamiento YI (%) @ 10 mils hum de espesor	8.0 Máximo
Brillo @ 60°	< 3.0
Brillo @ 85°	< 5.0
Poder tintóreo (Tint Strength)*	50.0 – 55.0
Resistencia a la abrasión (Lavabilidad)	2000 – 5000

Tabla 20. Propiedades físicas básicas de la pintura “STD”

\*Nota: El poder tintóreo se basa en entintar la base blanca con el colorante Negro de Humo en una proporción de 1mL de colorante por cada 200 mL de base blanca.

## 5. CASO DE ESTUDIO

### 5.1. Definición del alcance

Comencemos por afirmar que el objetivo de cualquier proyecto es siempre triple. Muchos de los defectos habituales en la administración de proyectos provienen de olvidar este elemental hecho, pensando que para el éxito del proyecto basta conseguir uno o dos de los objetivos o que la importancia relativa entre los mismos es muy diferente. *El triple objetivo* de un proyecto puede representarse en un triángulo donde los vértices de este son necesarios e igualmente importantes. (Figura 13).

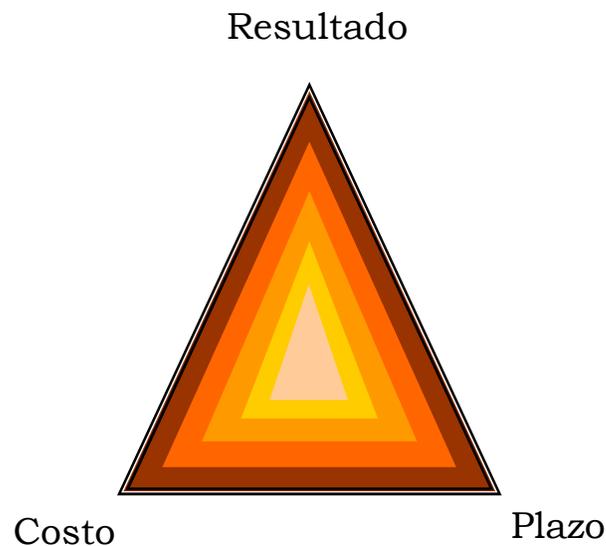


Figura 13. Triángulo de objetivos de un Proyecto

El primer objetivo es, *la eficacia del resultado final* del proyecto, ésta consiste en la obra que se desea realizar y que supone el origen y justificación del proyecto, por lo que puede considerarse el objetivo más importante y significativo. El proyecto se ha concebido y constituido por una razón. Si eso no se consigue, el proyecto habrá fracasado, al margen de otras consideraciones de costo y tiempo. Pero a su vez debemos pensar que los otros dos objetivos son casi tan importantes como el primero y en general

son los elementos que determinan el grado de éxito del proyecto, la satisfacción del cliente.

En la práctica lo más frecuente es que el objetivo de *resultado* se consiga, pero suele fallar la consecución de los objetivos de *costo* y *plazo*. La tarea del líder de proyecto es alcanzar un equilibrio y la satisfacción del triple objetivo del proyecto, haciendo lo posible por concluir la parte funcional o técnica del proyecto en el menor tiempo y al mejor costo posible. (figura 14)

El establecimiento de los objetivos de un proyecto es una misión que requiere contar con la mayor cantidad y calidad de información de las necesidades que el cliente tiene, a fin de delimitar y estructurar una propuesta que satisfaga a detalle la dimensión técnica, humana y administrativa que el proyecto exige.

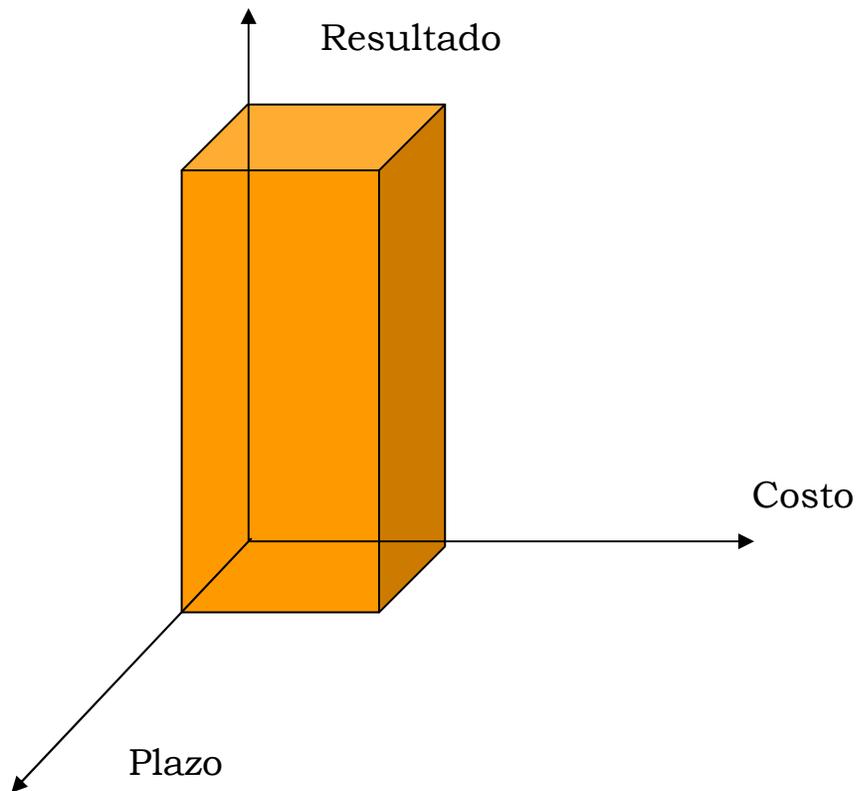


Figura 14. Prisma de Objetivos

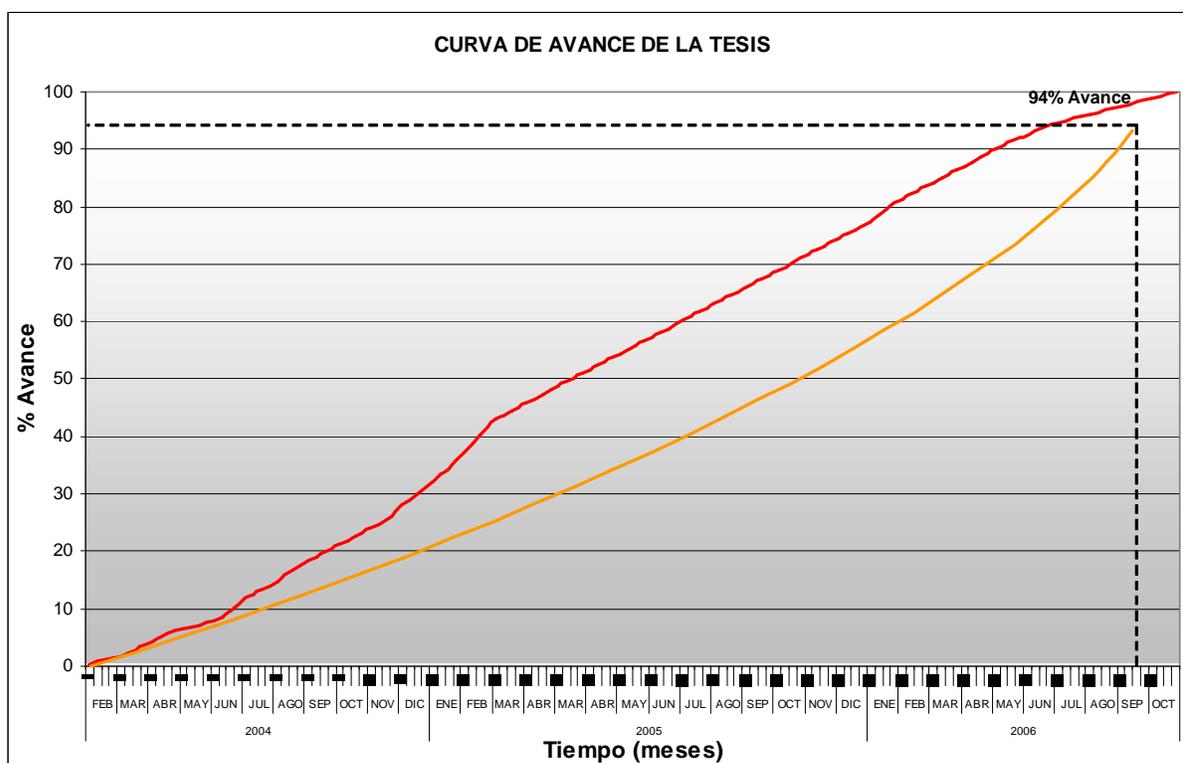
A esto se le denomina establecer el *alcance del proyecto* y su función principal es situar formalmente hasta donde llegan las necesidades del cliente y hasta donde llegan nuestros compromisos contraídos como contratista.

El alcance del presente estudio es aportar una nueva manera de calcular el CPVC en la formulación de pinturas arquitectónicas base agua (excluyendo a otro tipo de pinturas p.e. en polvo, electrodeposición, texturizados, etc.), dirigido a los formuladores e interesados en la formulación de estos productos, el cual tiene como propósito tener un mejor entendimiento de las formulaciones y/o predecir con mayor certidumbre las propiedades finales de nuestra pintura, así como obtener un valor más preciso del CPVC, lo cual nos permitirá sustituir las materias primas de una manera eficiente y confiable.

## 5.2. Programa de actividades y curva de avance

Las actividades planeadas para el presente estudio son presentados en la figura 15, el cual tiene una duración de tres años aprox. siendo las actividades de mayor duración, el presente caso de estudio, debido a que en este capítulo se hicieron las experimentaciones para la obtención de los datos para el cálculo del CPVC.

La curva de avance se encuentra en la gráfica 10 donde se muestra que nos encontramos en un 94% de avance del proyecto.



Gráfica 10. Curva de Avance



### **5.3. Materiales y Equipos utilizados para el desarrollo de la experimentación.**

Los materiales y equipos utilizados para la obtención de las muestras a diferente PVC son los siguientes:

#### **Materiales y equipos:**

- Recipiente con capacidad de 1L de plástico o acero inox.
- Equipo dispersor tipo cowless de velocidad variable (0 a 2000 rpm)
- Propela tipo “High Speed Disk” (HSD) de acero inox.
- Sistema colector de polvos
- Equipo de seguridad (lentes, bata de algodón y guantes de vinilo)
- Espátula de 6 pulgadas de acero inox.
- Grindómetro
- Termómetro
- Balanza con precisión de 0.01g
- Viscosímetro tipo Brookfield RVT
- Viscosímetro tipo Stormer
- Potenciómetro
- Copa de 100 mL (picnómetro) para medir densidad
- Baño María

### **5.4 Procedimiento de fabricación pinturas a nivel laboratorio**

1. Se verifica que se cuente con las materias primas que indica la formulación para hacer la pintura.
2. Se calculan los materiales necesarios para hacer un litro de pintura.
3. Usar el equipo de seguridad.

#### *Etapa de dispersión o empastado*

4. Encender el sistema colector de polvos
5. Realizar las pesadas de las materias primas líquidas que indica la fórmula
6. Adicionar los materiales en el orden descrito en la fórmula al recipiente donde se va a realizar la pintura.
7. Agitar los materiales en el recipiente mediante el equipo cowless a una velocidad de 300 rpm durante 3 min.
8. Pesar los materiales sólidos,
9. Adicionar los materiales sólidos en el orden descrito en la fórmula a una velocidad tal que permita al equipo incorporar los materiales evitando asentamiento o flotación de los materiales en el recipiente.

10. Aumentar la velocidad hasta alcanzar las 1800 rpm durante 20 minutos. Transcurrido el tiempo apagar el sistema de agitación.
11. Tomar una muestra y verificar el grado de finura con el grindómetro.  
*Nota: Finura es el grado de molienda de los pigmentos y las unidades son Hegman. Escala de 0 (100  $\mu$ icras) a 8H (0  $\mu$ icras) 1H=12.5  $\mu$ icras aprox.*
12. Si la finura es mínimo 2 continuar con la etapa de ampliado, sino dejar agitar por 5 minutos más y verificar nuevamente la finura hasta obtener un valor mínimo de 2.

### Etapa de Ampliado

13. Agitar los materiales a una velocidad de 500 rpm.
14. Adicionar a la pasta los materiales en el orden indicado en la formula, procurando que los materiales se adicionen en agitación.
15. Dejar agitar por 15 minutos o hasta obtener una completa incorporación de los materiales. Transcurrido el tiempo apagar el sistema de agitación.
16. Retirar la pintura del equipo
17. Limpiar equipo utilizado en el proceso.

### Medición de propiedades

18. Usar el termómetro para medir la temperatura de la pintura
19. Si la temperatura es de 25°C continuar con la evaluación, de lo contrario utilizar un baño maría y homogeneizar la muestra con la espátula hasta tener una temperatura de 25°C.
20. Medir la viscosidad con el equipo tipo Brookfield y Stormer siguiendo el siguiente procedimiento:

#### *Viscosímetro Brookfield RVT*

1. Verificar que el viscosímetro se encuentre calibrado y nivelado.
2. Fijar la velocidad del viscosímetro a 10 rpm y utilizar la aguja No. 4.
3. Colocar el recipiente de pintura, debajo del cabezal del viscosímetro.
4. Tomar la aguja No. 4 y sumergir la aguja en la muestra antes de la marca de inmersión.
5. Atornillar la aguja a la parte inferior del cabezal del equipo teniendo cuidado de no ejercer demasiada presión que afecte al equipo.
6. Verificar que la aguja se encuentre en el centro del recipiente de pintura y en la marca de inmersión.
7. Encienda el equipo y verifique que el equipo marque “cero”.

8. Encender y/o arrancar el equipo y esperar hasta que la lectura se estabilice.
9. Tomar lectura y reportar en unidades “cP” centiposises.
10. Apagar y/o parar el equipo.
11. Quitar la aguja con cuidado y limpiar el equipo.

*Viscosímetro Stormer*

12. Verificar que el viscosímetro se encuentre calibrado y nivelado.
  13. Seleccionar las unidades Krebs con la perilla que tiene el equipo en la parte frontal.
  14. Verificar que el equipo marque “cero” bajando la palanca. Regresar la palanca a su posición normal.
  15. Instalar la aguja por la parte inferior del equipo y atornillar.
  16. Colocar el recipiente de pintura, debajo del cabezal del viscosímetro.
  17. Bajar la palanca hasta la marca de inmersión y esperar a que la lectura se estabilice.
  18. Tomar lectura y reportar en unidades “KU” Krebs.
  19. Regresar la palanca a su posición normal.
  20. Quitar la aguja con cuidado y limpiar el equipo
21. Medir el pH con el potenciómetro, siguiendo el siguiente procedimiento:
1. Verificar que el potenciómetro se encuentre calibrado.
  2. Enjuagar el electrodo con agua destilada y secarlo con papel absorbente y colocar el recipiente con la pintura.
  3. Sumergir la punta del electrodo en la muestra.
  4. Oprimir el botón para dar inicio a la lectura de pH.
  5. Esperar a que la lectura se estabilice.
  6. Oprimir el botón para poner el equipo en “Stand by” para poder retirar el electrodo de la muestra.
  7. Tomar lectura y reportar valor de pH.
  8. Lavar el electrodo con agua normal hasta eliminar por completo la pintura y enjuagar con agua destilada, regresar el electrodo a su depósito de agua destilada.

22. Medir la densidad con el picnómetro, siguiendo el siguiente procedimiento:

1. Verificar que el picnómetro o copa de densidad se encuentre calibrado.
2. Colocar la copa de densidad en la balanza y tarar.
3. Llenar la copa con la pintura y tapar dejando fluir la pintura por el orificio abierto.
4. Retirar el exceso de pintura que fluyó por el orificio limpiando cuidadosamente con papel o franela.
5. Colocar de nueva cuenta la copa sobre la balanza y anotar el peso.
6. Dividir entre 100 el peso y reportar densidad en unidades "g/mL".
7. Regresar la muestra al recipiente de pintura y lavar la copa de densidad.

Una vez fabricadas y evaluadas las pinturas a diferentes PVC's, se envasaron y almacenaron para su posterior evaluación de las propiedades que influirán en el calculo y/o determinación del CPVC.

A continuación se muestra el procedimiento para evaluar una materia prima en un desarrollo de formulación.

### **5.5 Procedimiento general de evaluación de materia prima**

- a) La muestra debe ser en cantidad suficiente para llevar a cabo la evaluación.
- b) El departamento de formulación define los objetivos de la evaluación. Proporciona la información técnica disponible y asigna a un responsable de la evaluación.
- c) Es necesario revisar si los objetivos planteados son viables en función de la revisión de la documentación técnica e información previa existente del material o materiales similares, antes de proseguir a elaborar un plan de trabajo.
- d) La persona asignada revisa la información técnica proporcionada y de acuerdo a los objetivos planteados, estructura un plan de evaluación que permita determinar la potencial ventaja de la materia prima.

DEFINICIÓN DE MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN PARA LA SUSTITUCIÓN DE MATERIAS PRIMAS EN RECUBRIMIENTOS BASE AGUA INTERIORES Y EXTERIORES DE EDIFICIOS

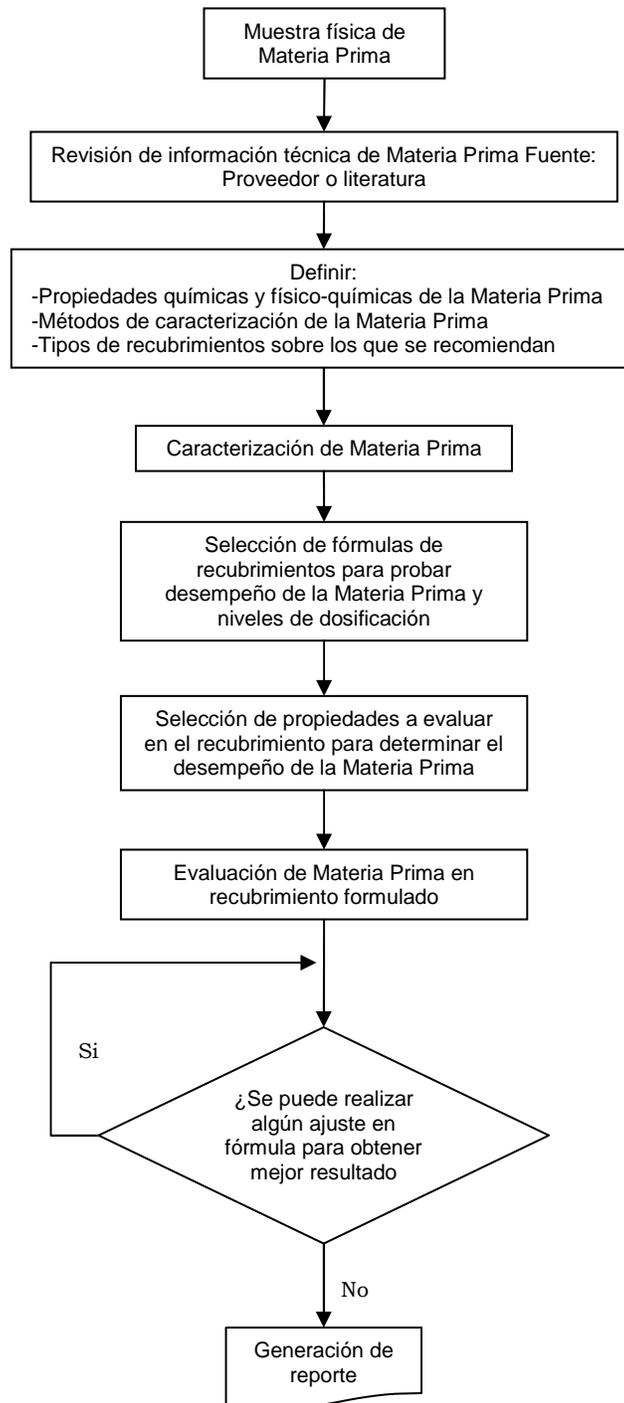


Figura 16. Diagrama de Flujo de evaluación de Materia Prima

- e) El plan de trabajo se estructura de acuerdo al esquema general planteado en el siguiente diagrama de flujo, según la clasificación de la materia prima.
- f) Una vez establecido el plan de evaluación se somete a aprobación por parte del departamento de formulación, la cual tiene la facultad de modificar el plan de evaluación para lograr el objetivo planteado.
- g) Una vez aprobado el plan de evaluación se pacta entre el departamento de formulación y la Gerencia una fecha compromiso para la entrega de resultados finales y se registra la evaluación.
- h) La evaluación debe llevarse a cabo de acuerdo a lo establecido en el plan de trabajo, cualquier cambio debe ser comunicado a la Gerencia.
- i) Se entregaran reportes parciales de resultados de acuerdo a la importancia de estos.

## 5.6 Aplicación de métodos experimentales para determinar el CPVC.

Los métodos se aplicaron a una serie de pinturas formuladas con valores de PVC de 25, 35, 45, 55, 65 y 75% (Anexo 1), donde la restricción era mantener fijo el **% de Sólidos Totales y CPVC teórico**.

La siguiente tabla muestra los parámetros de formulación de las pinturas evaluadas:

PARÁMETROS DE FORMULACIÓN	STD	PVC 25%	PVC 35%	PVC 45%	PVC 55%	PVC 65%	PVC 75%
Densidad (g/mL)	1.293	1.202	1.251	1.294	1.332	1.366	1.396
% Dióxido de titanio	9.44	6.46	8.12	9.48	10.59	11.56	12.36
% Peso de pigmento	32.50	22.52	27.97	32.64	36.50	39.81	42.58
% Volumen pigmento	11.38	7.79	9.79	11.43	12.78	13.94	14.91
% Volumen de sólidos resina	14.07	23.41	18.18	13.97	10.43	7.49	4.95
% Sólidos volumen	32.89	37.50	34.98	32.86	30.91	29.28	27.74
<b>% Sólidos totales</b>	<b>49.11</b>	<b>49.10</b>	<b>49.07</b>	<b>49.13</b>	<b>49.12</b>	<b>49.21</b>	<b>49.20</b>
<b>% PVC</b>	<b>44.72</b>	<b>24.97</b>	<b>35.01</b>	<b>45.00</b>	<b>55.06</b>	<b>65.03</b>	<b>75.05</b>
<b>% CPVC</b>	<b>35.49</b>						
<b>PVC/CPVC</b>	<b>1.260</b>	<b>0.704</b>	<b>0.986</b>	<b>1.268</b>	<b>1.551</b>	<b>1.832</b>	<b>2.115</b>
Absorción de aceite total	341.99	217.61	284.65	343.65	395.58	442.66	483.91

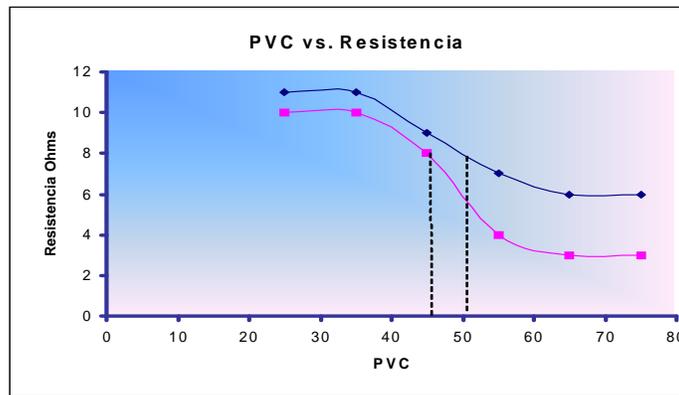
Tabla 21. Parámetros de Formulación

Estas fórmulas fueron evaluadas con los siguientes métodos para obtener el CPVC.

### 5.6.1. Método de la resistencia eléctrica

%PVC	Resistencia (Ohms)	
	1 eval.	2 eval.
25	11	10
35	11	10
45	9	8
55	7	4
65	6	3
75	6	3

Tabla 22. Resultados de la evaluación de Resistencia eléctrica



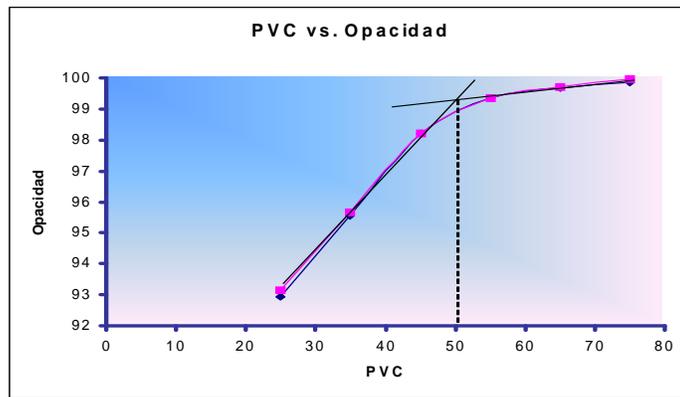
Gráfica 11. PVC Vs Resistencia eléctrica

El PVC en el punto de inflexión nos da un valor entre 45 y 51% el cual nos da el valor del CPVC con este método.

### 5.6.2. Método de la relación de contraste (Opacidad)

%PVC	Opacidad	
	1 eval.	2 eval.
25	92.95	93.16
35	95.55	95.65
45	98.19	98.22
55	99.37	99.35
65	99.66	99.7
75	99.84	99.98

Tabla 23. Resultados de la evaluación de Opacidad



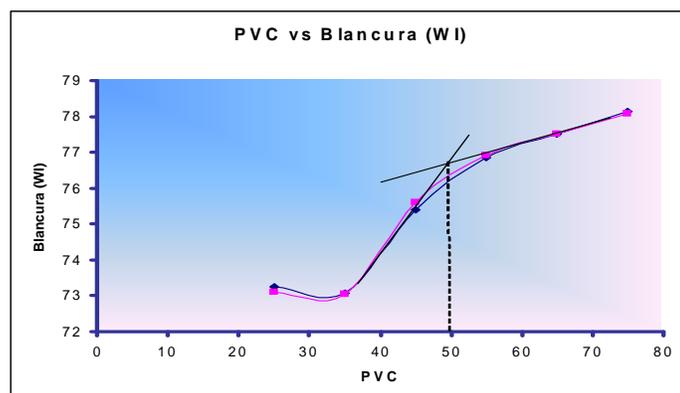
Gráfica 12. PVC Vs Opacidad

En este caso, el método de la relación de contraste nos da un punto de inflexión en el valor de PVC = 50% el cual lo tomamos como el CPVC de nuestra formulación.

### 5.6.3. Método del índice de blancura (WI)

%PVC	Blancura (WI)	
	1 eval.	2 eval.
25	73.24	73.1
35	73.08	73.05
45	75.4	75.6
55	76.85	76.9
65	77.52	77.51
75	78.14	78.09

Tabla 24. Resultados de la evaluación de Blancura (WI)



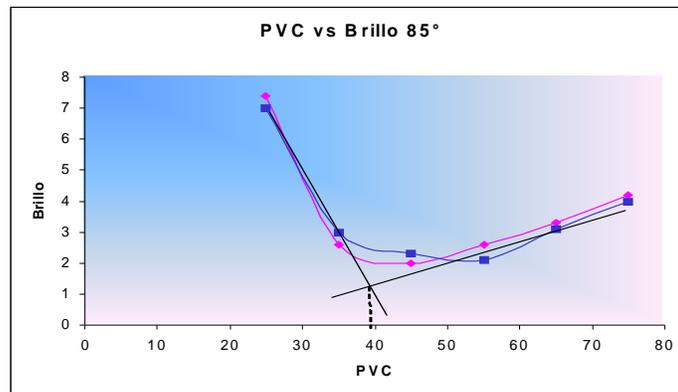
Gráfica 13. PVC Vs Blancura (WI)

Para este método la blancura (WI) nos da un punto de inflexión en el mismo punto que el método de la opacidad PVC = 50% el cual nos da el CPVC de nuestra formulación.

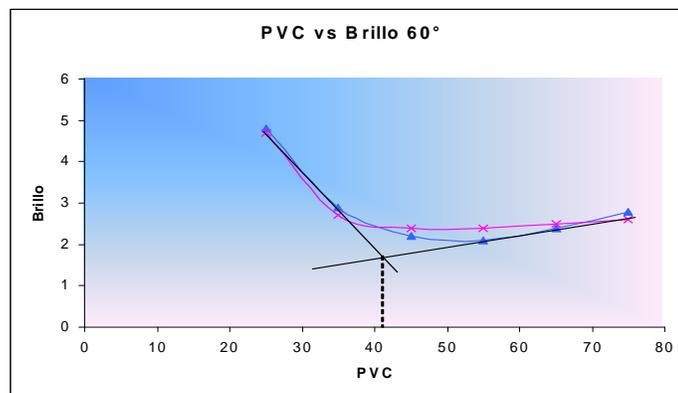
#### 5.6.4. Método del brillo

%PVC	Brillo 85°		Brillo 60°	
	1 eval.	2 eval.	1 eval.	2 eval.
25	7.4	7	4.8	4.7
35	2.6	3	2.9	2.7
45	2	2.3	2.2	2.4
55	2.6	2.1	2.1	2.4
65	3.3	3.1	2.4	2.5
75	4.2	4	2.8	2.6

Tabla 25. Resultados de la evaluación de Brillo @ 60° y 85°



Gráfica 14a. PVC Vs Brillo @ 85°



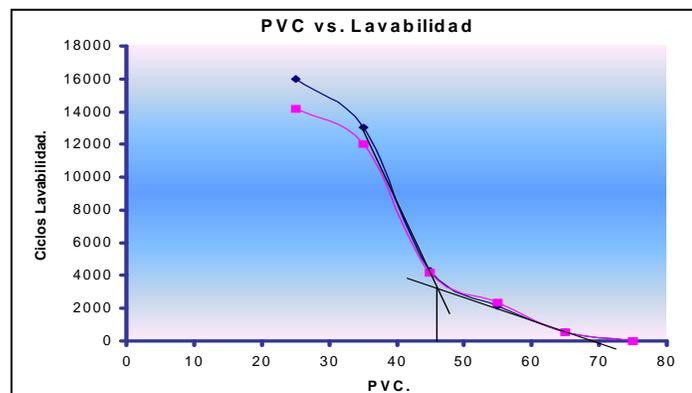
Gráfica 14b. PVC Vs Brillo @ 60°

La medición de brillo en los ángulos de 60° y 85° nos dan puntos similares de inflexión, de hecho se observan definidos estos puntos, por lo que se toma el valor de 40% de CPVC.

### 5.6.5. Método de resistencia a la abrasión (lavabilidad)

%PVC	Lavabilidad (Ciclos)	
	1 eval.	2 eval.
25	16000	14200
35	13000	12000
45	4330	4150
55	2180	2320
65	510	525
75	22	10

Tabla 26. Resultados de la evaluación de Lavabilidad



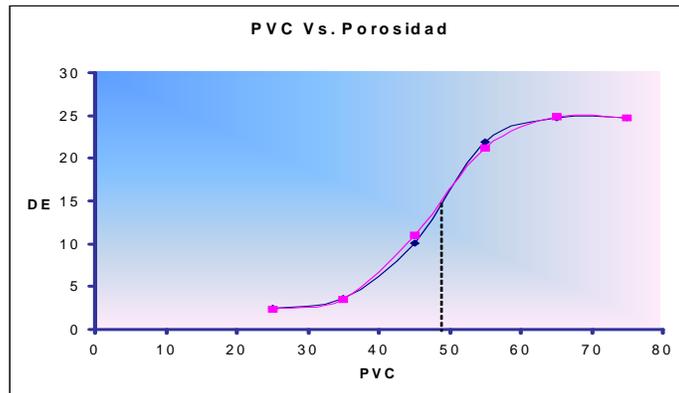
Gráfica 15. PVC Vs Resistencia a la abrasión

El punto de inflexión de nuestra curva es evidente a un PVC = 46% que tomamos como el CPVC.

### 5.6.6. Método de porosidad

%PVC	Diferencia de Tono DE	
	1 eval.	2 eval.
25	2.41	2.35
35	3.61	3.52
45	10.14	11.00
55	21.88	21.26
65	24.77	24.87
75	24.77	24.77

Tabla 27. Resultados de la evaluación de Porosidad



Gráfica 16. PVC Vs Porosidad de la película

Para este método la Porosidad de la película nos da un punto de inflexión en el mismo punto que el método de la opacidad y de la blancura (WI) PVC = 50% que tomamos nuevamente como nuestro valor de CPVC.

## 6. RESULTADOS DEL CASO DE ESTUDIO

Como hemos podido observar los resultados obtenidos de la experimentación comparados contra el valor teórico del CPVC aplicando la Ec. (7)

$$CPVC = \frac{1}{1 + \frac{(AO)(\rho)}{93.5}}$$

de los cálculos anteriores, resulta en una diferencia importante ya que de tener un **PVC/CPVC = 44.7/35.5 = 1.26** calculado teóricamente, se pasa a un **PVC/CPVC = 44.7/50.0 = 0.894** calculado experimentalmente con lo cual muchas propiedades de la pintura son diferentes a las esperadas como se ha explicado anteriormente, por lo tanto algunas propiedades que se suponían obtener formulando a PVC/CPVC mayor a 1, pues simplemente no se obtienen.

Es decir, propiedades como la resistencia a la abrasión, opacidad, brillo e incluso la apariencia de la pintura, resultan afectados por este hecho.

Por ejemplo:

- o La resistencia a la abrasión de una pintura formulada a un PVC = 45.8 como es nuestro caso puede pasar de un valor de 4300 a un valor de 2000 o llegar hasta los 6000, debido a la cercanía del PVC con el CPVC, eso debido a que el CPVC depende de las propiedades y del tipo de emulsión; de una buena dispersión, de los aditivos que ayudan a tener un buen desempeño de la pintura y formación de película óptima.
- o Otro factor que puede ser afectado es el cambio en el brillo o apariencia de la película (cubriente), ya que de tener una pintura mate de buen cubriente (Brillo a 85°=1.0), debido a la morfología de los pigmentos y porosidad de la película, podemos obtener un acabado un poco satinado (Brillo a 85°=4.0) con bajo cubriente, debido a que esos poros posiblemente fueron cubiertos por la resina o emulsión.

Es por esto, que los expertos en formulación no recomiendan formular con un PVC cercano al CPVC ( $PVC/CPVC = 1 \pm 0.1$ ), porque una variación en el proceso de fabricación, la variación de la calidad de las materias primas debido al uso de varios proveedores, **al uso de materias primas sustitutas** (problemas internos) o hasta variaciones en la aplicación y manejo del producto final, condiciones ambientales, etc. (problemas externos) que afectan indudablemente el desempeño del producto.

En nuestro caso, el desarrollo de la experimentación nos llevo a establecer correctamente nuestros parámetros de formulación, lo cual nos ayudó a obtener ciertas propiedades deseadas, es decir, el propósito de la formula “STD” evaluada, era de obtener una pintura mate de media calidad que tuviera las propiedades básicas siguientes:

Viscosidad (KU) @ 25°C	90 – 100
Densidad (g/mL) @ 25°C	1.290 – 1.300
pH @ 25°C	8 – 9.5
Opacidad (%) @ 10 mils hum de espesor.	98.5 Mínimo
Blancura WI (%) @ 10 mils hum de espesor	75.0 Mínimo
Amarillamiento YI (%) @ 10 mils hum de espesor	6.0 Máximo
Brillo @ 60° U. B.	< 2.0
Brillo @ 85° U. B.	< 2.0
Poder tintóreo (Tint Strength)* (%)	52.0 – 55.0
Resistencia a la abrasión (Lavabilidad), ciclos	4000 – 5000

Las cuales difieren de las propiedades que teníamos originalmente, ahora los rangos son más cerrados considerando que la variación de los resultados sea menor, ya que se formulo a un **PVC/CPVC > 1.1** o un PVC>55.

Normalmente a un equipo de formulación, el desarrollo o modificación de un producto lleva entre 1 mes y 2 años aprox. realizarlo dependiendo de las propiedades a obtener en el producto final, entonces, si logramos definir nuestro sistema de cargas y emulsión, podemos aplicar nuestros métodos de determinación del CPVC y colocarnos en un punto de nuestras gráficas dependiendo de las propiedades a obtener, p. e. en nuestra experimentación sabemos que debemos ubicarnos en un PVC>50 (arriba del CPVC) debido a que las características y/o propiedades de nuestro producto se encuentran en estos puntos (pintura mate de media calidad).

Para pinturas de alta calidad, nuestras gráficas seguramente cambiarán y deberemos ubicarnos por debajo del CPVC, de acuerdo a las propiedades deseadas.

En este estudio en particular y de acuerdo a los resultados obtenidos, se tiene la propuesta de utilizarlo en proyectos de desarrollo o modificación de productos, además de aplicarlo en los productos que se tienen actualmente, con el propósito de establecer correctamente sus parámetros de formulación y al mismo tiempo y por medio de las gráficas predecir las propiedades a obtener dentro de la formulación.

Se espera una reducción en el tiempo de desarrollo o modificación de productos de hasta un 10%, dependiendo de las propiedades finales a obtener y recursos a emplear. Esto se basa en tratar de evitar el mayor número de experimentos para llegar a una propiedad específica, p. e. obtener una opacidad del 99.0 % en el caso de nuestro experimento nos tendríamos que referir a la gráfica y saber que hay que formular a un PVC = 52.0 antes de hacer la prueba y así evitar los experimentos de aproximación.

## CONCLUSIONES

Como consecuencia de lo tratado a lo largo de los capítulos anteriores, se puede apreciar que la formulación de pinturas no puede ser considerada como una herramienta mágica de efectos infalibles. Es un conjunto de métodos y técnicas que inspirados por el sentido común y el rigor profesional, están encaminadas a definir, desarrollar y aplicar las reglas científicas.

La aplicación sistemática, constante y fiel de la metodología expuesta, permite garantizar una mejora notable de los resultados obtenidos en el proyecto como consecuencia de haber incrementado el dominio de la situación y el grado de racionalidad de las medidas adoptadas.

Existen varias definiciones de pintura como se ha visto anteriormente, pero en este caso sólo se tomó en cuenta el recubrimiento base agua que se aplica de manera tradicional, es decir, rodillo, brocha y aspersión principalmente y que cuentan con propiedades características de una pintura líquida, quedando excluidas aquellas que se apliquen de manera especial y que su apariencia sea diferente a una pintura líquida (pastas, polvos, geles, etc.).

Al principio de este trabajo mencionamos las materias primas que intervienen en la formulación de pinturas y que sin duda nos dan las características de nuestro producto y el desempeño en el mercado.

La formulación de pinturas representa un todo complejo y coherente. No se trata de tomar una terminología vistosa, ni de aplicar esporádicamente técnicas puntuales o instrumentos parciales de formulación. Si se requiere obtener un resultado perceptible y duradero en la calidad de las pinturas, hay que adoptar la metodología en su conjunto, prestando especial atención a los aspectos de fondo, pero sin descuidar la naturaleza operativa e instrumental de las tareas que constituyen a la formulación.

Es necesario mencionar que los parámetros de formulación más importantes en una pintura base agua son el PVC y CPVC, puesto que son estos parámetros los que deciden las características y desempeño de nuestra pintura.

Se ha tratado de explicar las diferentes maneras de calcular el PVC y principalmente el CPVC el cual varía dependiendo del sistema que se trate, base agua o solvente, así mismo concluimos que una manera correcta de determinar el CPVC es experimentalmente apoyándonos en las propiedades medibles de la pintura.

Debemos resaltar que la formulación, por sus características especiales que hemos expuesto, exigen empleo de técnicas conocidas, pero variando y poniendo énfasis en ciertos puntos que son especialmente sensibles.

Así cabe destacar como aspectos más delicados e importantes de la formulación de pinturas base agua los siguientes:

- **La explícita y pronta definición de las propiedades finales de la pintura que requiere el cliente o el mercado.**
- **Las etapas de planificación, organización y control sobre las que se sustenta en gran parte del logro de la formulación, al facilitar y orientar la toma de decisiones, así como todas las tareas de seguimiento, control y adopción de medidas correctoras durante el proceso de formulación.**
- **El establecimiento de sistemas adecuados de medición de las propiedades de la pintura, los costos y los plazos, efectuando un seguimiento constante de la evolución de la formulación.**

La correcta formulación de pinturas base agua como es lógico, no se puede considerar la metodología como un fin en sí misma, sino como una ayuda encaminada a facilitar la consecución de los resultados. El grado de minuciosidad y desarrollo de la metodología deberá adaptarse a la dificultad y el tamaño de los requerimientos de cada producto.

Particularmente para el formulador es muy importante contar con el respaldo de los conocimientos que aportan la física, la química, las matemáticas y especialmente la fisicoquímica. Sin embargo la toma de decisiones requiere además la contribución de conocimientos y experiencia en el campo.

Una revisión del mercado mundial y nacional nos da la expectativa del impacto del presente trabajo de tesis, porque es indudable que el negocio de las pinturas base agua para interiores y exteriores de edificios son uno de los mercados más fuertes a nivel mundial y nacional, por lo que cualquier innovación o metodología que ayude a minimizar el proceso de producción y/o de formulación traerá beneficios a la empresa.

Por otro lado, este estudio pretende beneficiar a las empresas del ramo de las pinturas arquitectónicas base agua, al observar las diferencias de métodos tradicionales y experimentales que se proponen en este estudio y así ahorrarse re-trabajos y gasto de insumos que hacen más cara la formulación y el costo final del producto. Esto se ve reflejado principalmente en la reducción del número de experimentos que según estimaciones de expertos puede llegar a ser de hasta un 10% de ahorro de tiempo.

Una metodología que muestre como ha de obtenerse y realizarse los cálculos y mediciones es de gran ayuda para el formulador, debido a que le permite un campo de acción más amplio y un mejor apego a las condiciones de formulación que se ha establecido.

Entonces, podemos concluir que existen diferencias entre el método teórico-matemático (CPVC=35.50) y el experimental (CPVC=50.0) aplicado en este estudio, dichas diferencia si influye en la obtención de las propiedades esperadas de acuerdo a nuestra formulación. Al mismo tiempo concluimos que es posible la aplicación de métodos experimentales, efectivos y confiables para la formulación de recubrimientos que nos lleva a establecer con mayor certidumbre las propiedades finales de las pinturas.

De igual manera, el establecer correctamente los parámetros de formulación nos ayudan establecer una línea experimental de sustitución de materias primas, que cumplan con las propiedades establecidas previamente, por lo que en general se buscan sustituir materiales de iguales características o funcionalidad. Por lo tanto, estos métodos nos ayudan a establecer diferencias entre los materiales a sustituir, ya que de existir dichas diferencias se podría corregir los parámetros de formulación y así obtener las propiedades deseadas.

## GLOSARIO

*Absorción de aceite:* cantidad de vehículo que necesita el pigmento para llenar los espacios entre sus partículas.

*Adelgazadores:* son lubricantes moleculares y la acción de bajar la viscosidad, es el resultado de mezclar un líquido de alta con uno de baja viscosidad.

*Aditivos:* son compuestos adicionales los cuales proporcionan propiedades a la película, facilitan la fabricación y la aplicación, también ayudan a mejorar las propiedades de brillo, viscosidad, estabilidad, asentamiento, y otras.

*Brillo:* es la propiedad óptica de los cuerpos que se manifiesta cuando el incide un rayo de luz y éste emite un reflejo. La geometría del ángulo y lugar de medición son elegidos en base al brillo esperado.

*Coalescente:* aditivo que permite que la emulsión disminuya la MFFT o temperatura mínima de formación de película.

*CPVC:* Concentración de Pigmento en Volumen Crítico. Es la cantidad mínima necesaria para humectar o recubrir la superficie del pigmento y dar una fase continua en la película.

*Cracking:* es una falla en la película de la pintura caracterizada por grietas en líneas irregulares en toda la superficie.

*Densidad:* es una propiedad de los materiales la cual relaciona una unidad de masa entre el volumen que ocupa.

*Disolventes:* líquidos que modifican la viscosidad mediante una verdadera solución del formador de película.

*Dureza/dispersión:* facilidad del pigmento para incorporarse (dispersarse) en el medio en que se use.

*Gilsonita:* pigmento dispersado en un mineral spirit (gas nafta).

*Grindómetro:* instrumento diseñado para medir el tamaño de partícula de una dispersión de pigmento.

*Índice de blancura (WI):* este índice se mide a pinturas látex de color blanco y se obtiene mediante valores de los triestímulos X, Y y Z obtenidos por un espectrofotómetro.

*Índice de refracción:* propiedad de las sustancias que relaciona la velocidad de la luz en el vacío entre la velocidad de la luz en la sustancia.

*Malla 325:* es el tamaño de un tamiz con una abertura de 44 micras.

*MFFT:* Temperatura Mínima de Formación de Película. Es la temperatura mínima necesaria para que un látex forme película.

*Opacidad:* es la capacidad de una película delgada o de una hoja de material tal como pintura o papel, de cubrir una superficie que se encuentre atrás y en contacto con ella, expresada como la razón del factor de reflectancia  $R_b$  cuando el material esta colocado sobre una superficie negra al factor de reflectancia  $R_w$  cuando este colocado sobre una superficie blanca.

*Peso específico:* peso del pigmento con relación al peso del agua.

*Pigmento:* son partículas finamente divididas las cuales son dispersadas dentro de la pintura líquida y le imparten propiedades de secado, color, brillo, opacidad (poder cubriente), resistencia de la película y permeabilidad.

*Plastificante:* aditivo que se le adiciona a las emulsiones látex para volverlas más suaves y permitir una mejor formación de película.

*Poder cubriente:* esta directamente relacionado con el fenómeno de absorción/reflexión de la luz, el cual origina que se opaque el sustrato (índice de refracción).

*Poder tintóreo:* es la cualidad que posee el pigmento de impartir color.

*Potenciómetro:* equipo diseñado para medir el potencial de hidrógeno (pH) de una sustancia electrolítica.

*PVC:* Concentración de Pigmento en Volumen. Es la relación entre pigmento y vehículo.

*Reología (tixotropía):* propiedades de flujo en un pigmento dispersado por la formación de flóculos.

*Resistencia a la abrasión o lavabilidad:* es la propiedad de las pinturas látex a resistir al desgaste de la película seca por un medio abrasivo representado en ciclos de desgaste.

*Resistencia a la luz:* estabilidad del color al ser expuesto a la acción de la luz.

*Resistencia a productos químicos:* estabilidad del pigmento a la acción de ácidos y álcalis.

*Resistencia al calor:* estabilidad del pigmento a los cambios causados por la acción de altas temperaturas.

*Sangrado/migración:* solubilidad parcial del pigmento en el vehículo en que se usa.

*Solvente:* es la parte volátil, la cual se utiliza para proporcionar propiedades de aplicación, flujo y tiempo de secado. Uno de los solventes más utilizados es el agua. También se utilizan uno o varios solventes mezclados dentro de las pinturas.

Durante el secado de la película de pintura, el solvente se evapora y se pierde.

*Tamaño de partícula:* homogeneidad en la distribución del tamaño de partícula del pigmento.

*Termómetro:* instrumento diseñado para medir temperatura por medio de inmersión en un medio acuoso.

*T<sub>g</sub>:* Temperatura de transición vítrea.

*Triestímulos X, Y, Z:* son estímulos a los colores primarios (RGB) los cuales nos sitúan en un punto en el espacio del espectro visible.

*Vehículo (emulsión o resina):* es esencialmente el “ligante” (binder) que liga los pigmentos y aditivos y los transforma en una película sólida. La resina (polímero) proporciona la formación continua de la película de pintura y proporciona a la misma, calidad en la adherencia, durabilidad, flexibilidad y resistencia química.

El “ligante” no siempre esta formado por una sola resina, en algunos casos esta formado por mezclas de varios tipos de resinas.

*Viscosidad:* resistencia de una sustancia líquida a fluir.

*Viscosímetro Brookfield:* equipo diseñado para medir viscosidad en un sistema de spins que giran a una determinada velocidad en un medio fluido y las unidades son centipoises.

*Viscosímetro Stormer:* equipo diseñado para medir viscosidad con un spin de dos paletas que gira a una velocidad constante en un medio fluido y las unidades son Krebs.

## ANEXO A

- Aditivos para recubrimientos base agua y base solvente.

Aditivos base agua		Aditivos base solvente	
1.	Espesantes celulósicos	1.	Tixotrópicos orgánicos
2.	Espesantes acrílicos	2.	Secantes
3.	Espesantes asociativos	3.	Agentes nivelantes
4.	Antiespumantes	4.	Resistencia al colgado
5.	Desespumantes	5.	Antiespumantes
6.	Biocidas (fungicidas y Bactericidas)	6.	Desespumantes
7.	Humectantes	7.	Estabilizadores a la luz
8.	Dispersantes	8.	Estabilizadores al calor
9.	Resistencia al colgado	9.	Antirrayado
10.	Inhibidores de flash-rust	10.	Inhibidores de corrosión
11.	Reguladores de pH	11.	Antinatas
12.	Ablandadores de agua	12.	Humectantes
13.	Coalescentes	13.	Dispersantes
14.	Agentes de descongelamiento-congelamiento	14.	Fotoiniciadores
		15.	Plastificantes
		16.	Retardantes a la flama
		17.	Catalizadores
		18.	Matizantes
		19.	Estabilizadores de secantes

Tabla A.1. Clasificación de Aditivos

- Clasificación de los pigmentos orgánicos e inorgánicos.

### Pigmentos orgánicos

- Tipo AZO
  - o MonoAZO
    - Arilamida
      - Acetoacetarilamida (Amarillo)
      - Naftanilida (Rojo)
    - Naftol (Rojo, naranja)
  - o Condensación AZO (Rojo, amarillo, naranja)
  - o Sales metálicas de anilinas ácido AZO (Rojo)
  - o DiAZO
    - Diarilidas (Amarillo, rojo, naranja)
    - DirAZOlano (Naranja, rojo)
- Heterocíclicos
  - o Dsoindolinano (Amarillo, naranja)
- Policíclicos
  - o Ftalocianina (Azul, verde)
  - o Quinacridona (Naranja, rojo, magenta, violeta)
  - o Perileno (Rojo, marrón)
  - o Dioxazino (Violeta)

- Tioindigo (Marrón)
- Antraquinona
  - Antrapirimidina (Amarillo)
  - Indantrone (Azul)
  - Dibromantantrone (Rojo)
  - Pirantrone (Rojo)
  - Perinone (Naranja)
  - Flavantone (Amarillo)
- Misceláneos
  - Polímeros plásticos (extendedores incoloros opacificantes)
  - Nacáridos perlescentes (Multicolor)

Tabla A.2. Clasificación de pigmentos orgánicos

Para los pigmentos de tipo inorgánico se tiene la siguiente clasificación:

Nombre del Pigmento	Compuesto o Nombre Químico
1. Litargirio	1. PbO
2. Minino	2. Pb <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
3. Amarillo cromato básico de zinc	3. ZnCrO <sub>4</sub> . K <sub>2</sub> O . H <sub>2</sub> O
4. Amarillo cromato de estroncio	4. SrCrO <sub>4</sub>
5. Óxidos de hierro	5. Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , FeOOH , Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
6. Óxidos de metales	6. Cr, Co , Mn , V , Ni , etc.
7. Amarillos cromo	7. PbCrO <sub>4</sub> / PbSO <sub>4</sub>
8. Naranjas molibdato	8. PbCrO <sub>4</sub> / PbMoO <sub>4</sub> / PbSO <sub>4</sub>
9. Naranjas cromo	9. PbCrO <sub>4</sub> / PbO
10. Ferrocianuros	10. Fe (NH <sub>4</sub> ) [Fe (CN) <sub>6</sub> ] . H <sub>2</sub> O
11. Verdes cromo	11. Mezcla Am. Cromo/Ferrocianuros
12. Azul ultramar	12. Aluminio - Silicatos Na y S
13. Blancos:	13. TiO <sub>2</sub> / BaSO <sub>4</sub> / ZnO / CaCO <sub>3</sub>
Caolín	Al <sub>2</sub> (SiO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> . H <sub>2</sub> O
Talco / yeso	MgSiO <sub>3</sub> . H <sub>2</sub> O / CaSO <sub>4</sub> . 2H <sub>2</sub> O
14. Metálicos	14. Aluminio y Aleaciones Cu / Zn
15. Fosforescentes :	15.
Azul	CaS - SrS / BiCu
Verde	ZnS / Cu
Amarillo	ZnS - CdS / Cu

Tabla A.3. Clasificación de pigmentos inorgánicos

- Monómeros para la fabricación de Emulsiones Vinil Acetato-Etileno (VAE)

<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Acetato de Vinilo</li> </ul>	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{O}-\text{C}-\text{CH}_3 \\ \parallel \\ \text{O} \end{array}$
<p>Ventajas</p> <p>Bajo Costo Plastificable fácilmente Buena resistencia UV</p>	<p>Desventajas</p> <p>Saponificación Poca resistencia al agua Poca resistencia a la abrasión y álcalis</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Etileno (gas)</li> </ul>	$\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2$
<p>Ventajas</p> <p>Hidrofóbico/olefílico Resistencia a Álcalis Bajos VOC (Concentración de Orgánicos Volátiles) Flexible a baja temperatura Sueve sin tacking Bajos MFFT's (Temperatura Mínima de Formación de Película)</p>	<p>Desventajas</p> <p>Requiere alta presión en reactores para su fabricación</p>

Tabla A.4. Monómeros de emulsiones VAE's.

## BIBLIOGRAFÍA

- ANAFAPYT, *Reporte anual del Mercado nacional de pinturas*. México, 2000.
- Asbeck, Walter K. *Journal of Coatings Technology*, Vol. 49, No. 635, December 1977, 70 pp.
- Asbeck, Walter K. *Journal of Coatings Technology*, Vol. 64, No. 806, March 1992, 58 pp.
- Bierwagen, G. P. *Journal of Paint Technology*, Vol. 44, No. 574, November 1972, 54 pp.
- Bierwagen, Gordon P. *Journal of Coatings Technology*, Vol. 64, No. 806, March 1992, 75 pp.
- Braunshausen, R. W. Jr, et. al. *Journal of Coatings Technology*, Vol. 64, No. 810, July 1992, 54 pp.
- Dean, C. Webster. *REC Recubrimientos*. No. 9, Abril 2006, pág. 15-23.
- Floyd, F. L. and Holsworth, R. M. *Journal of Coatings Technology*, Vol. 64, No. 806, March 1992, 69 pp.
- Galvez Reyes, Rogelio. *Presentación Técnica-Air Products*. México, Abril 2002.
- Hesler, Kenneth K. *Journal of Coatings Technology*, Vol. 50, No. 644, September 1978, 61 pp.
- Meadows, William D. *American Paint & Coatings Journal*, August 1985, 49 pp.
- Restrepo, R. Julian, A. *REC Recubrimientos*. No.5, Diciembre 2004, pág. 7-13.
- Rudolph, Julie P. *Journal of Coatings Technology*, Vol. 48, No. 619, August 1976, 50 pp.
- Schaller, Edward J. *Journal of Paint Technology*, Vol. 40, No. 525, October 1968, 438 pp.
- Wicks, Zeno W. Jr, et. al. *Organic Coatings: Science and Technology*, Vol. II, Wiley-Interscience, New York 1992, 64 pp.

McCulloch, Louis. *www.specialchem4coatings.com.\Business Reports - Global Report Series - Decorative Architectural Coatings.htm*. September, 2005.

<http://www.coatingsworld.com/articles/2007/04/international-report.php>  
<http://www.coatingsworld.com/articles/2006/07/top-companies-report.php>

<http://www.specialchem4coatings.com/news-trends/business-reports/display.aspx?id=6088>

<http://www.specialchem4coatings.com/news-trends/business-reports/display.aspx?id=3773>

<http://www.eluniversal.com.mx/finanzas/56512.html>

[http://www2.eluniversal.com.mx/pls/impreso/noticia.html?id\\_nota=42393&tabla=finanzas](http://www2.eluniversal.com.mx/pls/impreso/noticia.html?id_nota=42393&tabla=finanzas)

[http://www2.eluniversal.com.mx/pls/impreso/noticia.html?id\\_nota=36898&tabla=finanzas](http://www2.eluniversal.com.mx/pls/impreso/noticia.html?id_nota=36898&tabla=finanzas)

PRODUCTO: <b>FORMULA DE PRUEBA</b> CLAVE: <b>STD</b> RENDIMIENTO: 1000 LITROS												
CODIGO	DESCRIPCIÓN	DENSIDAD	KILOS	Peso real	LITROS	% PESO	%VOL	PESO SOL	%AO	CPVC	PESO PARA 1 M3	AOi
100	ADICIONAR CON AGITACION											
1000	AGUA	1.000	144.444		144.444	11.173	11.173	0.000			144.444	
2000	ANTICONGELANTE	1.118	25.748		23.030	1.992	1.781	0.000			25.748	
22000	DISPERSANTE	1.190	4.980		4.185	0.385	0.324	2.191			4.980	
21000	SURFACTANTE DE 10 MOLES	1.058	3.148		2.975	0.243	0.230	0.617			3.148	
20000	ANTIESPUMANTE	0.885	0.660		0.746	0.051	0.058	0.495			0.660	
19000	BUFFER	0.945	3.990		4.222	0.309	0.327	3.791			3.990	
23000	BIOCIDA	1.000	2.017		2.017	0.156	0.156	2.017			2.017	
200	I PESADO DE PIGMENTOS Y/O CARGAS											
4000	BIOXIDO DE TITANIO RUTILICO	4.000	122.000		30.500	9.437	2.359	122.000	20.00	11.1706	122.000	24.40
9000	CAOLIN CALCINADO	2.620	47.700		18.206	3.690	1.408	47.700	60.00	4.6146	47.700	28.62
14000	TALCO 1 (3 MICRAS)	2.800	94.000		33.571	7.271	2.597	94.000	52.50	8.8701	94.000	49.35
15000	TALCO 2 (8 MICRAS)	2.800	33.328		11.903	2.578	0.921	33.328	36.00	3.8927	33.328	12.00
16000	TIERRA DEATOMACEA	2.300	111.000		48.261	8.586	3.733	111.000	200.00	5.5405	111.000	222.00
11000	CAOLIN SINTETICO	2.600	12.222		4.701	0.945	0.364	12.222	46.00	1.4017	12.222	5.62
1000	AGUA	1.000	172.224		172.224	13.321	13.321	0.000			172.224	341.99
300	DISPERSAR DURANTE 20 MINUTOS											
400	III AMPLIADO											
6000	COALESCENTE	0.944	9.333		9.887	0.722	0.765	0.000			9.333	
24000	FUNGICIDA	1.155	1.076		0.932	0.083	0.072	1.076			1.076	
26000	EMULSION VINIL-ACRILICA	1.045	358.748		343.300	27.749	26.554	197.311			358.748	
20000	ANTIESPUMANTE	0.885	1.000		1.130	0.077	0.087	0.750			1.000	
1000	AGUA	1.000	37.260		37.260	2.882	2.882	0.000			37.260	
18000	ESPESANTE ACRÍLICO	1.060	21.300		20.094	1.648	1.554	6.390			21.300	
1000	AGUA	1.000	86.667		86.667	6.704	6.704	0.000	0.00	0.0000	86.667	
500	AGITAR DURANTE 15 MINUTOS											
			1,292.85		1,000.25	100.00	77.37	634.89	147.14	35.49	1,292.85	
ELABORÓ: ING. GENARO GALVAN VARGAS												

PARAMETROS DE FORMULACIÓN	FORMULA DE PRUEBA
DENSIDAD	1.293
% TITANIO	9.437
% PESO DE PIGMENTO	32.506
% VOLUMEN PIGMENTO	11.381
% VOLUMEN DE SOLIDOS RESINA	14.067
% SOLIDOS VOLUMEN	32.892
% PVC	44.723
% CPVC	35.490
PVC/CPVC (PVC REDUCIDO)	1.260
% SOLIDOS TOTALES	49.108
ABSORCION DE ACEITE TOTAL	341.990
% ANTICONGELANTE(SOL. RESINA)	2.524
% COALESCENTE (SOL. RESINA)	4.730

PRODUCTO: <b>FORMULA DE PRUEBA-01</b> CLAVE: <b>PVC=25%</b> RENDIMIENTO: 1000 LITROS												
CODIGO	DESCRIPCIÓN	DENSIDAD	KILOS	Peso real	LITROS	% PESO	%VOL	PESO SOL	%AO	CPVC	PESO PARA 1 M3	AOi
100	ADICIONAR CON AGITACION											
1000	AGUA	1.000	144.000		144.000	11.983	11.983	0.000			144.000	
2000	ANTICONGELANTE	1.118	25.748		23.030	2.143	1.916	0.000			25.748	
22000	DISPERSANTE	1.190	4.980		4.185	0.414	0.348	2.191			4.980	
21000	SURFACTANTE DE 10 MOLES	1.058	3.148		2.975	0.262	0.248	0.617			3.148	
20000	ANTIESPUMANTE	0.885	0.660		0.746	0.055	0.062	0.495			0.660	
19000	BUFFER	0.945	3.990		4.222	0.332	0.351	3.791			3.990	
23000	BIOCIDA	1.000	2.017		2.017	0.168	0.168	2.017			2.017	
200	I PESADO DE PIGMENTOS Y/O CARGAS											
4000	BIOXIDO DE TITANIO RUTILICO	4.000	77.630		19.407	6.460	1.615	77.630	20.00	11.1706	77.630	15.53
9000	CAOLIN CALCINADO	2.620	30.352		11.585	2.526	0.964	30.352	60.00	4.6146	30.352	18.21
14000	TALCO 1 (3 MICRAS)	2.800	59.813		21.362	4.977	1.778	59.813	52.50	8.8701	59.813	31.40
15000	TALCO 2 (8 MICRAS)	2.800	21.207		7.574	1.765	0.630	21.207	36.00	3.8927	21.207	7.63
16000	TIERRA DEATOMACEA	2.300	70.630		30.709	5.877	2.555	70.630	200.00	5.5405	70.630	141.26
11000	CAOLIN SINTETICO	2.600	7.777		2.991	0.647	0.249	7.777	46.00	1.4017	7.777	3.58
1000	AGUA	1.000	65.000		65.000	5.409	5.409	0.000			65.000	217.61
300	DISPERSAR DURANTE 20 MINUTOS											
400	III AMPLIADO											
6000	COALESCENTE	0.944	9.333		9.887	0.777	0.823	0.000			9.333	
24000	FUNGICIDA	1.155	1.076		0.932	0.090	0.078	1.076			1.076	
26000	EMULSION VINIL-ACRILICA	1.045	555.000		531.100	46.184	44.195	305.250			555.000	
20000	ANTIESPUMANTE	0.885	1.000		1.130	0.083	0.094	0.750			1.000	
1000	AGUA	1.000	37.000		37.000	3.079	3.079	0.000			37.000	
18000	ESPESANTE ACRÍLICO	1.060	21.300		20.094	1.772	1.672	6.390			21.300	
1000	AGUA	1.000	60.050		60.050	4.997	4.997	0.000	0.00	0.0000	60.050	
500	AGITAR DURANTE 15 MINUTOS											
			1,201.71		1,000.00	100.00	83.21	589.99	93.63	35.49	1,201.71	
ELABORÓ: ING. GENARO GALVAN VARGAS												

PARAMETROS DE FORMULACIÓN	FORMULA DE PRUEBA-01
DENSIDAD	1.202
% TITANIO	6.460
% PESO DE PIGMENTO	22.252
% VOLUMEN PIGMENTO	7.791
% VOLUMEN DE SOLIDOS RESINA	23.413
% SOLIDOS VOLUMEN	37.498
% PVC	24.969
% CPVC	35.490
PVC/CPVC (PVC REDUCIDO)	0.704
% SOLIDOS TOTALES	49.095
ABSORCION DE ACEITE TOTAL	217.611
% ANTICONGELANTE(SOL. RESINA)	1.631
% COALESCENTE (SOL. RESINA)	3.057

PRODUCTO: <b>FORMULA DE PRUEBA-02</b> CLAVE: <b>PVC=35%</b> RENDIMIENTO: 1000 LITROS												
CODIGO	DESCRIPCIÓN	DENSIDAD	KILOS	Peso real	LITROS	% PESO	%VOL	PESO SOL	%AO	CPVC	PESO PARA 1 M3	AOi
100	ADICIONAR CON AGITACION											
1000	AGUA	1.000	144.444		144.444	11.549	11.549	0.000			144.444	
2000	ANTICONGELANTE	1.118	25.748		23.030	2.059	1.841	0.000			25.748	
22000	DISPERSANTE	1.190	4.980		4.185	0.398	0.335	2.191			4.980	
21000	SURFACTANTE DE 10 MOLES	1.058	3.148		2.975	0.252	0.238	0.617			3.148	
20000	ANTIESPUMANTE	0.885	0.660		0.746	0.053	0.060	0.495			0.660	
19000	BUFFER	0.945	3.990		4.222	0.319	0.338	3.791			3.990	
23000	BIOCIDA	1.000	2.017		2.017	0.161	0.161	2.017			2.017	
200	I PESADO DE PIGMENTOS Y/O CARGAS											
4000	BIOXIDO DE TITANIO RUTILICO	4.000	101.546		25.386	8.119	2.030	101.546	20.00	11.1706	101.546	20.31
9000	CAOLIN CALCINADO	2.620	39.703		15.154	3.174	1.212	39.703	60.00	4.6146	39.703	23.82
14000	TALCO 1 (3 MICRAS)	2.800	78.240		27.943	6.255	2.234	78.240	52.50	8.8701	78.240	41.08
15000	TALCO 2 (8 MICRAS)	2.800	27.740		9.907	2.218	0.792	27.740	36.00	3.8927	27.740	9.99
16000	TIERRA DEATOMACEA	2.300	92.390		40.170	7.387	3.212	92.390	200.00	5.5405	92.390	184.78
11000	CAOLIN SINTETICO	2.600	10.173		3.913	0.813	0.313	10.173	46.00	1.4017	10.173	4.68
1000	AGUA	1.000	96.000		96.000	7.675	7.675	0.000			96.000	284.65
300	DISPERSAR DURANTE 20 MINUTOS											
400	III AMPLIADO											
6000	COALESCENTE	0.944	9.333		9.887	0.746	0.790	0.000			9.333	
24000	FUNGICIDA	1.155	1.076		0.932	0.086	0.074	1.076			1.076	
26000	EMULSION VINIL-ACRILICA	1.045	448.500		429.187	35.859	34.314	246.675			448.500	
20000	ANTIESPUMANTE	0.885	1.000		1.130	0.080	0.090	0.750			1.000	
1000	AGUA	1.000	37.260		37.260	2.979	2.979	0.000			37.260	
18000	ESPESANTE ACRÍLICO	1.060	21.300		20.094	1.703	1.607	6.390			21.300	
1000	AGUA	1.000	101.500		101.500	8.115	8.115	0.000	0.00	0.0000	101.500	
500	AGITAR DURANTE 15 MINUTOS											
			1,250.75		1,000.08	100.00	79.96	613.79	122.47	35.49	1,250.75	
ELABORÓ: ING. GENARO GALVAN VARGAS												

PARAMETROS DE FORMULACIÓN	FORMULA DE PRUEBA-02
DENSIDAD	1.251
% TITANIO	8.119
% PESO DE PIGMENTO	27.967
% VOLUMEN PIGMENTO	9.792
% VOLUMEN DE SOLIDOS RESINA	18.178
% SOLIDOS VOLUMEN	34.981
% PVC	35.009
% CPVC	35.490
PVC/CPVC (PVC REDUCIDO)	0.986
% SOLIDOS TOTALES	49.074
ABSORCION DE ACEITE TOTAL	284.652
% ANTICONGELANTE(SOL. RESINA)	2.019
% COALESCENTE (SOL. RESINA)	3.784

PRODUCTO: <b>FORMULA DE PRUEBA-03</b> CLAVE: <b>PVC=45%</b> RENDIMIENTO: 1000 LITROS												
CODIGO	DESCRIPCIÓN	DENSIDAD	KILOS	Peso real	LITROS	% PESO	%VOL	PESO SOL	%AO	CPVC	PESO PARA 1 M3	AOi
100	ADICIONAR CON AGITACION											
1000	AGUA	1.000	144.000		144.000	11.130	11.130	0.000			144.000	
2000	ANTICONGELANTE	1.118	25.748		23.030	1.990	1.780	0.000			25.748	
22000	DISPERSANTE	1.190	4.980		4.185	0.385	0.323	2.191			4.980	
21000	SURFACTANTE DE 10 MOLES	1.058	3.148		2.975	0.243	0.230	0.617			3.148	
20000	ANTIESPUMANTE	0.885	0.660		0.746	0.051	0.058	0.495			0.660	
19000	BUFFER	0.945	3.990		4.222	0.308	0.326	3.791			3.990	
23000	BIOCIDA	1.000	2.017		2.017	0.156	0.156	2.017			2.017	
200	I PESADO DE PIGMENTOS Y/O CARGAS											
4000	BIOXIDO DE TITANIO RUTILICO	4.000	122.592		30.648	9.475	2.369	122.592	20.00	11.1706	122.592	24.52
9000	CAOLIN CALCINADO	2.620	47.931		18.294	3.705	1.414	47.931	60.00	4.6146	47.931	28.76
14000	TALCO 1 (3 MICRAS)	2.800	94.456		33.734	7.300	2.607	94.456	52.50	8.8701	94.456	49.59
15000	TALCO 2 (8 MICRAS)	2.800	33.490		11.961	2.588	0.924	33.490	36.00	3.8927	33.490	12.06
16000	TIERRA DEATOMACEA	2.300	111.538		48.495	8.621	3.748	111.538	200.00	5.5405	111.538	223.08
11000	CAOLIN SINTETICO	2.600	12.281		4.724	0.949	0.365	12.281	46.00	1.4017	12.281	5.65
1000	AGUA	1.000	162.000		162.000	12.521	12.521	0.000			162.000	343.65
300	DISPERSAR DURANTE 20 MINUTOS											
400	III AMPLIADO											
6000	COALESCENTE	0.944	9.333		9.887	0.721	0.764	0.000			9.333	
24000	FUNGICIDA	1.155	1.076		0.932	0.083	0.072	1.076			1.076	
26000	EMULSION VINIL-ACRILICA	1.045	356.500		341.148	27.554	26.367	196.075			356.500	
20000	ANTIESPUMANTE	0.885	1.000		1.130	0.077	0.087	0.750			1.000	
1000	AGUA	1.000	37.000		37.000	2.860	2.860	0.000			37.000	
18000	ESPESANTE ACRÍLICO	1.060	21.300		20.094	1.646	1.553	6.390			21.300	
1000	AGUA	1.000	98.800		98.800	7.636	7.636	0.000	0.00	0.0000	98.800	
500	AGITAR DURANTE 15 MINUTOS											
			1,293.84		1,000.02	100.00	77.29	635.69	147.86	35.49	1,293.84	
ELABORÓ: ING. GENARO GALVAN VARGAS												

PARAMETROS DE FORMULACIÓN	FORMULA DE PRUEBA-03
DENSIDAD	1.294
% TITANIO	9.475
% PESO DE PIGMENTO	32.638
% VOLUMEN PIGMENTO	11.428
% VOLUMEN DE SOLIDOS RESINA	13.968
% SOLIDOS VOLUMEN	32.857
% PVC	44.999
% CPVC	35.490
PVC/CPVC (PVC REDUCIDO)	1.268
% SOLIDOS TOTALES	49.132
ABSORCION DE ACEITE TOTAL	343.649
% ANTICONGELANTE(SOL. RESINA)	2.540
% COALESCENTE (SOL. RESINA)	4.760

PRODUCTO: <b>FORMULA DE PRUEBA-04</b> CLAVE: <b>PVC=55%</b> RENDIMIENTO: 1000 LITROS												
CODIGO	DESCRIPCIÓN	DENSIDAD	KILOS	Peso real	LITROS	% PESO	%VOL	PESO SOL	%AO	CPVC	PESO PARA 1 M3	AOi
100	ADICIONAR CON AGITACION											
1000	AGUA	1.000	144.000		144.000	10.813	10.813	0.000			144.000	
2000	ANTICONGELANTE	1.118	25.748		23.030	1.933	1.729	0.000			25.748	
22000	DISPERSANTE	1.190	4.980		4.185	0.374	0.314	2.191			4.980	
21000	SURFACTANTE DE 10 MOLES	1.058	3.148		2.975	0.236	0.223	0.617			3.148	
20000	ANTIESPUMANTE	0.885	0.660		0.746	0.050	0.056	0.495			0.660	
19000	BUFFER	0.945	3.990		4.222	0.300	0.317	3.791			3.990	
23000	BIOCIDA	1.000	2.017		2.017	0.151	0.151	2.017			2.017	
200	I PESADO DE PIGMENTOS Y/O CARGAS											
4000	BIOXIDO DE TITANIO RUTILICO	4.000	141.118		35.280	10.596	2.649	141.118	20.00	11.1706	141.118	28.22
9000	CAOLIN CALCINADO	2.620	55.175		21.059	4.143	1.581	55.175	60.00	4.6146	55.175	33.10
14000	TALCO 1 (3 MICRAS)	2.800	108.731		38.832	8.164	2.916	108.731	52.50	8.8701	108.731	57.08
15000	TALCO 2 (8 MICRAS)	2.800	38.551		13.768	2.895	1.034	38.551	36.00	3.8927	38.551	13.88
16000	TIERRA DEATOMACEA	2.300	128.395		55.824	9.641	4.192	128.395	200.00	5.5405	128.395	256.79
11000	CAOLIN SINTETICO	2.600	14.137		5.437	1.062	0.408	14.137	46.00	1.4017	14.137	6.50
1000	AGUA	1.000	172.000		172.000	12.915	12.915	0.000			172.000	395.58
300	DISPERSAR DURANTE 20 MINUTOS											
400	III AMPLIADO											
6000	COALESCENTE	0.944	9.333		9.887	0.701	0.742	0.000			9.333	
24000	FUNGICIDA	1.155	1.076		0.932	0.081	0.070	1.076			1.076	
26000	EMULSION VINIL-ACRILICA	1.045	274.000		262.201	20.574	19.688	150.700			274.000	
20000	ANTIESPUMANTE	0.885	1.000		1.130	0.075	0.085	0.750			1.000	
1000	AGUA	1.000	37.500		37.500	2.816	2.816	0.000			37.500	
18000	ESPESANTE ACRÍLICO	1.060	21.300		20.094	1.599	1.509	6.390			21.300	
1000	AGUA	1.000	144.900		144.900	10.880	10.880	0.000	0.00	0.0000	144.900	
500	AGITAR DURANTE 15 MINUTOS											
			1,331.76		1,000.02	100.00	75.09	654.13	170.20	35.49	1,331.76	

ELABORÓ: ING. GENARO GALVAN VARGAS

PARAMETROS DE FORMULACIÓN	FORMULA DE PRUEBA-04
DENSIDAD	1.332
% TITANIO	10.596
% PESO DE PIGMENTO	36.501
% VOLUMEN PIGMENTO	12.780
% VOLUMEN DE SOLIDOS RESINA	10.430
% SOLIDOS VOLUMEN	30.910
% PVC	55.063
% CPVC	35.490
PVC/CPVC (PVC REDUCIDO)	1.551
% SOLIDOS TOTALES	49.118
ABSORCION DE ACEITE TOTAL	395.583
% ANTICONGELANTE(SOL. RESINA)	3.305
% COALESCENTE (SOL. RESINA)	6.193

PRODUCTO: <b>FORMULA DE PRUEBA-05</b> CLAVE: <b>PVC=65%</b> RENDIMIENTO: 1000 LITROS												
CODIGO	DESCRIPCIÓN	DENSIDAD	KILOS	Peso real	LITROS	% PESO	%VOL	PESO SOL	%AO	CPVC	PESO PARA 1 M3	AOi
100	ADICIONAR CON AGITACION											
1000	AGUA	1.000	144.000		144.000	10.540	10.540	0.000			144.000	
2000	ANTICONGELANTE	1.118	25.748		23.030	1.885	1.686	0.000			25.748	
22000	DISPERSANTE	1.190	4.980		4.185	0.364	0.306	2.191			4.980	
21000	SURFACTANTE DE 10 MOLES	1.058	3.148		2.975	0.230	0.218	0.617			3.148	
20000	ANTIESPUMANTE	0.885	0.660		0.746	0.048	0.055	0.495			0.660	
19000	BUFFER	0.945	3.990		4.222	0.292	0.309	3.791			3.990	
23000	BIOCIDA	1.000	2.017		2.017	0.148	0.148	2.017			2.017	
200	I PESADO DE PIGMENTOS Y/O CARGAS											
4000	BIOXIDO DE TITANIO RUTILICO	4.000	157.913		39.478	11.558	2.889	157.913	20.00	11.1706	157.913	31.58
9000	CAOLIN CALCINADO	2.620	61.742		23.565	4.519	1.725	61.742	60.00	4.6146	61.742	37.04
14000	TALCO 1 (3 MICRAS)	2.800	121.671		43.454	8.905	3.180	121.671	52.50	8.8701	121.671	63.88
15000	TALCO 2 (8 MICRAS)	2.800	43.139		15.407	3.157	1.128	43.139	36.00	3.8927	43.139	15.53
16000	TIERRA DEATOMACEA	2.300	143.675		62.467	10.516	4.572	143.675	200.00	5.5405	143.675	287.35
11000	CAOLIN SINTETICO	2.600	15.820		6.085	1.158	0.445	15.820	46.00	1.4017	15.820	7.28
1000	AGUA	1.000	170.000		170.000	12.443	12.443	0.000			170.000	442.66
300	DISPERSAR DURANTE 20 MINUTOS											
400	III AMPLIADO											
6000	COALESCENTE	0.944	9.333		9.887	0.683	0.724	0.000			9.333	
24000	FUNGICIDA	1.155	1.076		0.932	0.079	0.068	1.076			1.076	
26000	EMULSION VINIL-ACRILICA	1.045	202.000		193.301	14.785	14.148	111.100			202.000	
20000	ANTIESPUMANTE	0.885	1.000		1.130	0.073	0.083	0.750			1.000	
1000	AGUA	1.000	37.260		37.260	2.727	2.727	0.000			37.260	
18000	ESPESANTE ACRÍLICO	1.060	21.300		20.094	1.559	1.471	6.390			21.300	
1000	AGUA	1.000	195.800		195.800	14.331	14.331	0.000	0.00	0.0000	195.800	
500	AGITAR DURANTE 15 MINUTOS											
			1,366.27		1,000.04	100.00	73.19	672.39	190.46	35.49	1,366.27	
ELABORÓ: ING. GENARO GALVAN VARGAS												

PARAMETROS DE FORMULACIÓN	FORMULA DE PRUEBA-05
DENSIDAD	1.366
% TITANIO	11.558
% PESO DE PIGMENTO	39.813
% VOLUMEN PIGMENTO	13.940
% VOLUMEN DE SOLIDOS RESINA	7.495
% SOLIDOS VOLUMEN	29.285
% PVC	65.034
% CPVC	35.490
PVC/CPVC (PVC REDUCIDO)	1.832
% SOLIDOS TOTALES	49.213
ABSORCION DE ACEITE TOTAL	442.662
% ANTICONGELANTE(SOL. RESINA)	4.482
% COALESCENTE (SOL. RESINA)	8.401

PRODUCTO: <b>FORMULA DE PRUEBA-06</b> CLAVE: <b>PVC=75%</b> RENDIMIENTO: 1000 LITROS												
CODIGO	DESCRIPCIÓN	DENSIDAD	KILOS	Peso real	LITROS	% PESO	%VOL	PESO SOL	%AO	CPVC	PESO PARA 1 M3	AOi
100	ADICIONAR CON AGITACION											
1000	AGUA	1.000	144.000		144.000	10.312	10.312	0.000			144.000	
2000	ANTICONGELANTE	1.118	25.748		23.030	1.844	1.649	0.000			25.748	
22000	DISPERSANTE	1.190	4.980		4.185	0.357	0.300	2.191			4.980	
21000	SURFACTANTE DE 10 MOLES	1.058	3.148		2.975	0.225	0.213	0.617			3.148	
20000	ANTIESPUMANTE	0.885	0.660		0.746	0.047	0.053	0.495			0.660	
19000	BUFFER	0.945	3.990		4.222	0.286	0.302	3.791			3.990	
23000	BIOCIDA	1.000	2.017		2.017	0.144	0.144	2.017			2.017	
200	I PESADO DE PIGMENTOS Y/O CARGAS											
4000	BIOXIDO DE TITANIO RUTILICO	4.000	172.629		43.157	12.362	3.091	172.629	20.00	11.1706	172.629	34.53
9000	CAOLIN CALCINADO	2.620	67.495		25.761	4.833	1.845	67.495	60.00	4.6146	67.495	40.50
14000	TALCO 1 (3 MICRAS)	2.800	133.009		47.503	9.525	3.402	133.009	52.50	8.8701	133.009	69.83
15000	TALCO 2 (8 MICRAS)	2.800	47.159		16.842	3.377	1.206	47.159	36.00	3.8927	47.159	16.98
16000	TIERRA DEATOMACEA	2.300	157.064		68.289	11.248	4.890	157.064	200.00	5.5405	157.064	314.13
11000	CAOLIN SINTETICO	2.600	17.294		6.652	1.238	0.476	17.294	46.00	1.4017	17.294	7.96
1000	AGUA	1.000	171.000		171.000	12.246	12.246	0.000			171.000	483.91
300	DISPERSAR DURANTE 20 MINUTOS											
400	III AMPLIADO											
6000	COALESCENTE	0.944	9.333		9.887	0.668	0.708	0.000			9.333	
24000	FUNGICIDA	1.155	1.076		0.932	0.077	0.067	1.076			1.076	
26000	EMULSION VINIL-ACRILICA	1.045	136.500		130.622	9.775	9.354	75.075			136.500	
20000	ANTIESPUMANTE	0.885	1.000		1.130	0.072	0.081	0.750			1.000	
1000	AGUA	1.000	37.000		37.000	2.650	2.650	0.000			37.000	
18000	ESPESANTE ACRÍLICO	1.060	21.300		20.094	1.525	1.439	6.390			21.300	
1000	AGUA	1.000	240.000		240.000	17.187	17.187	0.000	0.00	0.0000	240.000	
500	AGITAR DURANTE 15 MINUTOS											
			1,396.40		1,000.04	100.00	71.62	687.05	208.20	35.49	1,396.40	
ELABORÓ: ING. GENARO GALVAN VARGAS												

PARAMETROS DE FORMULACIÓN	FORMULA DE PRUEBA-06
DENSIDAD	1.396
% TITANIO	12.362
% PESO DE PIGMENTO	42.584
% VOLUMEN PIGMENTO	14.910
% VOLUMEN DE SOLIDOS RESINA	4.955
% SOLIDOS VOLUMEN	27.739
% PVC	75.055
% CPVC	35.490
PVC/CPVC (PVC REDUCIDO)	2.115
% SOLIDOS TOTALES	49.202
ABSORCION DE ACEITE TOTAL	483.912
% ANTICONGELANTE(SOL. RESINA)	6.633
% COALESCENTE (SOL. RESINA)	12.432