



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

**"DISPERSION DE PIGMENTOS PARA
RECUBRIMIENTOS ORGANICOS"**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERA QUIMICA

P R E S E N T A :

NYDIA LIZETTE CERVANTES ROSAS

ASESOR: I.O.J. ALFONSO DANIEL GASCA FLORES

**CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

1997



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.



NIVEL NACIONAL
AVANCE DE
MÉRITO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

U. N. A. M. -
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLAN



Departamento de
Exámenes Profesionales

DR. JAINE KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:
Dispersión de Pigmentos para Recubrimientos Orgánicos

que presenta la pasante: Nydia Lisette Cervantes Rosas
con número de cuentas: 8529/62-3 para obtener el TITULO de:
Ingeniera Química

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .
"POR NI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cuautitlan Izcalli, Edo. de Méx., a 3 de Abril de 1997

PRESIDENTE M. en C. René Miranda Huvalcaba
VOCAL M. en C. José Guillermo Penieres Carrillo
SECRETARIO I.-Q.-I Alfonso Gasca Flores
PRIMER SUPLENTE M. en C. Eligia Pastor Rivera Martínez
SEGUNDO SUPLENTE I.-Q. Ma. Elena Quiros Macías

Dedicatorias

A MIS PADRES:

Eliás y Ma. Guadalupe, por su amor, comprensión y apoyo sin los cuales la culminación de este trabajo no hubiese sido posible, además de haber influido para realizar este y otros objetivos de mi existencia.

A MIS HERMANAS:

Linda Ivette y Lesly Karina, por su amor y apoyo demostrados.

A DIOS:

Por su amor infinito e incommensurable.

Yvettia Lizette.

Agradecimientos

A LA FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTTLÁN:

Por la formación académica recibida.

A PPG INDUSTRIES MÉXICO—TLALNEPANTLA:

En cuyas instalaciones fue realizada esta Tesis Y por su valiosa colaboración durante el desarrollo experimental al Ing. Enrique Martínez [Jefe de grupo] y a Jerónimo Gómez Mendoza [Técnico "A"].

A MI ASESOR:

I. Q. I. Alfonso Daniel Gasca Flores [Gerente del «Laboratorio de Desarrollo» en PPG Industrias México—Tlalnepantla], por su inestimable ayuda y dirección prestados en la realización de esta Tesis.

AL HONORABLE JURADO:

M. en C. René Miranda Ruvalcaba, M. en C. José Guillermo Penieres Carrillo, M. en C. Eligio Pastor Rivero Martínez, I.Q. Ma. Elena Quiroz Macías, por su tiempo prestado para la revisión de este trabajo y sus valiosas observaciones realizadas al mismo.

Nydia Lizotte.

A

índice

A Índice

A	ÍNDICE	i
B	OBJETIVO	v
I	INTRODUCCIÓN	
1.0	Antecedentes	1
1.1	Importancia del proceso de la «dispersión de pigmentos»	2
1.2	Consumo de recubrimientos en la República Mexicana	3
1.3	¿Cómo está ordenado el contexto?	6
II	ELEMENTOS DE LA DISPERSIÓN	
2.0	Introducción	9
2.1	Pigmentos	10
2.1.1	Propiedades generales	11
2.1.2	Clasificación de pigmentos	15
2.1.2.1	<i>Pigmentos inorgánicos</i>	16
2.1.2.2	<i>Pigmentos orgánicos</i>	20
2.2	Vehículos	23
2.2.1	Propiedades generales	23
2.2.2	Clasificación de formadores de películas	24
2.2.2.1	<i>Por su estructura</i>	24
2.2.2.2	<i>Por sus propiedades</i>	25
2.2.2.3	<i>Por el método de formación de películas</i>	25
2.2.2.4	<i>Por su estado físico al consumirse</i>	27
2.2.2.5	<i>Por la forma en que se obtienen</i>	27
2.2.3	Tipos de formadores de películas	29
2.2.3.1	<i>Aceites</i>	29
2.2.3.2	<i>Resinas alquídicas</i>	31
2.2.3.4	<i>Resinas melamina-formaldehído</i>	32
2.3	Aditivos para la dispersión	34
2.4	Disolventes	36
2.4.1	Propiedades generales	36
2.4.2	Clasificación de disolventes	37
III	PRINCIPIOS DE LA DISPERSIÓN	
3.0	Introducción	38
3.1	Reología	39
3.1.1	Generalidades	39
3.1.2	Tipos de comportamiento	41
3.1.2.1	<i>Comportamiento isotrópico</i>	42
3.1.2.2	<i>Factores que modifican la viscosidad</i>	43

A Índice

3.1.3	Reómetros	43
3.1.3.1	<i>Tipos más comunmente utilizados</i>	45
3.2	Aditivos para la dispersión	47
3.2.1	Introducción	47
3.2.1.1	<i>Estructura molecular específica</i>	47
3.2.1.2	<i>Mecanismo de adsorción</i>	48
3.2.1.3	<i>Tipos de aditivos</i>	49
3.2.2	Aditivos Humectantes o Dispersantes	49
3.2.3	Aditivos Estabilizadores	51
3.3	Premezcla	53
3.3.1	Características generales	53
3.3.1.1	<i>Características del equipo</i>	54
3.4	«Dispersión»	56
3.4.2	Características Generales	56
3.4.2	Pasos del proceso de dispersión	58
3.4.2.1	<i>Paso I «Reducción del tamaño de los agregados y separación»</i>	58
a)	<i>Fuerzas de atracción</i>	60
b)	<i>Fuerzas de disgregación</i>	61
3.4.2.2	<i>Paso II «Humectación»</i>	62
3.4.2.3	<i>Paso III «Estabilización del sistema»</i>	62
IV	EQUIPOS DE DISPERSIÓN	
4.0	Introducción	64
4.1	Clasificación	64
4.2	Molinos de bolas	65
4.2.1	Generalidades	65
4.2.2	Medio de molienda	66
4.2.2.1	<i>«Tipos» de medio de molienda</i>	66
4.2.2.2	<i>«Forma» del medio de molienda</i>	66
4.2.2.3	<i>Tamaño de las bolas</i>	67
4.2.2.4	<i>Tamaño de la carga</i>	68
4.2.3	Base de molienda	68
4.2.3.1	<i>Volumen de la base de molienda</i>	68
4.2.4	Características del equipo	69
4.2.4.1	<i>Velocidad de rotación</i>	69

A Índice

4.3	Molinos de rodillos	71
4.3.1	Generalidades	71
4.3.2	Principios de operación	72
4.3.2.1	<i>Ruptura de los agregados</i>	74
4.3.3	Base de molienda	74
4.4	Molinos de arena o de cuentas	75
4.4.1	Generalidades	75
4.4.2	Medio de molienda	76
4.4.2.1	<i>Tipos</i>	76
4.4.3	Base de molienda	76
4.5	Dispensores de discos de altas velocidades	77
4.5.1	Generalidades	77
4.5.2	Base de molienda	78
4.5.3	Características del equipo	78
4.6	Molinos de impacto de altas velocidades	79
4.6.1	Generalidades	79
4.6.2	Base de molienda	80
V	ESTUDIOS DE «DISPERSIÓN DE PIGMENTOS»	
5.0	Introducción	81
5.1	Objetivos	81
5.2	Programa	82
5.3	Plan de desarrollo	82
5.4	Determinaciones realizadas (métodos y materiales)	88
5.4.1	Placa Hegman	88
5.4.1.1	<i>Alcances</i>	88
5.4.1.2	<i>Usos y significado</i>	88
5.4.1.3	<i>Descripción del aparato</i>	89
5.4.1.4	<i>Patrones visuales</i>	90
5.4.1.5	<i>Método de prueba</i>	90
5.4.2	Viscosímetro Brookfield	92
5.4.2.1	<i>Alcances</i>	92
5.4.2.2	<i>Usos y significado</i>	92
5.4.2.3	<i>Aparato</i>	92
5.4.2.4	<i>Método de prueba</i>	92
5.4.3	Absorción de Aceite	94
5.4.3.1	<i>Alcances</i>	94
5.4.3.2	<i>Usos y significado</i>	94

A Índice

	5.4.1.3	<i>Aparatos y materiales</i>	94
	5.4.1.4	<i>Método de prueba</i>	94
5.5		Presentación y análisis de resultados	96
5.6		Conclusiones	103
VI		USOS Ó APLICACIONES	
6.1		Recubrimientos de superficies	106
	6.1.1	Recubrimientos arquitectónicos o decorativos	107
	6.1.1.1	<i>Pinturas de interior</i>	107
	6.1.1.2	<i>Pinturas de exterior</i>	109
	6.1.2	Recubrimientos industriales	110
C		CONCLUSIONES	111
D		REFERENCIAS	113

B

Objetivo

B Objetivo

B OBJETIVO

● El objetivo de este trabajo teórico-práctico es dar a conocer de manera concisa, breve y rápida, un panorama generalizado y contemporáneo de uno de los procesos más utilizados en la realización de un recubrimiento industrial la «dispersión de pigmentos».

● Englobando desde el conocimiento de los constituyentes que intervienen en la formación de un recubrimiento, las fuerzas interpartículas que hay que vencer entre las materias primas para conseguir su dispersión en un vehículo, hasta el uso de aditivos favorecedores de la misma, realizada en equipos mecánicos de molienda.

● Además, de conocer y medir el «grado de finura» óptimo de pigmentos en «estudios de dispersión» de éstos, como un parámetro a considerar en la producción de un recubrimiento de preeminente calidad.

1

Introducción

I INTRODUCCIÓN

1.0 ANTECEDENTES (1, 2, 3)

Los primeros procedimientos realizados para la obtención de un recubrimiento, empleaban sólo etapas simples de pesaje y mezclado usando pigmentos de origen mineral como por ejemplo los verdes, rojos y azules, etc., y como formadores de la película resinas naturales de árboles como el pino, la cera de las abejas, las grasas de los animales, etc. Los recubrimientos de hoy en día son de creación reciente, ya que su aparición en el mercado es hasta la segunda mitad del siglo XIX. Se sabe que de la protección que ofrezca el recubrimiento es como se sujeta la selección de las materias primas para su correspondiente dispersión en la etapa de molienda.

En un principio los procedimientos empleados para realizar la «dispersión de pigmentos» fueron ineficaces y primitivos dando origen a recubrimientos que no cumplieron satisfactoriamente los requerimientos de protección, durabilidad, etc., debido a que al ser aplicados a las superficies a proteger y al formarse la película, ésta no permaneció inalterable a factores externos tales como el medio ambiente, a las altas temperaturas, atmósferas corrosivas, al transcurso del tiempo, etc. Por lo tanto, se asegura que es en este siglo que la elaboración de recubrimientos mediante el proceso de «dispersión de pigmentos» comienza a realizarse en forma sistemática y con investigaciones profundas para mejoras del mismo.

Debido a la necesidad de generar recubrimientos que al ser aplicados sobre las superficies les confirieran apariencias agradables al ojo humano, además, de protección y duración; el desarrollo de la industria de los recubrimientos se inició, la cual llevó implícita el uso de materias primas mejoradas y de calidades elevadas, además, del desarrollo de los equipos de molienda, así, como del proceso industrialmente, debido a que sólo con el mezclado de las materias primas no se consiguieron recubrimientos con las características deseadas, ya que como se constatará en el desarrollo de este trabajo son las partículas de pigmento de tamaño fundamental las que imparten las propiedades características de los recubrimientos; y al final, de las películas formadas. Por lo tanto, como ha ocurrido con otras industrias, el control de la realización de un recubrimiento ha pasado a las manos de los científicos, quienes con la experiencia y el tiempo han logrado realizar formulaciones adecuadas que cumplen satisfactoriamente con los requerimientos especificados por un cliente, además de ser ayudados por el desarrollo de los equipos de molienda donde es realizada una verdadera «dispersión de pigmentos».

I Introducción: importancia del proceso de la «dispersión»

1.1 IMPORTANCIA DEL PROCESO DE LA DISPERSIÓN

Hoy en día encontramos numerosos sistemas de sólidos dispersos en líquidos desde los jugos que bebemos, las pinturas que usamos para proteger nuestras casas, hasta la pasta de dientes. Este trabajo es enfocado a la «dispersión de pigmentos» para la obtención de recubrimientos de superficies.

De modo que, la *dispersabilidad* es una propiedad de los pigmentos, ya que éstos deben ser insolubles en el medio dispersante. Se define como la facilidad con que se pueden reducir los agregados de pigmentos por medios mecánicos hasta obtener partículas de pigmento fundamentales, las cuales son humectadas en toda su superficie expuesta por el vehículo, el cual, proporciona una capa continua y permanente alrededor del mismo asegurando que el sistema obtenido permanezca estable.

La importancia del proceso de la dispersión radica en el conocimiento de las fuerzas que hay que vencer entre las materias primas para lograr su dispersabilidad en un medio circundante lo cual es efectuado por equipos de molienda mecánicos, además de evitar fuerzas que desestabilicen al sistema después de concluido el proceso de «dispersión de pigmentos».

La forma en que se conoce que un recubrimiento ha alcanzado un tamaño de partícula óptimo y por ende una dispersabilidad adecuada en un medio circundante, es al medir el «grado de finura» de partícula mediante el empleo de la placa Hegman, la cual mide el nivel de la finura del pigmento alcanzado después de su dispersión. Adecuados «grados de finura» del pigmento redundan en el aumento de las propiedades y beneficios que imparte éste en el recubrimiento obtenido y en lo futuro sobre la película formada sobre la superficie a exponer, consiguiéndose altos poderes de cubrimiento, un brillo excelente, una textura lisa, resistencia a los agentes ambientales, etc.

La selección adecuada de las materias primas, la formulación óptima de las bases de molienda y el empleo de equipo de molienda adecuado, produce recubrimientos con elevados «grados de finura» de partícula, de los más variados tipos y usos, originando que su utilización aumente año con año.

1.2 CONSUMO DE RECUBRIMIENTOS EN LA REPÚBLICA MEXICANA ⁽¹⁾

La importancia del uso o empleo de los recubrimientos radica en que son aplicados sobre superficies de construcción e industriales, expuestas al desgaste y corrosión condiciones a las que son sometidas, proporcionándoles propiedades que las hagan duraderas y resistentes a estas condiciones, empleándose una gama extensa de diversas materias primas para crear recubrimientos con propiedades específicas que son necesarias dependiendo del uso al que se les destine.

Como ya vimos, es en este siglo cuando la elaboración de los recubrimientos se ha realizado en forma sistemática, con investigaciones más profundas y con un desarrollo en la tecnología empleada y en su producción, originándose un progreso acelerado desembocando en el desarrollo de la industria de los recubrimientos y por consiguiente la expansión del mercado.

La producción de un recubrimiento específico está en función de la demanda de los consumidores de éstos. Dependiendo del uso al que se les destine se clasifican en dos grandes grupos: *los recubrimientos del tipo arquitectónico o decorativo y los del tipo industrial*. En los primeros tenemos a las pinturas de interior y exteriores que se aplican a construcciones habitadas por humanos, que constan de esmaltes y pinturas (tabla 1.2.1). En los segundos tenemos a los de tipo industrial que van desde las que son empleadas para el mantenimiento industrial y marino hasta las automotrices (tabla 1.2.2).

Por lo tanto, la producción global de recubrimientos base disolvente orgánico en la República Mexicana por las diversas plantas que los elaboran, se representan en la figura 1.2.1, que corresponde a la representación gráfica de la tabla 1.2.3 la cual a su vez es la conjunción de las tablas 1.2.1 correspondiente a los recubrimientos domésticos y la tabla 1.2.2 a los de tipo industrial.

Consumo de Recubrimientos base disolvente orgánico
en la República Mexicana (millones de litros) [4].

TABLA 1.2.1. Recubrimientos domésticos.

Tipo	1989	1990	1991	1992	1993
Esmaltes	52.7	55.66	58.77	61.89	64.04
Aerosoles	2.2	2.74	2.47	3.56	4.64
Otras	8.8	9.51	9.33	13.22	13.158
Total	63.7	67.91	70.57	78.67	81.838

TABLA 1.2.2. Recubrimientos industriales.

Tipo	1989	1990	1991	1992	1993
Industrial y marítimo	9.6	8.75	11.27	8.45	10.59
Automotriz	11.5	14.38	15.96	14.98	19.84
Electrodomésticos	1.4	1.45	1.17	1.44	1.44
Sanitarios	4.4	4.36	4.21	4.33	2.11
Acabados de madera	17.1	17.62	19.84	19.71	20.77
Acabados de metal	7	7.55	7.37	6.08	7.33
Rollos metálicos	2.1	1.72	1.64	1.48	1.55
Misceláneos	5	4.38	8.7	8.6	7.23
Repintado de autos	18.8	20.84	23.36	23.79	22.33
Total	76.9	81.05	93.52	88.86	93.19

TABLA 1.2.3. Recubrimientos domésticos e industriales.

Tipo	1989	1990	1991	1992	1993
Domésticos	63.7	67.91	70.57	78.67	81.838
Industriales	76.9	81.05	93.52	88.86	93.19
Total	140.6	148.96	164.09	167.53	175.028

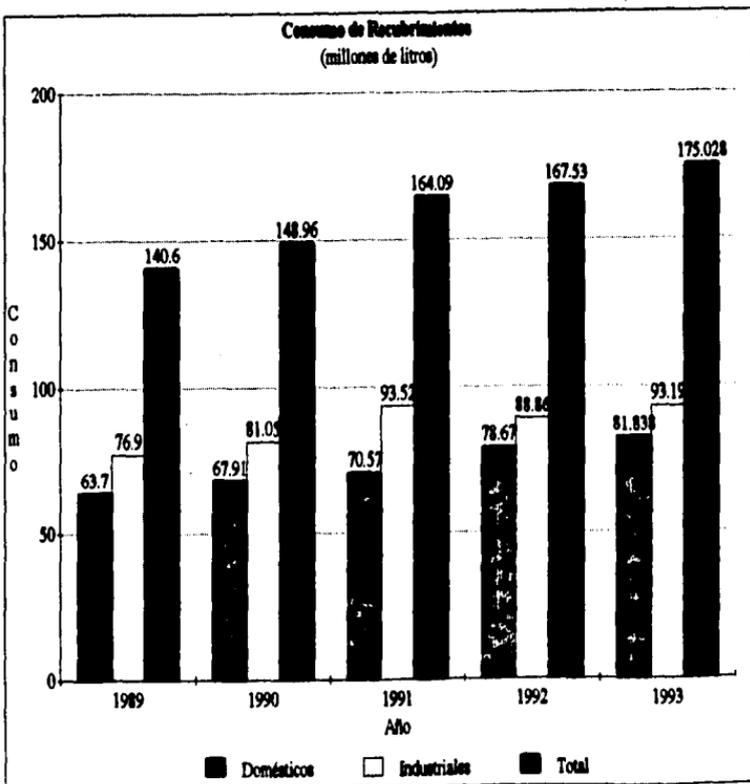


FIGURA 1.2.1 Consumo de Recubrimientos base disolvente orgánico en la República Mexicana.

1.3 ¿CÓMO ESTÁ ORDENADO EL CONTEXTO?

El contenido de este trabajo se encuentra configurado de forma tal que, el lector en forma fácil y rápida tenga un panorama sencillo del tema que incluye los conceptos básicos que se emplean en la industria de los recubrimientos, el conocimiento de las propiedades de las materias primas para una selección adecuada de las mismas, el conocimiento del proceso de la dispersión desde el punto de vista de interacción molecular de las materias primas, el uso de aditivos para favorecer la dispersabilidad, el conocimiento de los equipos de molienda más representativos usados en los 90's, un pequeño estudio práctico de la dispersabilidad de una serie de pigmentos de tipo orgánico e inorgánico en un vehículo empleando resinas poliméricas en base disolvente y por último, conocer el uso al que se les destina.

El 1^{er} capítulo es una introducción al mundo de la «dispersión de pigmentos» para obtener recubrimientos, se hace referencia a la evolución a través del tiempo del procedimiento de manufactura de los mismos. Se hace hincapié en la importancia de la «dispersión de pigmentos» como un proceso industrial de actualidad y muestra el consumo de los recubrimientos de diversos usos que van desde el tipo doméstico hasta el industrial en la República Mexicana, así como una breve información del contenido de cada capítulo de esta Tesis.

El 2^o capítulo examina los elementos también llamados materias primas que intervienen en la «dispersión de pigmentos», desde el conocimiento de sus propiedades generales hasta sus distintas clasificaciones, dándonos un panorama generalizado de los mismos, lo cual ayuda a realizar la selección adecuada de éstos para llevar a cabo formulaciones satisfactorias de las bases de molienda, y por ello, la obtención de un recubrimiento específico.

El 3^{er} capítulo muestra la etapa de la «dispersión de pigmentos» como fundamental para la obtención de recubrimientos deseados, lo cual se logra al conocer las fuerzas interpartícula que se manifiestan en el sistema y el control de las mismas.

La primera etapa en la producción de un recubrimiento consiste en el pesaje de las materias primas. La segunda etapa es la premezcla, donde se realiza la incorporación de las mismas mediante el uso de agitadores, obteniéndose bases de molienda homogéneas; es decir, de aspecto uniforme y liso (sin grumos). Los aditivos agregados le conferirán al futuro recubrimiento la estabilidad tan deseada.

I Introducción: ¿cómo está ordenado el contexto?

Éstos ayudan a que la etapa de la «dispersión de pigmentos» sea realizada sin problemas, los cuales al presentarse la convertirán en una difícil, lenta y mala «dispersión de pigmentos»; por ello, los aditivos le otorgan al sistema estabilidad y evitan el fenómeno de floculación.

Se habla de las propiedades generales de los aditivos, así como de su mecanismo de acción dependiendo del uso específico al que se les destina; es decir, los aditivos humectantes o dispersantes evitan una mala humectación de los pigmentos y los estabilizadores que evitan la formación de flocúlos. Una mala actuación de éstos desemboca en la formación de un sistema inestable.

La *tercera etapa* de la producción de un recubrimiento que más nos interesa es la «dispersión de pigmentos», la cual se explica en tres pasos fundamentales los cuales se dan en forma casi simultánea: el 1º reducción del tamaño de agregados de pigmentos y la separación de éstos, el 2º la humectación del pigmento y el 3º la estabilización del recubrimiento obtenido manteniendo la distribución homogénea en todo el sistema de los pigmentos. En el 1º, intervienen fuerzas interpartículas que hay que vencer para conseguir que los agregados de pigmentos sean reducidos en tamaño. En el 2º, se realiza la humectación por el vehículo de las partículas de pigmento. En el 3º, se evita la presencia de fuerzas que originen la formación de flocúlos lo cual converge en la desestabilización del sistema, dando un recubrimiento con características malas, como la disminución del brillo de la película, la disminución del poder cubriente, mala fluidez (aplicación difícil), poca adhesión en la superficie de aplicación, etc. La *cuarta etapa* en la producción de un recubrimiento consiste en el completado de la formulación con los componentes restantes, la *quinta etapa* adelgazar el recubrimiento, la *sexta etapa* es la filtración, la *séptima etapa* el envasado.

Un básico entendimiento de la reología del recubrimiento es esencial para el desarrollo de aceptables propiedades de flujo del mismo, pues ésta tiene influencia en características que van desde la fácil aplicación del recubrimiento como una película delgada; hasta sus características físicas, como su textura.

En el 4º capítulo se clasifican los equipos de molienda a los cuales se les conoce también como equipos de dispersión. Dependiendo de la viscosidad de las bases de molienda, es la forma en que se seleccionan los equipos mecánicos, los cuales se clasifican por el tipo de *acción dispersante* que generan. La función del equipo de molienda es producir la disgregación de los aglomerados de pigmentos.

I Introducción: ¿cómo está ordenado el contexto?

En el 5º capítulo se realiza un estudio práctico de «dispersión de pigmentos» de cinco muestras usando diferentes pigmentos tanto orgánicos como inorgánicos, dispersados en un vehículo tipo polimérico base disolvente orgánico, planteándose una serie de objetivos a cubrir, realizándose el programa en un «Laboratorio de Desarrollo» con las mismas etapas de la realización del recubrimiento en producción industrial.

El 6º capítulo es una breve información acerca del uso al que se les destina una vez realizados. Se sabe que son usados como pinturas para construcciones, pinturas industriales en general y en pinturas para automóviles.

2

Elementos de la Dispersión

II ELEMENTOS DE LA DISPERSIÓN

2.0 INTRODUCCIÓN [5.6]

Los constituyentes de un recubrimiento, a los cuales también podemos llamar materias primas son el pigmento, el vehículo y el disolvente (fig. 2.0.1)

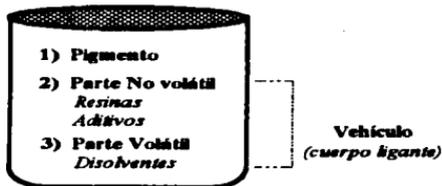


FIGURA 2.0.1. Constituyentes de un recubrimiento.

El *pigmento* debe ser insoluble en el medio a dispersar, además, de proporcionar al recubrimiento una coloración característica, definida y variada, al mismo tiempo, que a la película aplicada durabilidad y resistencia, ya que reflejan los rayos de luz incidentes. Deben ser químicamente inertes con los vehículos, de lo contrario deterioran las películas a corto plazo, asimismo, proporcionar un buen poder cubriente sobre la superficie de aplicación. Para lograr que el pigmento se fije a una superficie cualquiera, es necesario un material que sea capaz de formar una película y esto se logra dispersándolo en un vehículo adecuado. El *vehículo* se encuentra constituido por una parte no volátil y una parte volátil. La primera se refiere al medio en el que el pigmento es dispersado, formado éste por *resinas* que son materiales poliméricos, *aceites* y *aditivos*, que forman un material orgánico que liga las partículas pigmentarias, que al ser aplicado forma una película coherente y adherible a la superficie, es aquí, en la parte no volátil donde se realiza el endurecimiento de la futura película.

II Elementos de la dispersión: pigmentos

Y la segunda se refiere a los *disolventes* la cual hace manejable la dispersión para su posterior aplicación. La parte volátil se encuentra formada por disolventes los cuales cambian las propiedades físicas del recubrimiento, mismos que no permanecen al final pues se volatilizan para dar origen a la película. Su empleo radica en hacer manejable durante el proceso de dispersión la base de molienda, en mantener en suspensión al sistema pigmento-resina después de la dispersión y en darle una viscosidad adecuada para soportar el tiempo de almacenaje evitando la gelificación, así como para lograr una fácil y satisfactoria aplicación del mismo.

El procedimiento mediante el cual se consigue que los pigmentos insolubles en el vehículo se incorporen, es mediante la «dispersión de pigmentos» realizada en forma mecánica por equipos de molienda especiales. Cuando no se obtienen las características deseadas de una buena dispersión, se hace necesario utilizar aditivos en pequeñas cantidades para mejorar ésta. Estos problemas se dan cuando el sistema disperso se desestabiliza originando la floculación y hasta una posible sedimentación de los aglomerados formados.

Así pues, la selección adecuada de las materias primas anteriores hace que se realicen bases de molienda con características adecuadas para la obtención de recubrimientos con las especificaciones requeridas por el cliente, por ello, se hace necesario el conocimiento de las propiedades generales de cada una de éstas.

2.1 PIGMENTOS [1, 2, 5]

Son polvos de partículas finamente divididas, insolubles en el vehículo y de diversos colores, que proporcionan a las películas aplicadas, superficies coloridas que satisfacen por su apariencia estética. Desde el punto de vista químico, deben ser inertes para conseguir una adecuada estabilidad del recubrimiento obtenido y así garantizar una larga vida de la película aplicada, además de que su toxicidad debe ser casi nula. Los pigmentos deben *asewectarse* por los vehículos. La producción de color es el resultado de que el pigmento absorbe selectivamente en el espectro visible. La función de éstos es, además de dar color, proporcionar protección a la película final [recubrimiento de superficie] formando parte de ésta y dar un buen poder cubriente.

II Elementos de la dispersión: pigmentos

2.1.1 PROPIEDADES GENERALES [3, 6, 7, 8]

Tono primario. Color que muestra el pigmento de primera intensidad, es decir, podemos decir a primera vista el color del polvo.

Tono secundario. Es el grado de intensidad de color que muestra un pigmento o una familia de pigmentos del mismo color.

Poder tintóreo. Es la capacidad de un pigmento para impartir color al medio en que se encuentra.

Índice de refracción. Es una forma indicativa de la transparencia u opacidad de un pigmento. La desviación que sufre un haz de luz al pasar del aire a otro material más denso que él, es la *refracción*, por lo tanto el índice de refracción se denota con la letra griega η (eta) y se define como la relación entre la velocidad de la luz en el aire (v_A) y la velocidad en ese medio (v_m), es decir, $\eta = v_A/v_m$. A índices de refracción grandes los pigmentos se tornan opacos; por el contrario, a índices de refracción pequeños los pigmentos se tornan transparentes.

Forma de la partícula. Las partículas pueden ser casi esféricas, cúbicas, nodulares (forma redonda irregular), acicular (aguja o bastón), o laminar (placas).

Tamaño de partícula. Los pigmentos tienen diámetros de partícula que varía de 0.01 μ (negro de humo) hasta 50 μ aproximadamente (algunos extendedores). El intervalo de tamaños de partícula de pigmentos usados en forma general para recubrimientos oscila de 0.02 hasta 5.0 μ , pero para la obtención de calidades excelentes de recubrimientos oscila entre 0.1 hasta 0.8 μ . Se sabe que el tamaño óptimo de una partícula es de 0.2 hasta 0.4 μ .

Poder cubriente. Es la capacidad que tiene un pigmento ya dispersado para cubrir la superficie sobre la cual se aplica. El poder cubriente de un pigmento depende principalmente de la habilidad de las partículas dispersadas para esparcir la luz. Los factores que influyen al poder cubriente son: *el índice de refracción y el tamaño de partícula*. En el primero los pigmentos que tienen índices de refracción mayores que los formadores de película, confieren un excelente poder cubriente. En el segundo los pigmentos con tamaños de partícula óptimos dan poderes cubrientes buenos, pues a tamaños de partícula pequeños mejor es éste hasta un valor óptimo de tamaño ya que por

II Elementos de la dispersión: pigmentos

debajo de éste decrece el poder cubriente, debido a que las finas partículas del pigmento tienen menor poder de difusión de la luz. La *forma de las partículas* es determinante, ya que dependiendo de ésta es como se produce el acomodo de éstas en las películas, por ejemplo se aumenta el poder cubriente cuando se usan pigmentos en forma de placas o laminas.

$$\text{Poder cubriente (pigmento)} = \frac{m^2 \text{ superficie cubierta}}{\text{Kg. de pigmento}}$$

Absorción de aceite. Es la cantidad de gramos de aceite de linaza que absorben 100 g de pigmento. La cantidad de aceite que absorbe un pigmento es proporcional a su área superficial y ésta depende a su vez de la rugosidad y forma de la partícula.

$$\text{Absorción de aceite} = \frac{\text{gramos de aceite absorbido}}{100 \text{ gramos de pigmento}}$$

Migración. El término en cuestión se refiere a la aparición de el *sangrado*. Cuando los pigmentos se disuelven parcialmente en el medio dispersante se dice que *sangran*. Se considera que un pigmento sangra si alguna porción de éste migra de el medio aplicado hacia un medio incoloro o coloreado con el cual está en contacto, por ejemplo esto se observa al pintar un fondo rojo con letras blancas, éste se torna rosa debido a que el disolvente de la pintura blanca disuelve algo del pigmento rojo en el recubrimiento llevándolo al acabado de la capa blanca.

Resistencia a la luz. Dar color inicialmente no es suficiente, el color debe durar tanto como la película aplicada. Muchos pigmentos dispersados se destiñen o desvanecen al ser expuestos a la luz, debido a que los rayos ultravioleta de la luz solar tienen la energía suficiente para excitar ciertos enlaces químicos [enlaces tipo r] originando un cambio en la molécula; esto quiere decir que se ha dado un cambio en la habilidad para absorber luz en la región visible del espectro, con la consiguiente pérdida o variación del matiz.

Estabilidad térmica. Si el pigmento es requerido para un recubrimiento que sea resistente al calor, la estabilidad térmica que presente es determinante, pues al no ser resistente se observan problemas como el oscurecimiento del mismo, por lo tanto, es importante conocer la temperatura a la cual un pigmento se descompone o altera su naturaleza.

II Elementos de la dispersión: pigmentos

Reactividad química. Químicamente deben ser inertes para conseguir una buena estabilidad sinónimo de durabilidad.

Atributos físicos. Los pigmentos se encuentran en el mercado como polvos, los cuales a su vez se encuentran formando *aglomerados* en forma de *agregados*.

- **Agglomerados.**- Son partículas primarias que se encuentran casualmente unidas en sus esquinas y filos de sus superficies, si el interior de éstas se encuentra seco se les denomina *agregados*, si por el contrario el interior está humectado por el vehículo se les denomina *flóculos*.

- **Agregados.**- Son *partículas primarias* que se encuentran casualmente unidas en sus superficies, el interior de éstas está indisponible para ser *humectada*, así el *área superficial total* es menor que la suma de las superficies de las partículas individuales.

- **Partículas primarias.**- Son unidades discretas de cristales simples.

- **Flóculos.**- Ocurre en sistemas líquidos donde el pigmento dispersado forma combinaciones flojas y abiertas, debido a la presencia de fuerzas electrostáticas o de van der Waals, los cuales son destruidos mediante una simple agitación. El área superficial total del flóculo humectada no es significativamente más pequeña que la suma de las superficies de las partículas individuales.

- **Área superficial.**- El área superficial específica de un pigmento es la superficie cubierta en m^2 por 1 g de pigmento.

- **Partícula.**- Es una armadura de un material sólido, la cual se traslada y rota como una unidad rígida.

Color. (p. 10, 11) La aparición de color en una molécula se encuentra asociado con la excitación electrónica causada por la absorción de longitudes de onda de radiación electromagnética, pero la mayoría lo hace en la región ultravioleta del espectro (menor a 4000 Å) y por lo tanto aparecen como incoloras. Para producir color la absorción debe hacerse en la región visible, es decir, entre 4000 Å y 7000 Å (fig. 2.1.1).

II Elementos de la dispersión: pigmentos

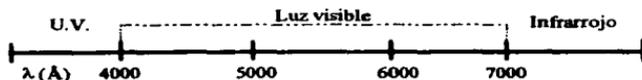


FIGURA 2.1.1. Espectro electromagnético.

Cuando el color de estas moléculas se manifiesta, corresponde a las longitudes de onda que se reflejan. Las longitudes de onda que son absorbidas se debe a que en la molécula existen centros de insaturación conjugados que presentan electrones más sensibles al estímulo de rayos luminosos, es decir, los electrones son elevados desde el nivel energético básico hacia un nivel energético excitado por medio de absorción selecta de frecuencias de luz visible incidente, dando a la molécula el matiz del color complementario (tabla 2.1.1):

TABLA 2.1.1. Región de absorción de luz visible.

Luz absorbida		Color observado
λ (Å)	Color absorbido	
4000 — 4250	Violeta	Amarillo verdoso
4250 — 4500	Índigo	Amarillo
4500 — 4900	Azul	Anaranjado
4900 — 5100	Verde azulado	Rojo
5100 — 5300	Verde	Púrpura
5300 — 5500	Amarillo verdoso	Violeta
5500 — 5900	Amarillo	Índigo
5900 — 6200	Anaranjado	Azul
6200 — 7000	Rojo	Verde azulado
7000 — 7300	Púrpura	Verde

Los grupos responsables de la absorción selectiva de longitud de onda entre 2500 Å y 10000 Å se llaman *croscóforos* (tabla 2.1.2), los cuales poseen sistemas de dobles enlaces conjugados (sistemas electrónicos π).

II Elementos de la dispersión: pigmentos

TABLA 2.1.2. Grupos cromóforos.

Grupo	Long. de onda (μ)
$>C=C<$	1930
$-C \equiv C-$	1730
$>C=N-$	1900
$-C \equiv N$	< 1600
$=C=O$	2700
$-CHO$	2930
$-COOH$	2040
$-N=N-$	4100
$-N=O$	3000; 6650
$-ONO$	2300; 3700

Sólo dos de los grupos cromóforos de la tabla 2.1.2, el grupo azo [$-N=N-$] y el grupo nitroso [$-N=O$] producen color debido a que se encuentran en el rango del espectro visible. La conjugación de dos o más grupos cromóforos origina un desplazamiento hacia una longitud de onda mayor y por lo tanto visible. También, existen otros sustituyentes que aumentan la intensidad del color y se les denomina *auxocromos*; entre éstos los principales son: $-NR_2$, $-NHR$, $-NH_2$, $-OH$, halógeno, $-OCH_3$, $-SO_3H$, $-COOH$.

Los pigmentos pueden ser vistos como sistemas en los cuales donadores de electrones y receptores de electrones son enlazados vía un cromóforo por ejemplo el grupo azo [$-N=N-$], para dar origen a un sistema de dobles enlaces conjugados.

2.1.2 CLASIFICACIÓN DE PIGMENTOS (5, 7, 8)

Los pigmentos se clasifican debido a: el color que exhiben, a su composición química y al método por el cual son obtenidos.

Por su color. - Ésta es muy general y está basada en los colores, pues es lo primero que se tiene en cuenta al elegir un pigmento.

II Elementos de la dispersión: pigmentos

Por su composición. - Ésta nos sirve para comparar propiedades específicas de los pigmentos y se dividen en orgánicos e inorgánicos.

Por su obtención. - Se dividen en naturales y sintéticos. Los primeros se obtienen a partir de minerales, a los cuales se les tritura y se les pulveriza, y los segundos se obtienen a partir de reacciones químicas.

La clasificación que se usa en este trabajo es la de pigmentos orgánicos e inorgánicos (fig. 2.1.2).

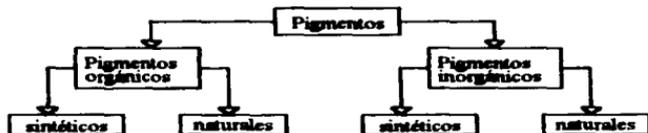


FIGURA 2.1.2. Clasificación de pigmentos

Comparando los pigmentos orgánicos y los pigmentos inorgánicos, se sabe que los primeros son más caros, su poder cubriente es más bajo, la absorción de aceite es elevada, tienen gran tendencia a sangrar en disolventes, no resisten altas temperaturas, algunos se destinan a la exposición a la luz, pero un argumento muy importante para usarlos es que los más atractivos matices de un color, con una brillantez y claridad estupendas son obtenidos con pigmentos orgánicos. Los pigmentos orgánicos son más difíciles de dispersar, debido a sus pequeños tamaños de partículas dificultando la dispersión de los mismos. A continuación sólo se mencionan los más usados y los que presentan en un porcentaje alto la característica de insolubilidad en el vehículo a dispersar.

2.1.2.1 PIGMENTOS INORGÁNICOS · P. 5, 7, 8)

Éstos son de gran uso industrial debido a sus características de elevada calidad, a continuación se citan los más representativos en la tabla 2.1.3.

Tabla 2.1.3. Pigmentos Inorgánicos.

Color	Nombre común	Composición Química	Tipo	Resistencia a:			Poder Cubriente	Absorción de Aceite (%) Ⓢ	Tamaño de Partícula (μ) Ⓢ	Temp. máx. de uso (°C)
				Química	Luz	Sangrar				
Rojo	Óxido Gelfo Pérsico	Fe ₂ O ₃	Natural	B	B	E	E	11 - 12 BB	0.75 hasta 4.0	260
	Óxido español			B	B	E	E	10 - 16 BB	0.75 hasta 4.0	260
	Óxido de hierro rojo	Sintético	E	E	E	E	17 - 75 BB - MA	0.25 hasta 0.75	260	
Café	Siena tostado	Mezcla de: (FeO) y	Natural	B	E	B	E	24 - 56 M - A	0.75 hasta 3.0	260
	Óxido de hierro café	Fe ₂ O ₃	Sintético	B	E	B	E	24 - 56 M - A	0.1 hasta 0.75	260
Negro	Umbar tostado	Fe ₃ O ₄	Natural	B	E	E	E	16 BB	40	180
	Óxido de hierro negro		Sintético	B	E	B	E	18 - 28 M	0.1 hasta 1.25	180
Amarillo	Ocres de Francia	Fe ₂ O ₃ · H ₂ O	Natural	B	B	E	B	19 - 41 M	0.2 hasta 4.0	175
	Ocres de África			E	B	E	B	19 - 41 M	2.0 hasta 4.0	175
	Óxido de hierro amarillo		Sintético	E	E	E	B	50 - 60 A	0.1 hasta 0.8	175
Verde	Óxido de cromo anhidro	Cr ₂ O ₃	Sintético	E	E	E	E	12 - 23 BB - M	0.5 hasta 1.5	1000
	Óxido de cromo hidratado	Cr ₂ O ₃ · H ₂ O		B	E	E	B	54 - 74 A - MA	0.5 hasta 1.5	500

E = Excelente, MA = Muy Alto, B = Bueno, A = Alta, M = Mediano, MB = Muy Baja, P = Pobre, BS = Baja

Ⓢ Ver tablas 2.1.4 y 2.1.5 respectivamente para valores

Tabla 2.1.3. Pigmentos Inorgánicos (continuación).

Color	Nombre común	Composición Química	Tipo	Resistencia a:			Poder Colorante	Absorción de Anilina (%)	Tamaño de Partícula (µ)	Temp. Max. de uso (°C)
				Química	Luz	Sangrar				
Amarillo	Amarillo de cromo	PbCrO ₄	Sintético	B	B	E	E	46 - 50 A	0.5 hasta 1.0	190
Naranja	Naranja de cromo	(PbCrO ₄) ₂ (PbO) ₃	Sintético	R	B	E	B	55 - 60 A	0.5 hasta 1.5	190
Verde	Verdes de cromo	Mezcla de: sales de hierro y amarillos de cromo	Sintético	E (ácidos)	B	E	E	25 - 35 M	0.5 hasta 1.5	150
Amarillo	Amarillo de zinc	Complejo básico de cromatos de zinc	Sintético	P	P	E	P	28 - 31 M	3.0	100
Amarillo	Amarillo de cadmio	Mezcla de: CdS y ZnS	Sintético	E (álcalis)	B	E	P	19 B	1.0	325
Azul	Azul de hierro	FeNH ₄ Fe(CN) ₆	Sintético	E (ácidos)	E	E	E	30 - 56 M hasta A	0.01 hasta 0.2	135
Azul	Azules ultramarino	Complejo de silicato de aluminas	Sintético	E (álcalis)	E	E	P	25 - 39 M	0.5 hasta 3.0	135
Blanco	Carbonato de calcio (estándar)	CaCO ₃	Natural	B	B	B	B	6 - 15 MB hasta B	1.0 hasta 200	B
			Sintético	(ácidos)				28 - 58 M hasta A	0.03 hasta 10	
Blanco	Dióxido de titanio (rutilo)	TiO ₂	Sintético	E	E	E	E	20 B	0.25 hasta 0.3	E
Negro	Negro de Carbono	C	Sintético	B	E	E	E	MA	0.01 hasta 0.4	B

E = Excelente, MA = Muy Alto, B = Bueno, A = Alto, M = Mediano, MB = Muy Bajo, P = Pobre, BE = Bajo

II Elementos de la dispersión: pigmentos

TABLA 2.1.4 Valores de Absorción de aceite.

Absorción de aceite (g. aceite / 1 g. pigmento)	(%)	Designación	Código
< 0.10	< 10	MUY BAJA	MB
0.10 - 0.20	10 - 20	BAJA	BB
0.20 - 0.40	20 - 40	MEDIANA	M
0.40 - 0.60	40 - 60	ALTA	A
> 0.60	> 60	MUY ALTA	MA

TABLA 2.1.5 Valores de Tamaño de partícula.

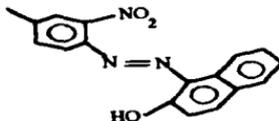
Tamaño de partícula (μ)	Pigmentos
0.01 - 0.1	Pigmentos negros
0.1 - 0.8	Pigmentos sintéticos
0.8 - 5.0	Pigmentos naturales

II Elementos de la dispersión: pigmentos

2.1.2.2 PIGMENTOS ORGÁNICOS D. 5. 7. 8]

PIGMENTOS AZO: La característica representativa de este grupo estriba en que contiene uno o más grupos cromóforos azo (-N=N-) en su molécula.

Rojo de toluídina



Clase química:

Brilanz:

Poder cubriente:

Temperatura > 135 °C:

Resistencia a la luz:

Resistencia a sangrar:

Resistencia ácidos:

Rojo fijo de manganeso 2B

Azo

Excelente

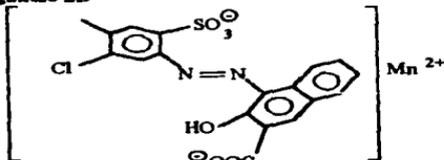
Bueno

No se usan

Excelente a la sombra

Regular

Excelente



Intensidad:

Brilanz:

Poder cubriente:

Temperatura > 150 °C:

Resistencia a la luz:

Resistencia a sangrar:

Resistencia química:

Excelente

Excelente

Bueno

No se usan

Muy buena a la sombra

Excelente

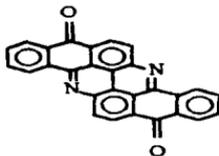
Pobre (especialmente con los álcalis)

II Elementos de la dispersión: pigmentos

PIGMENTOS POLICÍCLICOS

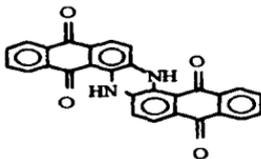
PIGMENTOS ANTRAQUINÓNICOS: Todos tienen a la estructura de la antraquinona formando parte de éstos.

Amarillo flavantrona



Matiz:
Intensidad:
Brillantez:
Temperatura > 205 °C:
Resistencia a la luz:
Resistencia a sangrar:
Resistencia química:
Costo:
Azul de Indantrona

Rojo amarillento-amarillo rojizo
Moderada
Buena
No se usan
Excelente a la sombra
Excelente
Excelente
Elevado



Matiz:
Intensidad:
Tono:
Temperatura > 220 °C:
Resistencia a la luz:

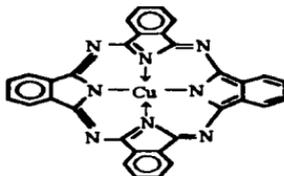
Azul rojizo
Elevada
Ciruela oscuro
No se usan
Excelente a la sombra

II Elementos de la dispersión: pigmentos

Resistencia a sangrar:
Resistencia química:
Costo:

Excelente
Excelente
Elevado

FTALOCIANINA **Azul de ftalocianina**



Matez:
Intensidad:
Tono:
Transparentes.
Temperatura > 205 °C:
Resistencia a la luz:
Resistencia química:
Estabilidad al calor:
Absorción de aceite:
Resistencia a sangrar:
Costo:

Azul verdoso
Elevada
Ciruela oscuro
No se usan.
Excelente a la sombra
Excelente
Buena
Alta
Excelente
Bajo.

II Elementos de la dispersión: vehículos

2.2 VEHICULOS

El vehículo es la porción líquida de un recubrimiento, formado por resinas, aceites, disolventes y aditivos; es en esta porción donde se dispersan los pigmentos, y la que actúa como ligante con el pigmento, contribuyendo a la formación del recubrimiento. Los vehículos están constituidos por una parte volátil, que se refiere a la evaporación de los disolventes y la parte no volátil, que funcionan como formadores de película. La parte volátil se evapora después de aplicar el recubrimiento dejando la parte no volátil en la cual las partículas de pigmento se aglutinan formando una película continua y dura que se fija sobre la superficie aplicada.

2.2.1 PROPIEDADES GENERALES [3, 6, 8, 13, 14]

Las resinas forman la base de los recubrimientos ya que representan la parte no volátil del vehículo formadora de la película que endurece y seca, por lo tanto, son responsables en cuanto a la forma en que lo hacen.

Las resinas sintéticas tienen muchas propiedades que sus predecesoras naturales no tienen. Las resinas sintéticas son polímeros. Polímero quiere decir "muchas partes". La molécula de un polímero está compuesta de muchas pequeñas partes, las cuales se unen hasta que hay cientos ó miles de átomos en la molécula del polímero. En las formulaciones de recubrimientos se utilizan de dos a más resinas para obtener las características deseadas de éste. Las resinas las encontramos a temperatura ambiente desde líquidos hasta en sólidos, formando terrones. Las resinas sólidas son amorfas; es decir, que no tienen una forma típica, ya que al disolverlas y aplicarlas a una superficie, adquieren la forma de ésta formando una película con características de continuidad.

2.2.2 CLASIFICACIÓN DE FORMADORES DE PELÍCULA [6, 8, 12]

Existen varias formas de clasificar a los formadores de películas, ya sea por sus propiedades, estructura, la forma en que endurecen [métodos de formación de películas], por su estado físico al ser consumidas o utilizadas y por la forma en que se obtienen, naturales o sintéticos.

**2.2.2.1 POR SU ESTRUCTURA EN:
*LINEALES Y ENTRECruzABLES***

Entrecruzables. Resinas en las cuales las cadenas ramificadas se encuentran unidas entre sí; es decir, existe un enlace químico generando una estructura de red cerrada, impartiendo rigidez y estabilidad a la molécula. Por lo tanto, si una gran cantidad de un monómero trifuncional está presente, una red en tres dimensiones es formada (fig 2.2.1):

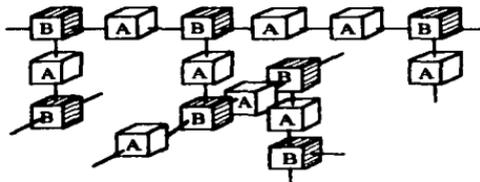


FIGURA 2.2.1. Estructura tridimensional de un formador de película entrecruzable.

II Elementos de la dispersión: vehículos

Líneales. Son resinas en las cuales todas sus moléculas están unidas a lo largo de un mismo plano. El número de moléculas con las cuales un monómero puede combinarse en la reacción de polimerización es su *funcionalidad*. Si el monómero presente tiene una funcionalidad de dos por lo tanto un polímero *lineal* se origina:

—A—A—A—A—A... etc. (—A— tiene una funcionalidad de dos).

2.2.2.2 POR SUS PROPIEDADES: TERMOPLÁSTICOS Y TERMOFIJOS

Termoplásticos. Son resinas que bajo la acción del calor pueden fundirse o reblandecerse en su forma polimérica sin alterar su estructura. Esto es porque en la estructura del polímero existen cadenas ramificadas que interactúan entre sí originando atracciones las cuales son conocidas como fuerzas de van der Waals. Debido a que estas fuerzas son débiles, se ven vencidas por la acción del calor, originando que el polímero se reblandezca o se funda.

Termofijos. Son aquellas resinas que al *curarse* [por la acción del calor] producen polímeros insolubles y que no se funden al aplicarles calor. Esto se debe a que las cadenas ramificadas están unidas mediante enlaces químicos (covalentes) formando estructuras entrecruzables estables y por lo tanto resistentes a la acción del calor. Pero si se aplican temperaturas muy elevadas el polímero se descompone o se destruye.

2.2.2.3 POR EL MÉTODO CON QUE FORMAN SUS PELÍCULAS (tabla 2.2.1):

- [1] EVAPORACIÓN
- [2] REACCIÓN QUÍMICA ENTRE EL RECUBRIMIENTO Y EL AIRE.
- [3] REACCIÓN QUÍMICA ENTRE LOS INGREDIENTES DEL RECUBRIMIENTO.

TABLA 2.2.1. Formación de películas asociadas con las propiedades de las resinas.

MÉTODO (1) (2) (3)	[1] Evaporación	[2] Reacción química entre el recubrimiento y el aire	[3] Reacción química entre los ingredientes del recubrimiento	
Tipo de película polimérica	Lineal	Entrecruzable	Entrecruzable	
Cambio en el polímero durante el secado	No	Si	Si	
Temperatura	Ambiente	Ambiente	De horno	Ambiente
Ingredientes químicos reactivos	No	El oxígeno del aire	Mezcla de resinas que reaccionan entre sí.	Adición de catalizadores
Ingredientes del recubi- miento juntos antes de ser aplicado	Si	Si	Si	No

II Elementos de la dispersión: vehículos

2.2.2.4 POR SU ESTADO FÍSICO AL CONSUMIRSE: POLVOS Y LÍQUIDOS

Polvos. Se dice que son resinas duras y se venden en polvo o terrones, encontrándose libres de disolventes. Su transformación a líquidos se hace en diversas proporciones de disolventes dependiendo de la fórmula requerida. Por lo general, el consumidor no es muy afecto a obtenerlos en polvos por lo impráctico que resulta prefiriéndolos en estado líquido para consumo inmediato.

Líquidos. Son los que más utiliza el consumidor por encontrarse ya disueltos y por resultar prácticas y de uso fácil e inmediato.

2.2.2.5 POR LA FORMA EN QUE SE OBTIENEN: NATURALES Y SINTÉTICOS [9, 10, 11]

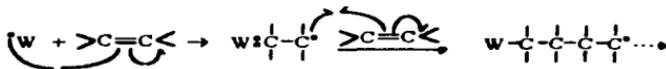
Naturales. Son aquellas que se obtienen de la naturaleza. En la actualidad su uso se ha vuelto obsoleto ya que las sintéticas las han superado, obteniéndose con estas últimas recubrimientos de una alta calidad, duración y resistencia a agentes exteriores.

Sintéticas. Son aquellas obtenidas a partir de procesos químicos donde se involucran reacciones. Las unidades moleculares que se utilizan para sintetizar los polímeros se denominan *monómeros* y las reacciones mediante las cuales se unen son llamadas *polimerización*. Existen dos tipos de polimerización: *adición o cadena* y *condensación*. Las características representativas de estos tipos de polimerización son:

a) **Adición.** Las unidades monoméricas estructurales se unen sin que se pierda ningún átomo; por lo tanto, la composición de la unidad repetitiva del polímero no difiere de la del monómero. Son reacciones en cadena por una adición rápida de monómeros hasta un crecimiento de cadena final, se obtienen polímeros con pesos moleculares muy altos en poco tiempo y al terminar la reacción sólo quedan trazas del monómero, más polímero formado. Requiere de un iniciador del cual se obtiene una especie con un centro reactivo; dicho centro reactivo puede ser un radical libre, un anión o un catión. La reacción de adición comprende los siguientes pasos:

II Elementos de la dispersión: vehículos

1) *Via radical libre.*



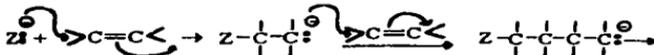
La iniciación se realiza con peróxidos orgánicos que generan radicales libres (W - RO₂).

2) *Catiónica.*



Las condiciones de esta reacción es que sea catalizada por un ácido (condiciones ácidas o catiónicas).

3) *Aniónica.*



Las condiciones de esta reacción es que sea catalizada por una base (condiciones básicas o aniónicas).

b) Condensación. - Los monómeros estructurales tienen grupos funcionales y al polimerizarse se unen con la expulsión de moléculas pequeñas. La composición de la unidad repetitiva componente del polímero difiere de la del monómero.



II Elementos de la dispersión: vehículos

2.2.3 TIPOS DE FORMADORES DE PELÍCULAS [P. 6, 6, 12]

2.2.3.1 ACEITES [6, 13]

Los aceites se consumen en las industrias del jabón y en la preparación de grasas comestibles, pero el tercer campo en el que más se emplean es para formar parte de los constituyentes de un recubrimiento de superficie. Los aceites que son de particular interés para la química de los recubrimientos, son los «aceites grasos» debido a la capacidad que presentan para secarse después de ser aplicados a superficies dando origen a películas sólidas, impermeables, que resisten a la abrasión y tienen una buena adhesión. Las resinas duras proporcionan dureza y tenacidad a las películas obtenidas, mientras que los aceites les confieren flexibilidad y adherencia. Por lo tanto, se sabe que las resinas duras endurecen a los aceites y los aceites ablandan a este tipo de resinas; por ello, los aceites son considerados como plastificantes de los recubrimientos. Su función radica en la formación de una película protectora plastificada, sin los cuales los pigmentos no se adhieren a las superficies. Éstos son ésteres del glicerol, en el cual los tres grupos oxhidrilo reaccionan con ácidos grasos. La mayoría de estos ácidos grasos contienen 18 átomos de carbono. Los ésteres triples son llamados triglicéridos (fig. 2.2.2).

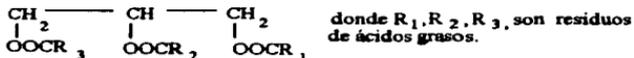


FIGURA 2.2.2. Estructura de un triglicérido.

Los dobles enlaces son los centros reactivos donde ocurre el secado y por lo tanto entre más dobles enlaces en forma conjugada haya, más secante es el aceite. En la tabla 2.2.2 se muestra la estructura de los ácidos grasos insaturados más comunes:

Tabla 2.2.2. Estructura de algunos ácidos grasos insaturados.

Nombre	No. carbonos	Estructura
Oleico	18	
Linoleico	18	
Linolénico	18	
Eleostearico	18	

II Elementos de la dispersión: vehículos

La utilidad de un aceite es determinada por la naturaleza del ácido graso presente, clasificándose en base a la forma de secar para formar una película sólida cuando se extiende y se expone al aire como: *aceites secantes* forman películas a temperaturas ambiente conteniendo una gran cantidad de ácidos grasos principalmente con tres dobles enlaces conjugados en las cadenas, mientras que los *aceites semisecantes* requieren de calor para formar la película y conteniendo ácidos grasos principalmente con dos dobles enlaces conjugados en la cadena, por último los *aceites no secantes* no forman una película, conteniendo menores cantidades de ácidos grasos con sólo un doble enlace en la cadena.

Curado al aire. Es un proceso químico producido por la acción del oxígeno del aire sobre la película del recubrimiento a temperatura ambiente, el cual genera el endurecimiento de la misma. El oxígeno es atraído por los estructuras no saturadas de los aceites, rompiendo sus dobles enlaces y formando radicales libres que reaccionan con las moléculas del resto del aceite originando enlaces cruzados comenzando la polimerización (fig 2.2.3).

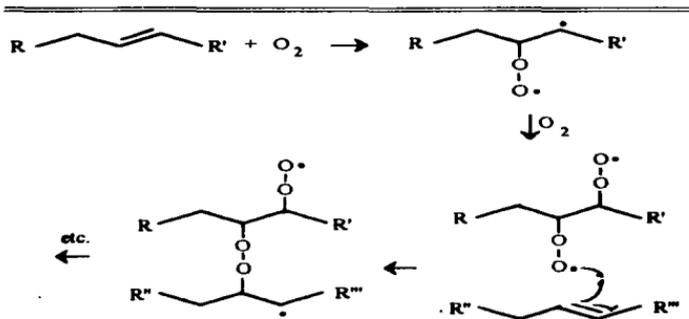


FIGURA 2.2.3. Formación de enlaces cruzados.

II Elementos de la dispersión: vehículos

2.2.3.2 RESINAS ALQUIDÁLICAS

Son resinas sintéticas producto de la reacción entre polioles (glicerol) y ácidos policarboxílicos en forma anhídrida (anhídrido maleico) combinados químicamente con aceites (fig. 2.2.4).

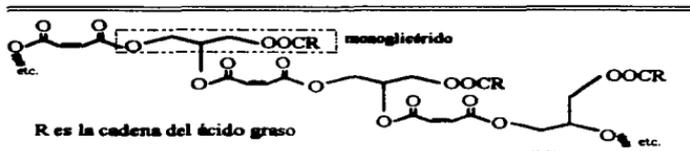


FIGURA 2.2.4. Estructura de la resina alquidálica.

Aceites secantes y no secantes pueden ser usados en diferentes proporciones de acuerdo al tipo de resina alquidálica que se requiera. Es decir, los aceites no secantes dan resinas alquidálicas plastificadas, mientras que los aceites secantes dan resinas alquidálicas secantes. La parte del poliéster da la dureza y tenacidad a las películas obtenidas con ellas y los ácidos grasos de los aceites dan flexibilidad y adherencia a sus películas. La solubilidad en los disolventes la dan las largas cadenas hidrocarbonadas insaturadas de los ácidos grasos. Las propiedades de estas resinas se dan en función de la variación de la proporción del aceite; es decir, a mayor contenido de aceite, más blanda y fluida es. Su brillo y su duración en exteriores son excelentes. Cuando la película es aplicada, muestra resistencia a objetos calientes (v. g. cigarro). Para resinas con poca cantidad de aceites se usan disolventes aromáticos como el xileno y para las que tienen un contenido mayor de aceites, los disolventes alifáticos como el acetato de etilo, acetona, alcohol isopropílico, etc.

Curado.- Estas resinas endurecen sus películas al secar al aire y esto debido al contenido de aceites secantes en la resina, mediante la polimerización oxidativa que sufren los mismos (fig. 2.2.3). Cuando el curado emplea altas temperaturas de horno, se emplean resinas alquidálicas de aceites no secantes mezcladas con otras resinas que les proporcionen dureza y resistencia a las películas. Generalmente, estas resinas contienen grupos que reaccionan con los oxidrilos de las resinas alquidálicas, como ocurre al mezclarlas con resinas amínicas (ver sección 2.2.3.3).

II Elementos de la dispersión: vehículos

2.2.3.3 RESINAS MELAMINA — FORMALDEHÍDO

La resina melamina—formaldehído pertenece al grupo de las resinas aminicas en el cual se encuentran las resinas urea—formaldehído. Ya que estas últimas casi ya no se usan, debido a que han sido reemplazadas por las primeras por sus mejores propiedades, haremos mención sólo a éstas. Las resinas melamina—formaldehído son resinas sintéticas, donde la unidad monomérica que se utiliza para sintetizar el polímero es la pentametilolmelamina (fig. 2.2.5).

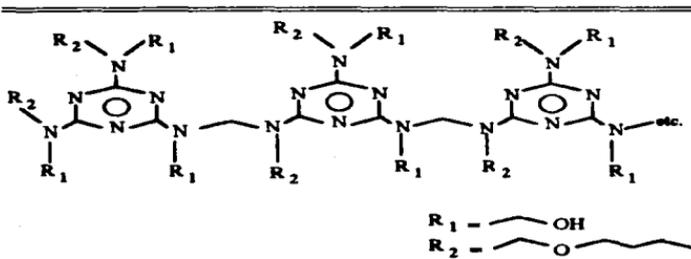
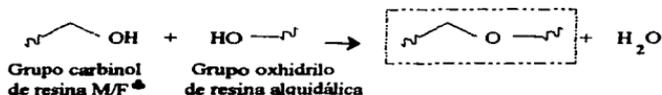


FIGURA 2.2.5. Estructura de la resina melamina-formaldehído.

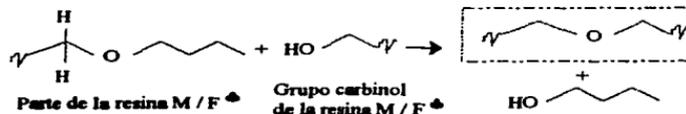
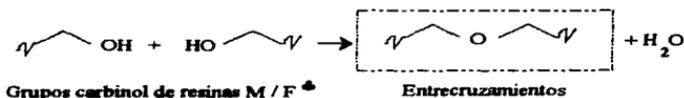
La dureza de esta resina es aún mayor que la de urea—formaldehído, pero origina fragilidad y poca adhesión en las películas obtenidas, debido a que sus moléculas son más grandes careciendo de flexibilidad; pero la ventaja que proporcionan a los recubrimientos que las requieren es que les confieren a sus futuras películas una elevada dureza y resistencia. Para disminuir la fragilidad y la poca adhesión de las películas obtenidas al emplear estas resinas se les agregan resinas plásticas (resinas alquídicas), obteniéndose recubrimientos que forman películas más blandas y adheribles. Estas resinas se caracterizan por ser más resistentes al agua y químicos que las urea—formaldehído. Los disolventes usados en la formulación de recubrimientos que las emplean son el butanol e hidrocarburos aromáticos, como el xileno, tolueno, etc.

II Elementos de la dispersión: vehículos

Curado. - La forma en que endurecen sus películas este tipo de recubrimientos es mediante el curado. El cual es realizado a temperaturas de horno de ≈ 100 a 150 °C, a las cuales ocurre el entrecruzamiento de las resinas y la combinación se da por la reacción de condensación entre los grupos carbinol de las resinas aminicas y los grupos oxhidrido de las resinas plastificantes o alquídicas:



A estas temperaturas, la resina melamina—formaldehído también se entrecruza con ella misma:



♣ Melamina—formaldehído

II Elementos de la dispersión: aditivos para la dispersión

2.3 ADITIVOS PARA LA DISPERSIÓN (2.4.9)

Los aditivos se emplean cuando las materias primas en las bases de molienda no cumplen adecuadamente con sus funciones para conseguir elevados grados de dispersión del pigmento; es decir, un recubrimiento estable que permanezca aún durante su almacenamiento y hasta su futura aplicación, sin perder ésta. En la tabla 2.3.1 se muestra la clasificación de los aditivos para la «dispersión de pigmentos» dependiendo de las deficiencias a corregir.

Éstos son adicionados e incorporados junto con las materias primas en premezcladores dando origen a lo que se le conoce como la *base de molienda*, que posteriormente es trasladada a los equipos mecánicos de molienda donde se realiza la «dispersión de pigmentos». El proceso de la dispersión consta principalmente de tres etapas realizadas en forma casi simultánea: la 1ª consiste en disgregar los aglomerados secos de partículas de pigmentos hasta obtener tamaños de partículas primarias. En la 2ª se desplaza de la superficie de las partículas pigmentarias el aire y la humedad que se encuentran adheridos a ella; y simultáneamente la partícula de pigmento es humectada por el vehículo. La 3ª consiste en preservar la distribución homogénea del pigmento dispersado en todo el sistema, evitando la floculación del pigmento que convergería en la desestabilización del mismo.

Por lo tanto, se utilizan aditivos humectantes también llamados aditivos *dispersantes*, para hacer más fácil y rápida la dispersión de los pigmentos, hasta llegar al «grado de finura» de pigmento deseado, es decir, para facilitar la humectabilidad. Los aditivos estabilizadores se emplean para lograr que el recubrimiento obtenido permanezca estable aún durante el período de almacenamiento y hasta su aplicación, es decir, evitar que se presenten problemas de reaglomeración, floculación y sedimentación del sistema. En la sección 3.2 del capítulo III se ilustra con más detalle la forma en que actúan en el proceso de «dispersión de pigmentos».

TABLA 2.3.1. Clasificación de los aditivos para la dispersión.

Aditivos para la dispersión		
Clasificación	Corrige	Función
Humectante • dispersante	Una dispersión lenta y difícil de manejar y por consecuencia la mala humectación del pigmento.	Son agentes tensioactivos que actúan disminuyendo la tensión superficial de la fase líquida de un recubrimiento, permitiendo una mejor humectación del pigmento.
Estabilizador	La floculación del pigmento después de la dispersión del mismo. La sedimentación.	Le confieren las propiedades requeridas al recubrimiento permitiendo mantener en suspensión los pigmentos y evitar el fenómeno de floculación.

II Elementos de la dispersión: disolventes

2.4 DISOLVENTES (3, 5, 6, 8)

Es la parte húmeda del recubrimiento que se volatiliza al secarse la película después de haber permitido una fácil aplicación. Su uso estriba en hacer manejables las materias primas durante la etapa de la molienda y dar al recubrimiento obtenido la consistencia adecuada para su aplicación correcta, con la posterior evaporación del disolvente promoviendo la formación de la película; por lo tanto, mientras más rápida es la evaporación del disolvente más rápido es la formación de ésta. Un buen disolvente forma películas con características de brillo y uniformidad.

2.4.1 PROPIEDADES GENERALES

Volatilidad. Cuanta más rápida es ésta, más pronto es el secado evitando que el recubrimiento se corra o forme arrugas al ser aplicado en lugares u objetos de posición vertical.

Toxicidad. Las emisiones de vapores tóxicos a la atmósfera son rutinariamente expelidas por plantas industriales que usan recubrimientos que emplean disolventes orgánicos. La toxicidad de sus vapores debe ser lo más pequeña posible, ya que puede causar problemas de salud al personal que se encuentra bajo estas condiciones de trabajo y contaminar peligrosamente al medio ambiente, por ello, al momento de seleccionarlos se debe tomar en cuenta lo anterior.

II Elementos de la dispersión: disolventes

2.4.2 CLASIFICACIÓN DE DISOLVENTES

Los podemos dividir en cinco grupos (tabla 2.4.1) y su uso esta en función de su volatilidad y de su toxicidad.

TABLA 2.4.1 Clasificación de disolventes

Clase	Ejemplos	Volatilidad		
		baja	media	alta
Hidrocarburos aromáticos	solvesso - 150* solvesso - 100* xileno, tolueno.	X	X	X X
Hidrocarburos alifáticos	n - pentano, alcoholes minerales.	X	X	
Ésteres	acetato de cellosolve, acetato de butilo, acetato de etilo.	X	X	X
Cetonas	metil amil cetona, metil <i>i</i> - butil cetona, metil etil cetona.	X	X	X
Alcoholes	octílico, amílico, n- butílico, <i>i</i> - propílico, etílico, metílico.	X X	X	X

* mezcla de hidrocarburos aromáticos.



Principios de la Dispersión

III PRINCIPIOS DE LA DISPERSIÓN

3.0 INTRODUCCIÓN

En la actualidad las dispersiones de partículas sólidas en un medio líquido, son muy importantes industrialmente en un amplio rango de productos, caracterizados por un alto contenido de partículas sólidas en suspensión. La importancia del proceso de la dispersión radica en el conocimiento de las fuerzas que hay que vencer entre las materias primas para lograr su dispersabilidad en un medio circundante, lo cual es efectuado por equipos de molienda mecánicos; y al mismo tiempo, el evitar fuerzas que desestabilicen al sistema después de concluido el proceso de «dispersión de pigmentos».

La dispersión es una operación destinada a producir la diseminación máxima del pigmento en el vehículo, conforme a los requisitos exigidos al recubrimiento. Para conseguir recubrimientos con características adecuadas para su satisfactorio uso y aplicación, el conocimiento de sus propiedades reológicas es indispensable, ya que a través del conocimiento, medición y control de la viscosidad de las bases de molienda, es como se seleccionan los equipos de molienda a utilizar, haciéndose un uso adecuado de los mismos.

La estabilidad es un sinónimo de que un recubrimiento adecuado ha sido obtenido, manteniendo las partículas del pigmento en suspensión en el vehículo por tiempo indefinido. Por lo tanto, un conocimiento de la interacción de las partículas de las materias primas es necesario conocer y controlar. Cuando no se consigue obtener un sistema estable, éste debe ser inducido mediante la utilización de aditivos para la dispersión, los cuales son adicionados en las bases de molienda que consiguen corregir problemas como una mala humectación del pigmento por el vehículo, utilizándose en este caso aditivos humectantes o dispersantes. Otro problema que se presenta en los recubrimientos, es cuando el sistema flocula; es decir, se vuelve inestable, provocando que disminuyan las propiedades de la película aplicada, utilizándose aditivos estabilizadores para corregir la floculación del sistema.

III Principios de la dispersión: reología

En la realización de un recubrimiento intervienen una serie de operaciones unitarias que se verán en detalle más adelante, de las cuales la premezcla y la molienda son a las que más se hacen mención en esta Tesis. Debido a que en la premezcla sólo se realiza la incorporación de las materias primas, ya que los esfuerzos aplicados no son suficientes para vencer las fuerzas que mantienen unidos a los agregados de pigmentos; sólo consiguiéndose que los agregados de pigmentos secos en su interior sean humectados en grupo exteriormente.

En la operación unitaria de la molienda, es donde se realiza una verdadera «dispersión de pigmentos» en la cual la acción dispersante es capaz de vencer las fuerzas que mantienen unidos a los agregados pigmentarios, consiguiéndose su dispersabilidad en el vehículo. Ésta consta de tres etapas que se dan en forma casi simultánea: *primera*, es la reducción del tamaño de los agregados, hasta conseguir partículas pigmentarias de tamaños primarios; *segunda*, la humectación de la partícula pigmentaria por el vehículo; y *tercera*, mantener las partículas de pigmento humectadas por el vehículo, en suspensión y distribuidas en todo el sistema.

La obtención de partículas de pigmento fundamentales bien humectadas por el vehículo es una prioridad en el proceso de la dispersión. Entre más grande es la cantidad obtenida de éstas, el grado de dispersión del pigmento es mayor y por lo tanto, adecuado para la obtención de un buen recubrimiento. La forma en que se mide el grado de dispersión del pigmento es a través del empleo de la placa Hegman.

3.1 REOLOGÍA (p. 5, 12, 16, 17)

3.1.1 GENERALIDADES

Reología es el estudio del flujo y deformación de la materia. Un entendimiento básico de la reología de los recubrimientos es esencial para el desarrollo de aceptables propiedades de flujo en un recubrimiento.

III Principios de la dispersión: reología

En la tecnología de los recubrimientos nos compete la "reología de fluidos" y las bases de molienda como fluidos muestran un comportamiento no ideal (flujo no newtoniano), el cual se explica más adelante. Para producir una deformación debe aplicarse un esfuerzo, que se define como una fuerza aplicada tangencialmente hacia un líquido para originar que fluya. A esto se le llama **esfuerzo cortante**.

La figura 3.1.1 muestra un modelo típico en el cual se definen los parámetros reológicos básicos. Consiste de un fluido limitado entre placas planas de área (A) separadas por una distancia (d). Una fuerza por unidad de área en forma tangencial (F) actúa sobre la placa superior de una manera cortante, y la placa del fondo permanece estacionaria. La muestra es deformada, consiguiendo que la placa superior se mueva a velocidad constante. Por lo tanto el esfuerzo cortante se denota con la letra griega τ (tau) y se define como $\tau = \text{Fuerza} / \text{área} = F / A$ (Newton / metro² = Pascal).

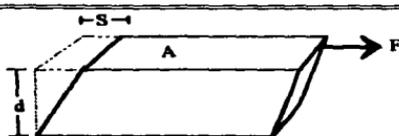


FIGURA 3.1.1. Modelo para definir parámetros reológicos básicos.

La viscosidad es una propiedad de flujo de un líquido, la cual se define como la resistencia que ofrece a fluir bajo una fuerza mecánica y se denota con la letra griega η (eta) y se define como $\eta = \text{Esfuerzo cortante} / \text{razón de corte} = \tau / \dot{\gamma}$ (poise, Pa·s).

La razón de corte es aquella velocidad a la cual una capa de líquido fluye encima de capas adyacentes (fig. 3.1.1); se denota con la letra griega $\dot{\gamma}$ (gamma) y se define como $\dot{\gamma} = \text{Velocidad} / \text{distancia} = V / d$ (s⁻¹).

III Principios de la dispersión: reología

3.1.2 TIPOS DE COMPORTAMIENTO

El comportamiento de un líquido se clasifica como newtoniano o no newtoniano. Un líquido *newtoniano* es aquel en el que la viscosidad es independiente de la velocidad de corte y por consiguiente del esfuerzo cortante, es decir, que la viscosidad es una constante. Ahora en un líquido *no newtoniano* la viscosidad depende de la velocidad de corte y por consiguiente del esfuerzo cortante, es decir, que la viscosidad no es una constante. Los recubrimientos dan este tipo de comportamiento. En la figura 3.1.2 se representan por medio de gráficas los tipos comunes de comportamientos reológicos.

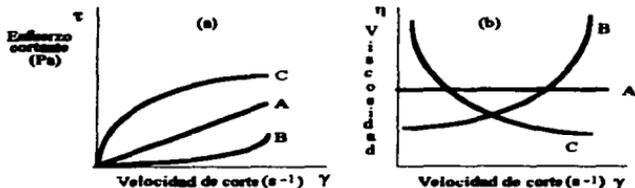


FIGURA 3.1.2. Tipos comunes de comportamientos reológicos.

En la fig. 3.1.2 [a] la curva A representa un comportamiento *newtoniano* el cual se representa por una línea recta que nace en el origen, donde la velocidad de corte es proporcional al esfuerzo cortante que se aplica y donde la pendiente es la viscosidad del fluido en estudio [aceites y disolventes dan este comportamiento]. La curva B muestra un incremento en la viscosidad al aplicar un esfuerzo de corte a lo que se le llama *dilatancia o espesamiento por corte*. Como se ve, su comportamiento reológico es opuesto a C [sistemas altamente pigmentados lo presentan]. La curva C corresponde al comportamiento llamado *pseudoplástico* y se caracteriza por disminuir la viscosidad al aplicar un esfuerzo de corte y es sinónimo de un comportamiento bueno y, como se ve, nace en el origen. Por lo tanto, fluye tan pronto como es sometido a agitación. Algunos materiales no comienzan a fluir hasta que un pequeño esfuerzo es aplicado, al cual se le llama esfuerzo de rotura inicial, que es el nivel de esfuerzo al cual un recubrimiento fluye.

3.1.2.1 COMPORTAMIENTO TIXOTRÓPICO

Un comportamiento reológico de gran interés es el *tixotrópico*, y es la capacidad que presenta un sistema dado de disminuir la viscosidad conforme aumenta el esfuerzo de corte y la habilidad que presenta al recuperar la viscosidad de comienzo, acabado el movimiento del sistema y al transcurrir un periodo de tiempo.

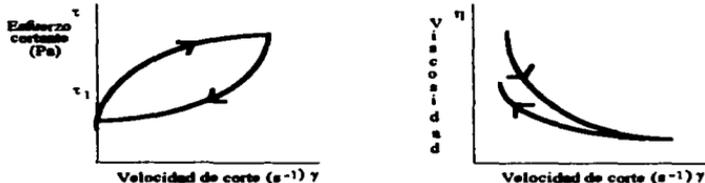


FIGURA 3.1.3. Comportamiento reológico de un sistema tixotrópico.

La curva de la fig. 3.1.3 corresponde al comportamiento tixotrópico, el cual necesita de un esfuerzo de rotura inicial (τ_1) para lograr que comience su movimiento, es decir, su fluidificación. Al aumentar el esfuerzo de corte, la orientación de las moléculas en el sistema es cambiada y la estructura es destruida disminuyendo la viscosidad del sistema. Al parar la agitación y quedar en reposo el sistema, se observa como la viscosidad inicial es recuperada terminado un periodo de tiempo.

Esto se explica debido a que si las fuerzas de atracción que se presentan no son lo suficientemente fuertes, la tendencia de las partículas pigmentarias es la de mantenerse a cierta distancia entre sí; es decir, comienzan a orientarse dentro del sistema, originando el aumento de la viscosidad conforme el tiempo avanza.

3.1.2.2 FACTORES QUE MODIFICAN LA VISCOSIDAD [19]

La viscosidad de un recubrimiento es muy sensible a los cambios de *temperatura*, observándose cómo disminuye ésta al incrementarse la temperatura.

La viscosidad de un recubrimiento también depende de la *concentración* de la resina en un disolvente dado; es decir, si aumenta el peso molecular de ésta la viscosidad lo hace también. La viscosidad aumenta al intensificarse la polaridad en las estructuras de las resinas, ya que éstas al tener pesos moleculares similares pero diferencias en sus polaridades exhiben viscosidades diferentes.

Si queremos que la viscosidad de un recubrimiento disminuya u obtener su viscosidad de aplicación, sólo tenemos que agregar un disolvente adecuado para obtenerla. La disolución de una resina es un proceso lento, observándose esto con mayor énfasis en los polímeros de pesos moleculares elevados; por lo tanto, las resinas con un bajo peso molecular son más solubles. También se observa que la configuración que adquiere la resina en el disolvente depende de éste, pues si es un buen disolvente, logra que el polímero se desenrolle, pero si tratamos con un mal disolvente sólo conseguiremos que la macromolécula se enrede en sí misma [fig. 3.1.4 (a) y (b)].



(a)



(b)

FIGURA 3.1.4. Estructura de una macromolécula en un disolvente malo (a) y en un disolvente bueno (b).

3.1.3 REÓMETROS [8, 17, 19]

La medición de aceptables propiedades de flujo en un recubrimiento es realizada mediante el uso de aparatos con el nombre de reómetros o viscosímetros. En la figura 3.1.5 se muestra un esquema de las rutas para la elección de un viscosímetro.

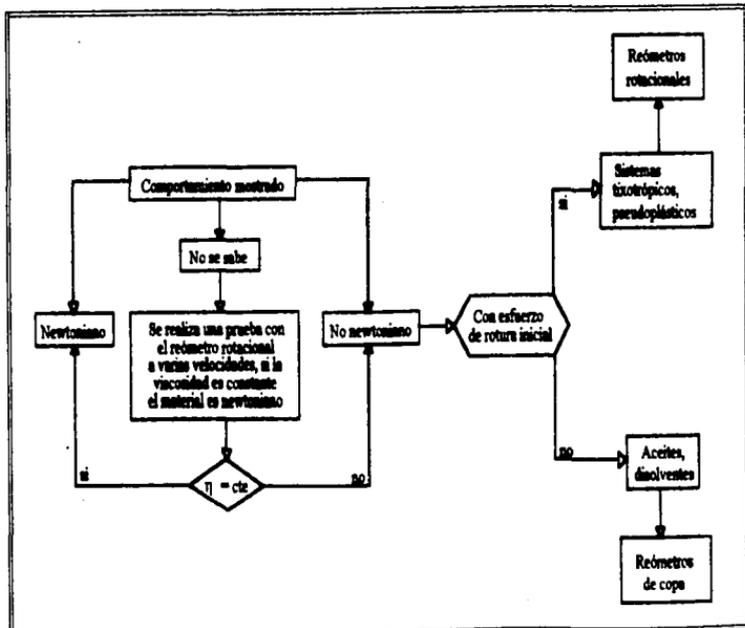


FIGURA 3.1.5. Esquema de elección de un reómetro.

3.1.3.1 TIPOS MÁS COMÚNMENTE UTILIZADOS:

A) REÓMETROS DE COPA

B) REÓMETROS ROTACIONALES

a) **Reómetros de copa.**- Es una copa metálica con fondo cónico con un orificio de diámetro variable conforme el tipo de copa a usar y por el cual fluye el líquido en cuestión [fig. 3.1.6 (a)]. La viscosidad es expresada como el tiempo empleado para vaciar un volumen de material que pasa a través del orificio hasta que el flujo de caída se rompe. Teniendo el tiempo de flujo que depende del tipo de copa utilizada, se conoce la viscosidad de tablas. Las copas comerciales más utilizadas por su fácil manejo, por su versatilidad y por ser baratas son: la Ford (No. 2 a 4), la Zahn (No. 1 a 5), la Shell (No: 1 a 5). Este tipo de reómetros no se utiliza con sistemas donde se presenta el comportamiento tixotrópico, donde se requiere de un esfuerzo de rotura inicial, ya que el material presenta resistencia para comenzar a fluir a través del orificio quedándose en la copa.

b) **Reómetros Rotacionales.**- Se utilizan para realizar mediciones con muestras con altas viscosidades, que presentan esfuerzos de rotura iniciales (comportamientos pseudoplástico y tixotrópico). Se basan en la rotación de un objeto de geometría conocida dentro del recipiente conteniendo la muestra en estudio. La rotación del objeto obliga a la muestra a ser cortada por éste. El momento de torsión se mide por medio de un sensor que es un resorte colocado en la flecha del objeto de geometría conocida. La torcedura del resorte es una medida directa de la resistencia que ofrece la muestra a fluir, es decir, la viscosidad [fig. 3.1.6 (b)].

III Principios de la dispersión: reología

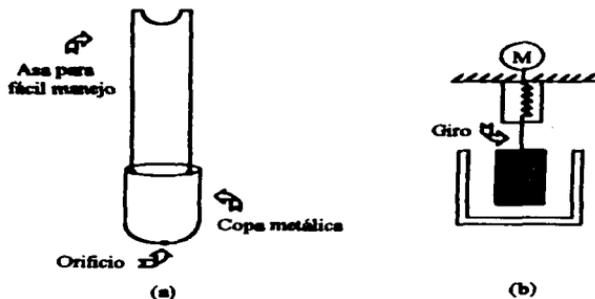


FIGURA 3.1.6. Reómetro de copa (a) y rotacional (b).

Uno de los reómetros rotacionales más comerciales empleados por su versatilidad, es decir por su simplicidad de operación y bajo costo, es el Brookfield tabla 3.1.1.

TABLA 3.1.1. Características del reómetro Brookfield.

Nombre	Tipo	Geometría	Velocidad de corte* (s^{-1})	Viscosidad (cP)
Brookfield	Rotatorio	Disco, cono y plato	0.001 a 70	$0.01 a 6 \times 10^5$

* Valores aproximados dependiendo de las geometrías específicas y el modelo del instrumento.

III Principios de la dispersión: aditivos para la dispersión

3.2 ADITIVOS PARA LA DISPERSIÓN (3, 8, 15, 20, 21)

3.2.1 INTRODUCCIÓN

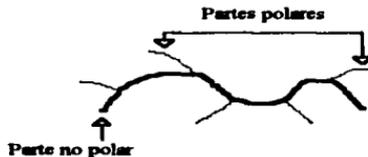
Cuando se tienen problemas al realizar la dispersión y el sistema comienza a flocular, el uso de aditivos para la dispersión se hace imprescindible. Los aditivos se usan para ayudar a realizar una dispersión en forma fácil y rápida, para la obtención de la suspensión de las partículas de pigmento en el vehículo, lo cual converge en un recubrimiento de tipo estable y con altos grados de finura de sus pigmentos. Su empleo se hace en forma estricta y en porcentajes pequeños y estudiados para cada formulación. Se agregan junto con el pigmento y las otras materias primas en el recipiente de premezclado obteniéndose la base de molienda que posteriormente es trasladada a los equipos de molienda.

Se usan aditivos de tipo dispersante para mejorar la humectación de la partícula pigmentaria por el vehículo y así conseguir una buena dispersabilidad. Mientras que los aditivos del tipo estabilizador mantienen en suspensión al pigmento dentro del sistema ya disperso, durante su transportación, almacenamiento y hasta la aplicación del mismo, sin que se presente el fenómeno de floculación, que origina su desestabilización. Su característica radica en que son compuestos químicos de actividad superficial, los cuales se acumulan en la interfase pigmento-vehículo cambiando sus propiedades.

3.2.1.1 ESTRUCTURA MOLECULAR ESPECÍFICA

Los aditivos para la dispersión tienen una estructura molecular específica formados por una parte no polar (lipofílica) formada por una cadena hidrocarbonada en la cual se encuentran distribuidos grupos altamente polares que son los que se orienten hacia la superficie del pigmento, mientras la parte no polar queda en el vehículo donde se encuentra en forma soluble (fig. 3.2.1), advirtiéndose una buena solubilidad en el vehículo cuando el tamaño de la parte no polar (hidrofóbica) es una cadena hidrocarbonada grande. Si la cadena hidrocarbonada es pequeña el aditivo disminuye su actividad superficial.

III Principios de la dispersión: aditivos para la dispersión



FUGURA 3.2.1. Estructura molecular.

3.2.1.2 MECANISMO DE ADSORCIÓN

Es el mecanismo mediante el cual los aditivos funcionan, consiste en la orientación molecular de éstos en las interfases del pigmento y el vehículo. Éstos manifiestan una doble actividad, ya que en la misma molécula se presenta una doble afinidad por sustancias de naturaleza completamente diferente. La tendencia de éstos es la de dirigirse a la interfase vehículo-pigmento, en donde hay una orientación de las moléculas de acuerdo a la naturaleza que forma la interfase, observándose cómo los grupos polares se posan sobre la superficie del pigmento mientras la parte hidrocarbonada lipofílica se orienta hacia el vehículo (fig. 3.2.2).

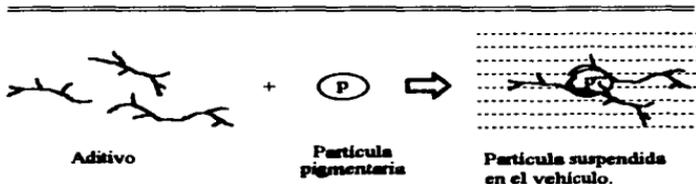


FIGURA 3.2.2. Mecanismo de adsorción de un aditivo en la superficie del pigmento.

III Principios de la dispersión: aditivos para la dispersión

3.2.1.3 TIPOS DE ADITIVOS

En los aditivos las partes hidrofílicas son llamados grupos de cabeza y son altamente polares o tienen carga, donde la carga del grupo es aniónica, el contrario es un catión y donde es catiónica el contrario es un anión. En base a esto se clasifican como:

a) Aniónicos.- La carga negativa se encuentra en el grupo de cabeza; v.g. $R-CO_2^- Na^+$ [jabón metálico].

b) Cationicos.- La carga positiva se encuentra en el grupo de cabeza; v.g. $R-NH_3^+ Cl^-$ [sal de una amina de cadena larga].

c) Anfotéricos.- Ambas cargas, negativa y positiva, se encuentran presentes en grupos de cabeza; v.g. $R-NH_2^+ - CH_2 - COO^- Na^+$ [cadena larga de un aminoácido].

d) No iónicos.- En la cabeza del grupo no hay carga aparente; v.g. [monoglicérido de cadena larga de un ácido graso].

Por ejemplo, los aditivos de tipo catiónico se emplean mucho para la realización de «dispersiones de pigmentos» para hacer un pigmento con características hidrofílicas a lipofílicas. Lo anterior debido a que el grupo de cabeza del aditivo con carga (+) se adsorbe fuertemente en la superficie cargada (-) del pigmento, mientras que la cadena hidrocarbonada se orienta lejos de la zona, dando origen a una superficie repelente a la humedad.

3.2.2 ADITIVOS HUMECTANTES O DISPERSANTES

Este tipo de aditivos se emplean cuando el vehículo tienen una tensión superficial elevada, haciéndolo un mal humectador o cuando el pigmento posee características hidrofílicas.

1) Vehículos mal humectadores.- Se considera que un vehículo es un buen humectador cuando a lo largo de las unidades poliméricas de las resinas encontramos grupos polares que son los responsables de atraer a los pigmentos. Colocándose las partes polares de las mismas sobre la superficie sólida del pigmento y cubriéndolo por completo con una capa muy fina, dando origen a una dispersión estable.

III Principios de la dispersión: aditivos para la dispersión

Si la cantidad de grupos polares es baja y además la tensión superficial es alta, se dice que el vehículo es un mal humectador. A la facilidad con que se impregna la superficie del pigmento por el vehículo se le da el nombre de *humectabilidad*. A la fuerza que retarda la humectabilidad de un pigmento por medio de un vehículo líquido se le llama *tensión superficial*, por lo tanto, los vehículos deben de poseer una tensión superficial baja, pues una tensión superficial alta provoca que el vehículo no moje al pigmento, como consecuencia de una fuerza mayor de atracción por moléculas de líquido que por las moléculas del sólido. La función del aditivo dispersante es disminuir la tensión superficial del vehículo para conseguir que humecte adecuadamente la superficie del pigmento. (fig. 3.2.3).



FIGURA 3.2.3. Partícula pigmentaria humectada y dispersada.

Los vehículos con viscosidades elevadas tienden a ser pobres humectantes pues, como ya se mencionó, las macromoléculas de la resina no se encuentran completamente extendidas o se encuentran enredadas en sí mismas provocando que, los grupos polares no se puedan localizar sobre la superficie de la partícula de pigmento.

2) *Pigmentos Hidrofílicos*.- Los pigmentos con características hidrofílicas (atraído por el agua), tienen adsorbida en su superficie humedad del medio ambiente, originando que las partículas de pigmento permanezcan fuertemente unidas por fuerzas de adhesión que los mantienen casi cementados y formando agregados difícilmente dispersables.

III Principios de la dispersión: aditivos para la dispersión

La función del aditivo dispersante consiste en desplazar el agua adsorbida de la superficie de la partícula de pigmento para dar origen a la interfase pigmento-aditivo-vehículo. De modo que si la humedad no es desplazada de la superficie del pigmento, en el momento en que se produzcan contactos casuales entre las partículas mal humedecidas éstas se adhieren entre sí, originando la desestabilización del sistema.

3.2.3 ADITIVOS ESTABILIZADORES

Se emplean para dar estabilidad a los recubrimientos y conseguir que ésta permanezca después de haberse realizado el proceso de dispersión, evitando así la reaglomeración o floculación del pigmento.

1) **Reaglomeración.**- Es la reunión de las partículas de pigmento mal humedecidas, debido a la presencia localizada de humedad y/o aire que tiende a localizarse en diferentes puntos de la superficie del pigmento, evitando que en estas áreas el vehículo moje la superficie, debido a que la tendencia altamente polar del agua hacia la partícula de pigmento es más fuerte que el vehículo en cuestión, originándose que en estos puntos la atracción con otras partículas de pigmento se de, originando la reaglomeración de los mismos en el sistema (fig 3.2.4).

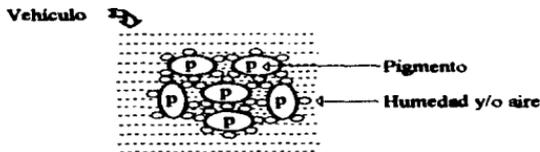


FIGURA 3.2.4. Estructura de la reaglomeración de pigmentos.

III Principios de la dispersión: aditivos para la dispersión

2) **Floculación.**- Es la formación de aglomerados en forma de flóculos, que se presenta cuando el pigmento se encuentra totalmente humectado por el vehículo, esto debido a que al originarse contactos casuales, entre ellas las partículas con cargas de diferentes signos se atraen asociándose en grupos con enlaces flojos dejando espacios dentro de ellos ocupados por el vehículo; estas asociaciones son fácilmente redispersables mediante la aplicación de bajos esfuerzos de cortes como una agitación. Por lo tanto, la función del agente estabilizador es la de proporcionar una barrera alrededor de la partícula de pigmento (fig 3.2.5), que evite la adhesión de partículas de pigmento bien humectadas durante contactos casuales entre éstas y así, la formación de flóculos que son sinónimo de sistemas desestabilizados.

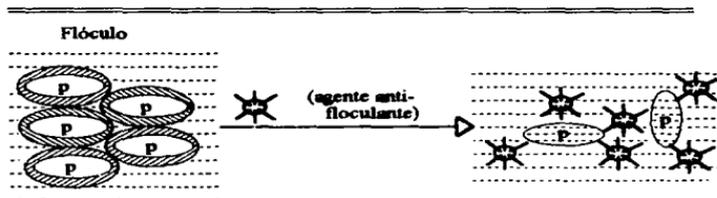


FIGURA 3.2.5. Obtención de una estructura de partículas pigmentarias estabilizadas, empleando agentes antifloculantes.

3) **Sedimentación.**- Cuando existe un exceso de flóculos en el sistema, ocurre la sedimentación de los mismos, los cuales se depositan a través del sistema bajo la influencia de la fuerza de gravedad, formando una cama en el fondo del contenedor. La velocidad con que lo hacen, depende del tamaño del flóculo. Ésta se origina cuando la relación pigmento-vehículo no es la adecuada, si el vehículo carece de las características para mantener en suspensión el pigmento, como una consecuencia de que éste tenga muy poca cantidad de vehículo adsorbido, el cual se encuentra sin humectar.

III Principios de la dispersión: premezcla

3.3 PREMEZCLA (p. 13, 23, 34)

3.3.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

La premezcla es una operación unitaria preliminar de la molienda. Su importancia radica en obtener una base de molienda homogénea o próxima a ella. Como ya vimos, los pigmentos se proporcionan en polvos, los cuales se encuentran formando aglomerados en forma de agregados caracterizados por estar agrupados y unidos mediante fuerzas interpartículas, que aumentan al disminuir el tamaño de la partícula de pigmento. Si éstas no fuesen tan fuertes, se romperían con una simple agitación en un mezclador, lográndose la dispersabilidad del pigmento. Pero esto no es así, y es aquí donde surge el interés del proceso de la «dispersión de pigmentos», ya que se necesita disgregarlos por medio de la generación de una acción dispersante durante la etapa de molienda. De lo anterior, vemos que durante la premezcla sólo obtendremos una base de molienda homogénea, mas no una desagregación de los aglomerados de pigmento, ya que se encuentran sin destruir y solamente humectados exteriormente en grupo y completamente secos en el interior.

La premezcla consiste entonces en la integración de las materias primas, donde la fase sólida, formada por los pigmentos, y la fase líquida, formada por resinas, disolventes y aditivos, son obligadas a entremezclarse en todas las direcciones posibles, originando una distribución uniforme de la fase sólida en todo el sistema, de apariencia lisa y sin grumos. La humectación en forma individual y real de las partículas de pigmento, es realizada en la siguiente operación unitaria «la molienda». De aquí que la premezcla sea la antecámara de la «dispersión de pigmentos».

III Principios de la dispersión: premezcla

3.3.1.1 CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO ⁶⁹

Son equipos mecánicos formados por un recipiente o tanque de forma cilíndrica y en posición vertical, el cual es móvil o fijo y con o sin agua de enfriamiento. El mezclado se da como una consecuencia del movimiento de las materias primas. Esto se logra mediante el uso de agitadores, los cuales se colocan en la posición que se desee a partir del centro del mismo y a diferentes alturas dentro de éste (fig. 3.3.1). Éstos al girar generan esfuerzos de corte en el sistema, provocando que comience a moverse el mismo, produciendo corrientes de flujo, favoreciendo que la gran parte de aglomerados, en forma de agregados de pigmento, se distribuyan en forma uniforme en todo el sistema.

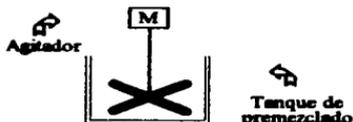


FIGURA 3.3.1. Tanque de premezclado con agitador.

El agitador se encuentra ensamblado en un eje el cual es movido por un motor. Cuando las viscosidades de las bases de molienda trabajadas son de bajas a medianas, se utilizan agitadores con un impulsor de tipo turbina de 45°. Constan de 4 álabes inclinados a 45° y planos (fig. 3.3.2).

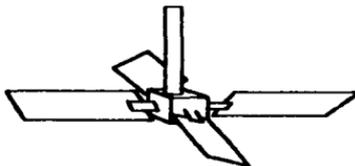


FIGURA 3.3.2. Agitador de turbina con álabes inclinados 45°.

III Principios de la dispersión: premezcla

Al girar el agitador, la corriente producida sale de los filos de las aspas dirigiéndose a las paredes verticales del recipiente donde choca dividiéndose, en una corriente ascendente y una descendente las cuales se conducen al eje del impulsor, originando un activo movimiento del sistema entre el fondo y la parte superior del mismo, es decir, un movimiento de ascenso y descenso [fig.3.3.3 (a) y (b)]; a este tipo de corriente inducida se le conoce como radial.

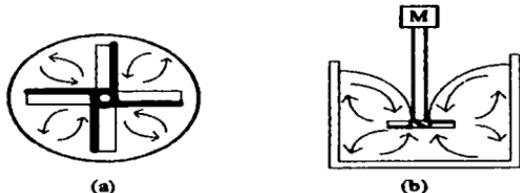


FIGURA 3.3.3. Vista aérea (a) y lateral (b) de la corriente inducida tipo radial.

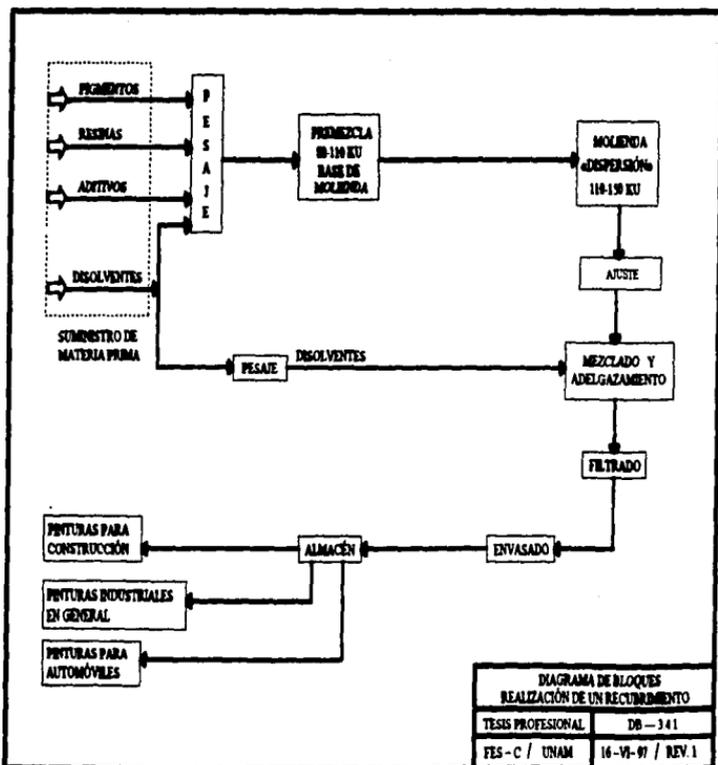
III Principios de la dispersión: «dispersión»

3.4 DISPERSIÓN

3.4.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES (1, 2, 3, 16, 22)

En el proceso de la dispersión se aplican fuerzas mecánicas que deben reducir el tamaño de los agregados de pigmentos y exponer las superficies de las partículas de pigmento primarias al medio circundante [vehículo]. Una dispersión es excelente si se encuentra constituida principalmente de partículas de pigmento primarias bien dispersadas y un mínimo de agregados de pigmentos sin reducir. En la etapa de la «dispersión de pigmentos» se utiliza la base de molienda con una distribución homogénea de las materias primas, obtenida en la etapa de la premezcla. La base de molienda tiene la consistencia necesaria para lograr que el proceso de dispersión se lleve en forma fácil y rápida, hasta obtener el «grado de finura» del pigmento deseado, sin que este sistema presente problemas de desestabilización después de concluida la etapa.

El objetivo del proceso de dispersión, es la obtención de un recubrimiento que posea estabilidad y uniformidad de partículas de pigmento finas diseminadas en un vehículo. La «dispersión de pigmentos» es la etapa más importante en la realización de un recubrimiento. El diagrama de bloques DB—3.4.1, visualiza las operaciones unitarias en la realización de un recubrimiento, las cuales son físicas en su totalidad; las conversiones químicas se dan durante el endurecimiento de la película. En la 1ª etapa se realiza el pesaje de las materias primas en un tanque limpio y seco. La adición de cada una de ellas es realizada en el orden indicado por el formulador. En la 2ª etapa se realiza la premezcla con un agitador tipo Cowles, hasta completa homogeneización y sin presencia de grumos. En la 3ª etapa se traslada la base de molienda a los molinos de dispersión, hasta obtener un «grado de finura» de 7.5 Hegman, utilizando la Placa Hegman para la medición de éste. La 4ª etapa es en la cual es bajada del molino con una mezcla adicional que completa la formulación con los compuestos restantes. La 5ª etapa consiste en adelgazar el recubrimiento en tanques de agitación. En la 6ª etapa se filtra mediante el uso de filtros a presión, centrífugas o mallas, con el objeto de eliminar agregados de pigmentos que no hayan sido dispersados. En la 7ª etapa se envasa en contenedores de forma cilíndrica y diversas capacidades, se etiqueta y se almacena. En la 8ª etapa se distribuye el producto a sus consumidores.



III Principios de la dispersión: «dispersión»

3.4.2 PASOS DEL PROCESO DE LA DISPERSIÓN

[3, 6, 15, 16, 22, 26, 27, 28]

En la dispersión se reduce el grosor de los agregados de pigmentos, hasta la obtención de tamaños de partícula primarios originándose que el vehículo los humecte en su totalidad y con una distribución apropiada del pigmento, dando origen a un sistema estable y con la consistencia deseada. En base a esto, podemos dividir en tres pasos, casi simultáneos, a la dispersión del pigmento (diagrama de bloques DB—3.4.2).

- a) Paso I «Reducción del tamaño de los agregados»
- b) Paso II «Humectación»
- c) Paso III «Estabilización»

3.4.2.1 PASO I «REDUCCIÓN DEL TAMAÑO DE LOS AGREGADOS Y SEPARACIÓN»

La importancia de querer conseguir un alto «grado de finura», es decir, llegar a la obtención de partículas pigmentarias primarias en el sistema, es la de obtener un recubrimiento con propiedades visuales, de aplicación y duración adecuadas. Al tamaño de partícula primaria a la cual se disgregan los aglomerados, se conoce como *partícula de pigmento óptima* que se refiere a las partículas de pigmentos en forma individual. Por ello, el objetivo de la reducción es romper y separar los agregados de pigmentos, hasta llegar al tamaño de partícula de pigmento óptima, mediante el empleo de equipos de molienda que generan fuerzas de magnitud suficiente para romperlos, de tal forma que al quedar éstos en forma individual su superficie entera sea expuesta al vehículo.

PASO I

LOS AGREGADOS DE PIGMENTOS SON REDUCIDOS Y SEPARADOS A TRAVÉS DE FUERZAS MECÁNICAS.

PASO II

LA SUPERFICIE DE LAS PARTÍCULAS DE PIGMENTO ÓPTIMAS, ES HUMECTADA POR EL VEHÍCULO.

P
A
S
O
III

LAS PARTÍCULAS DE PIGMENTO HUMECTADAS SE DISTRIBUYEN POR TODAS PARTES EN EL SISTEMA, ESTABILIZÁNDOLO E IMPIDIENDO QUE OCURRA LA FLOCULACIÓN DEL PIGMENTO.

DIAGRAMA DE BLOQUES
PASOS DEL PROCESO DE DISPERSIÓN

TESIS PROFESIONAL

DB-3.4.2

FES-C / UNAM

16-VI-97 / REV.1

III Principios de la dispersión: «dispersión»

A) FUERZAS DE ATRACCIÓN

Las fuerzas de atracción entre las partículas de pigmento que hay que vencer y que los mantienen unidos son las fuerzas interpartícula. Las más representativas son las de van der Waals y las debidas a la humedad, las cuales aumentan al disminuir el tamaño de partícula de pigmento, debido al aumento de el área superficial de las mismas.

1) **Fuerzas de van der Waals.**- Son fuerzas interpartículas que cuando se presentan en los polvos muy finos, consisten en atracciones que sufren las partículas de pigmento debido a cargas superficiales que existen en éstas, las cuales los mantienen unidos en aglomerados en forma de agregados (fig. 3.4.1). Este tipo de uniones se rompen fácilmente con la aplicación de una fuerza mecánica y un medio circundante.

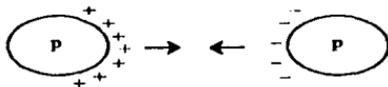


FIGURA 3.4.1. Fuerzas interpartículas de van der Waals.

2) **Fuerzas debido a la humedad.**- Son las atracciones que experimentan las partículas de pigmento por las moléculas de agua (humedad del medio ambiente), debido a que el agua es altamente polar y tiene una gran afinidad por la superficie de los mismos, originando que los agregados (fig. 3.4.2) permanezcan aun más fuertemente unidos que con las fuerzas de van der Waals.

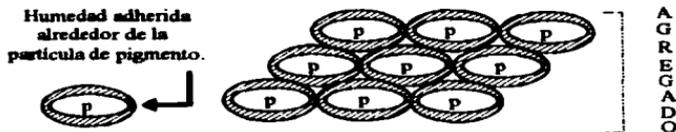


FIGURA 3.4.2. Fuerzas interpartículas debidas a la humedad.

III Principios de la dispersión: «dispersión»

B) FUERZAS DE DISGREGACIÓN (2a)

En la disgregación de aglomerados de pigmento se fracturan las fuerzas de atracción que los mantienen unidos, por medio de el empleo de los equipos de molienda que generan esfuerzos capaces de lograrlo. Los esfuerzos que se aplican son de contacto que, al ser lo suficientemente elevados, fracturan al agregado. A continuación se muestra los que generan los equipos de molienda:

1) Por fricción.- Ésta reducción de agregados es efectuada por la fricción generada entre éstos, el medio circundante y un medio de molienda. Si la fricción producida excede las fuerzas internas de atracción que mantienen unidos los agregados, la estructura de éstos se reorganiza rompiéndose. Este tipo de esfuerzo se utiliza en combinación con otro, de modo que la reducción de agregados es pequeña si sólo se emplea éste (fig. 3.4.3).

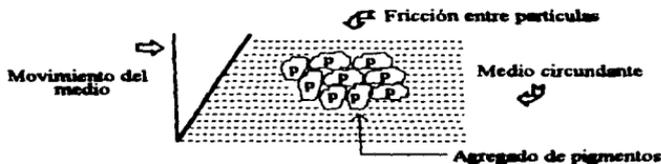


FIGURA 3.4.3. Disgregación debido a esfuerzos de fricción.

2) Por golpe.- Consiste en impartir energía cinética al sistema y desaglomerar a los agregados, por impactos de choque con proyectiles sobre una superficie sólida. La dirección del movimiento de los proyectiles de impacto es perpendicular a los agregados de la base de molienda (fig. 3.4.4). La viscosidad de la base de molienda debe ser pequeña y la velocidad del proyectil máxima al instante de incidir en el material.

III Principios de la dispersión: «dispersión»

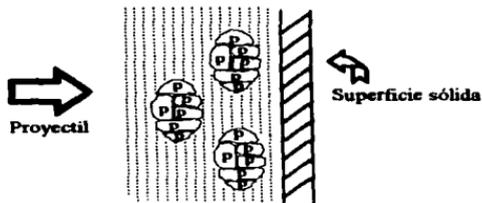


FIGURA 3.4.4. Disgregación empleando proyectiles.

3.4.2.2 PASO II «HUMECTACIÓN»

La humectación es el desplazamiento de los contaminantes que se encuentran adheridos a la superficie de las partículas de pigmento por el vehículo, es decir, que la interfase pigmento-aire cambie a la interfase pigmento-vehículo. Cada partícula de pigmento debe ser humectada por el vehículo, para que sean diseminadas en todo el sistema. Cuando la humectación no es espontánea los aditivos humectantes son agregados para bajar la tensión superficial del vehículo y mediante el mecanismo de adsorción bajo el cual funcionan, migran a la interfase pigmento-vehículo, donde las partes hidrofílicas se orientan posándose sobre la superficie del pigmento, mientras la parte lipofílica del aditivo queda orientada y soluble en el vehículo originándose el enlace partícula-aditivo-resina.

3.4.2.3 PASO III «ESTABILIZACIÓN»

La estabilización del sistema consiste en mantener a las partículas de pigmento dispersadas, separadas unas de otras y suspendidas en forma permanente, evitando y preveniendo que éstas se junten de nuevo. Si queremos tener un control del sistema para evitar su desestabilización, debemos saber que existen fuerzas actuando entre las partículas de pigmentos en el vehículo. Las fuerzas que dan origen a la floculación son de atracción y las de repulsión son de estabilización. Las fuerzas de repulsión que estabilizan el sistema son debidas a interacciones electrostáticas o de repulsión estérica.

III Principios de la dispersión: «dispersión»

1) **Repulsión estérica.**- La estabilidad del sistema es realizada por el empleo de aditivos estabilizadores los cuales evitan que se junten las partículas en el instante en que exista una aproximación de las mismas, mediante la repulsión estérica. Debido a que la estructura del aditivo adsorbido en el pigmento es muy cerrada y en el momento de existir una aproximación de dos partículas de pigmento, los grupos de cada capa son incapaces de penetrar como resultado de una simple barrera física (fig. 3.4.5). En este caso en sistemas orgánicos el efecto estérico es originado por los aditivos y las resinas que se enlazan a la superficie del pigmento por una fuerte adsorción vía grupo polar y la larga cadena hidrocarbonada es capaz de producir suficiente estabilización estérica a los pigmentos.

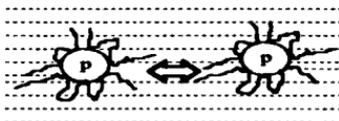


FIGURA 3.4.5. Repulsión debida a una barrera física.

2) **Interacciones electrostáticas.**- La adsorción de aditivos con cargas en sus grupos de cabeza, origina que las partículas de pigmento diseminadas en el medio esculpan una carga eléctrica de signo similar, resultando en su mutua repulsión y dispersión en el sistema.

4

Equipos de Dispersión

IV EQUIPOS DE DISPERSIÓN [3, 15, 22, 29, 30, 31]

4.0 INTRODUCCIÓN

La incorporación de los pigmentos en los vehículos para la formación del recubrimiento requiere de equipo de dispersión moderno y costoso. Cada base de molienda representa un problema para descubrir el equipo de molienda más adecuado para realizar la dispersión. En el proceso de «dispersión de pigmentos» el equipo trabaja en armonía con la base de molienda y la acción dispersante. Recordaremos que para conseguir una buena «dispersión de pigmentos» el vehículo debe ser un buen humectador de éstos.

4.1 CLASIFICACIÓN

La clasificación de los equipos de molienda que utilizaremos, es en base al tipo de acción dispersante que generan, ya que cuando ésta es debida a impactos de choque, se le denomina por golpe; mientras a la acción cortante, se le intitula por fricción (sección 3.4.3.1), consecuentemente, en base a lo anterior los equipos de molienda se clasifican como se muestra en la tabla 4.1.1.

Tabla 4.1.1. Clasificación de los equipos de molienda.

Equipo	Tipo de Operación	Acción dispersante	Medio de molienda	Viscosidad (base de molienda)
Molinos de bolas	Batch	Híbrido	Si	Baja
Molinos de rodillos	Continuos	Fricción	No	Alta
Molinos de arena o cuentas	Continuos o batch	Híbrido	Si	Baja
Dispersores de discos de altas velocidades	Batch	Híbrido	No	Moderada
Molinos de impacto de altas velocidades	Batch o continuos	Golpe	No	Muy baja

IV Equipos de dispersión: molinos de bolas

4.2 MOLINOS DE BOLAS

4.2.1 GENERALIDADES

Un molino de bolas es un equipo de dispersión en el cual un *medio de molienda* es empleado. Los materiales bajo los cuales se fabrican estos equipos son de acero en los cuales el medio de molienda es metálico y, si son de otro material como la porcelana, el medio de molienda es no metálico. Son equipos de forma cilíndrica que se encuentran ensamblados en posición horizontal (fig. 4.2.1), parcialmente llenos con el medio de molienda [este medio de molienda se refiere a bolas de diversos materiales, como ya se mencionó, y de diferentes tamaños]. El molino se carga con la base de molienda el cual al girar origina que el medio y la base de molienda giren alrededor del eje causando que el medio y la base de molienda suban a lo alto del cilindro y caigan debido a la fuerza de gravedad dando origen al «efecto cascada». El «efecto cascada» origina que los agregados pigmentarios sean atrapados entre las caídas de las bolas, sometándose a fuerzas por fricción y por golpe, las primeras tienen lugar en los intersticios del medio de molienda que se forman entre las bolas al hacer contacto unas y otras, mientras que los de golpe se dan en la superficie de contacto al chocar las bolas entre sí.



FIGURA 4.2.1. Molino de bolas.

IV Equipos de dispersión: molinos de bolas

4.2.2 MEDIO DE MOLIENDA

4.2.2.1 TIPOS DE MEDIO DE MOLIENDA

Existen dos clases generales de medios de molienda: *bolas de metal* y *bolas de porcelana*.

a) **Bolas de metal.**- Debido a la alta densidad de un medio metálico [$8 \sim 7.0$ a 7.8 g/cm^3]; dan origen a que las bolas metálicas de diámetro pequeños realicen el proceso de dispersión más rápido que las bolas de porcelana. Las más usadas son las bolas de acero con alto contenido de carbón y manganeso, las dispersiones son mejores y realizadas en tiempos rápidos.

b) **Bolas de porcelana.**- Son sintéticas, de color blanco, altamente vitrificadas, esféricas y resisten fuertemente al continuo choque entre ellas y el recipiente, durante la operación del equipo. Entre más alta es su densidad más adecuadas se vuelven para ser empleadas [$5 \sim 2.3$ a 3.5 g/cm^3].

4.2.2.2 FORMA DEL MEDIO DE MOLIENDA

a) **Esferas.**- Es el medio más usado debido a que facilita el «efecto cascada» dentro de cualquier circunferencia, además de que los intersticios pequeños y uniformes que se forman entre esfera y esfera hacen que el proceso de dispersión se realice adecuadamente (fig.4.2.2).



FIGURA 4.2.2. Esferas.

IV Equipos de dispersión: molinos de bolas

b) **Irregulares.**- Es el medio más barato. Los intersticios que se forman entre ellos al hacer contacto son evidentemente irregulares y no son tan buenos como los esféricos (fig. 4.2.3).



FIGURA 4.2.3. Irregulares.

c) **Cilindros.**- Los intersticios que se forman son totalmente irregulares debido a que al hacer contacto las posiciones son completamente casuales (fig. 4.2.4). Son los menos usados si se requieren altos grados de dispersión.



FIGURA 4.2.4. Cilindros

4.2.2.3 TAMAÑO DE LAS BOLAS

Entre más pequeñas son las bolas usadas como medio de molienda, más efectivo resulta el proceso de dispersión, es decir, que pequeños tamaños de bolas originan un «efecto cascada» apropiado y un conveniente drenaje de la base de molienda dispersada.

IV Equipos de dispersión: molinos de bolas

Bolas con diámetros pequeños dan un número máximo de contactos con fuerzas de fricción y golpe, ya que para un espacio dado de volumen se da un área máxima para la acción dispersante. Las bolas de porcelana son suministradas en un rango de tamaño de ¼ a 3 ¼ pulgadas de diámetro mientras que las de acero de 1/16 hasta 1 ¼ pulgadas de diámetro.

4.2.2.4 TAMAÑO DE LA CARGA

Para tener una adecuada operación del equipo este debe de ser cargado con un cierto volumen de medio de molienda. Los medios de molienda no metálicos formados por bolas y ovoides se cargan a la mitad del equipo. Los medios de molienda metálicos debido a las altas densidades de los materiales empleados son cargados con un 33% del volumen total del equipo.

4.2.3 BASE DE MOLIENDA

La acción dispersante se da cuando las bolas al chocar entre sí, lo hacen en un punto de contacto de la base de las mismas, desarrollándose un choque o una colisión. El de fricción se da por la agitación producida por el giro del molino y las bolas de acero. Para generar altos esfuerzos de golpe y fricción, la viscosidad de la base de molienda debe ser baja y las bolas del medio de molienda deben ser de una alta densidad y un diámetro adecuado. Las proporciones de pigmento-resina-disolvente son formuladas mediante experimentación de tal forma que la viscosidad obtenida permita el movimiento de las bolas a través de la base de molienda con ligereza.

4.2.3.1 VOLUMEN DE LA BASE DE MOLIENDA

Existe un volumen ocupado por las bolas de molienda dentro del equipo, pero en los espacios que se forman entre éstas, llamémosles «espacios intersticiales», existe también un volumen pero ocupado por aire. Al adicionar la base de molienda en el molino conteniendo la carga de bolas, la base de molienda comienza a ocupar los espacios intersticiales; si la cantidad de base de molienda es menos que la requerida para llenar los espacios intersticiales, el resultado es un contacto no amortiguado entre las bolas, disminuyéndose la acción dispersante volviéndose improductiva.

IV Equipos de dispersión: molinos de bolas

Si por el contrario, hay un exceso, es decir, la base de molienda sobrepasa el medio de molienda, ese exceso permanece sin dispersar hasta pasado un tiempo en el que se presente la oportunidad de trasladarse a la región activa del medio de molienda. Finalmente, un recubrimiento con un alto grado de dispersión es obtenido pero con una lentitud exagerada. Por lo tanto, para conseguir dispersiones adecuadas en tiempos normales el espacio del cilindro debe ser ocupado por un 30% del volumen por el medio de molienda, un 20% del volumen por la base de molienda y el 50% del volumen restante por aire (fig 4.2.5).

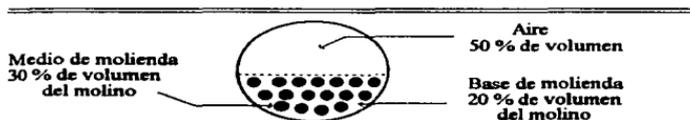


Figura 4.2.5. Volumen adecuado ocupado por el medio y la base de molienda dentro del equipo.

4.2.4 CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO

4.2.4.1 VELOCIDAD DE ROTACIÓN

La velocidad a la cual rota el molino debe asegurar el «efecto cascada» del medio de molienda, que es la posición conocida como ángulo de dispersión. Dependiendo de la velocidad de rotación del equipo, se generan tres diferentes tipos de movimiento del medio y la base de molienda dentro del cilindro: *el centrifugo*, *el de catarata* y *el de cascada*. Los dos primeros no se desean, pero el tercero es el que involucra el deseado «efecto cascada». Una dispersión rápida es alcanzada a través del uso de molinos de bolas largos, debido a que la acción dispersante dentro del molino está relacionada con el radio del mismo, es decir, que la velocidad a la cual se produce el «efecto cascada» disminuye en un molino al aumentar el diámetro de este.

IV Equipos de dispersión: molinos de bolas

1) **Cascada.**- La trayectoria de las bolas es considerada como típica para un medio y la base de molienda ocupando la mitad del cilindro. Para producir el «efecto cascada» se considera una velocidad de rotación baja, donde las bolas del medio de molienda paulatinamente comienzan a elevarse en un lado del cilindro, hasta un punto tal que éstas ya no tienen un apoyo abajo juntándose con sus vecinas originando una cascada de bolas cayendo hacia abajo siguiendo una pendiente del lado bajo del molino repitiéndose una y otra vez el movimiento (fig. 4.2.6).

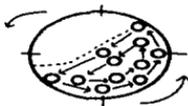


FIGURA 4.2.6. Movimiento cascada del medio y la base de molienda dentro del equipo.

2) **Catarata.**- Si se incrementa la velocidad de rotación del molino, se alcanza un punto donde las bolas tienden a ser lanzadas al espacio ocupado por aire, quedando fuera del medio amortiguado (fig. 4.2.7). Este comportamiento es evitado ya que hay un excesivo uso del medio de molienda y del molino originando condiciones de dispersión deficientes.

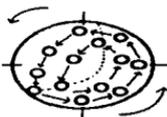


FIGURA 4.2.7. Movimiento catarata del medio y base de molienda dentro del equipo.

IV Equipos de dispersión: molinos de rodillos

3) **Centrífugo.**- Un incremento adicional en la velocidad de rotación y, la fuerza centrífuga actúa apretando y reteniendo el medio y la base de molienda firmemente contra la superficie interior del molino (fig. 4.2.8). Este ejercicio debe ser evitado pues la acción dispersante no se realiza, debido a que el medio y la base de molienda como una unidad es totalmente inmovilizada.

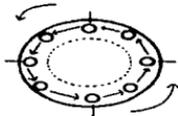


FIGURA 4.2.8. Movimiento centrífugo del medio y base de molienda dentro del equipo.

4.3 MOLINOS DE RODILLOS

4.3.1 GENERALIDADES

Son molinos que operan continuamente; es decir, que la carga y descarga del material no es motivo para suspender su funcionamiento. Este tipo de molino no es híbrido pues sólo necesita de la fricción que sucede en la zona activa entre dos pares de rodillos. Resultados satisfactorios en la obtención de un recubrimiento con altos grados de dispersión, dependen de la manera en que se ha preparado la premezcla. Consta de tres rodillos, *el primero* llamado de alimentación, *el segundo* designado central y *el tercero* denominado de descarga; la dirección en la cual rotan, se observa en la figura 4.3.1 y las velocidades a las que lo hacen son diferentes en cada rodillo [$V_1 : V_2 : V_3 = 1 : 3 : 9$]. Una premezcla con muy alta viscosidad combinada con las diferentes velocidades de los rodillos aseguran la acción dispersante en el sistema. La cercanía existente entre éstos determina la magnitud de la fricción sobre la delgada cinta de material pasando a través de los rodillos.

IV Equipos de dispersión: molinos de rodillos

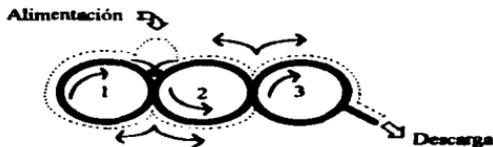


FIGURA 4.3.1. Molino de rodillos.

4.3.2 PRINCIPIOS DE OPERACIÓN

La dispersión en un molino de rodillos es iniciada al cargar la base de molienda entre el rodillo de alimentación [el primero] y el rodillo central [el segundo], los cuales rotan hacia el interior. La base de molienda es arrastrada al interior de la región de estrangulamiento, al comenzar a reducirse el espacio una porción del material alimentado es rechazado y forzado a retroceder al exterior, donde éste es forzado de nuevo a arrastrarse al interior de la región de estrangulamiento debido a la rotación de los rodillos (fig. 4.3.2).

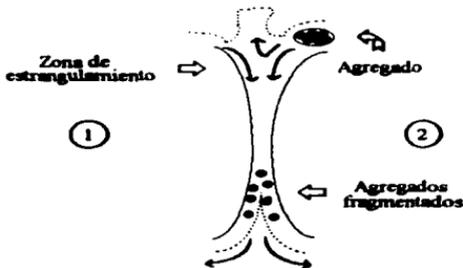


FIGURA 4.3.2. Zona donde se produce la disgregación debido a fuerzas de fricción.

IV Equipos de dispersión: molinos de rodillos

La acción decisiva de fricción tiene lugar en la zona de estrangulamiento, donde el material aceptado es continuamente forzado bajo alta fricción a través de los rodillos para continuar su camino del otro lado, parte se transfiere al rodillo central [2] y parte es retornado al depósito de alimentación. El material que se dirige al rodillo central [2] entra en el interior de la región de estrangulamiento entre el rodillo central [2] y el de descarga [3]. Aquí la base de molienda sufre una fricción más intensa que la ya experimentada entre los rodillos 1 y 2. Cuando sale de la región de estrangulamiento una parte se regresa al rodillo central [2], mientras que la otra parte se traspasa al rodillo de descarga [3], del cual es despegada por medio de una doladera que lo desprende.

La operación convencional de un molino de rodillos es aquella donde el rodillo central [2] se mantiene fijo y los dos de los extremos son ajustables (fig. 4.3.3).

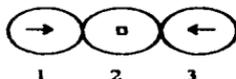


FIGURA 4.3.3. Rodillos externos ajustables y el central fijo.

En el primer período de operación se establecen ajustes hasta obtener una base de molienda que fluya a través de los rodillos como una capa delgada y continua. El incremento de la temperatura afecta la viscosidad de la base de molienda y el diámetro del rodillo, por lo tanto, un molino de rodillos con agua de enfriamiento es indispensable. Estos equipos tienen la propiedad de manejar sistemas altamente viscosos, y por ello, se usan para la problemática dispersión de pigmentos *difficilmente dispersables*.

4.3.2.1 RUPTURA DE LOS AGREGADOS

Si se observa la base de molienda en la zona de preestrangulamiento (fig. 4.3.2), vemos cómo parte de la dirección del flujo se invierte, lo cual es normal, ya que es aquí donde se realiza el efecto de la fricción. Si se tienen agregados de pigmentos fuertemente unidos y un vehículo mal humectador los agregados de pigmentos simplemente giran bajo las fuerzas de fricción sin romperse. Todo lo contrario ocurre si el vehículo es altamente pegajoso, es decir, es un buen humectador pues los agregados de pigmentos se fragmentan bajo el efecto de fricción y éstos ya fragmentados, se mueven en las direcciones en que se desplaza el flujo (fig. 4.3.4); por lo tanto un buen vehículo humectador con una alta viscosidad favorece la fricción.

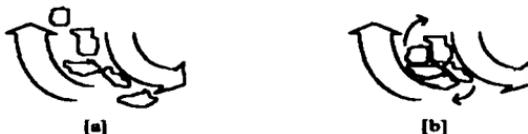


FIGURA 4.3.4. Disgregación bajo fuerzas de fricción [a] y agregados que sólo giran bajo éstas sin romperse [b].

4.3.3 BASE DE MOLIENDA

Este tipo de equipos es empleado para preparar recubrimientos con altos grados de dispersión en sistemas altamente viscosos, es decir, con un alto contenido de sólidos, ya que para generar las fuerzas de fricción que fragmentan los agregados de pigmentos, son necesarias bases de molienda con elevadas viscosidades. Los vehículos de las bases de molienda de estos equipos, usualmente tienen un contenido en disolventes de cero a un 40% como máximo. Ya que altos contenidos de disolventes en la base de molienda genera dispersiones malas y reduce la velocidad de producción, utilizándose entonces resinas cuyas viscosidades oscilan entre 20 P y 100 P.

IV Equipos de dispersión: molinos de arena o de cuentas

4.4 MOLINOS DE ARENA O CUENTAS

4.4.1 GENERALIDADES

Son molinos que operan en forma continua o batch y constan de un cilindro en posición vertical en el cual hay un medio de molienda [arena o cuentas]. La base de molienda es alimentada al equipo por la parte inferior de éste, por medio de una bomba. El material pasa a través del molino (fig. 4.4.1), en el cual se encuentra el medio de molienda, que es retenido mediante una mampara la cual permite la salida del material ya dispersado por la parte superior. La turbulencia es realizada por una intensa agitación dentro del equipo mediante un impulsor con una serie de discos planos distribuidos a lo largo de éste que rotan a elevadas velocidades.

Durante el movimiento ascendente de la base de molienda a través del medio agitado intensamente, ocurre que la primera es atrapada entre el segundo y una fuerte fricción es producida, mientras que los impactos de golpe se originan cuando el medio y la base de molienda cercanos a la superficies de los discos son lanzados contra las paredes del recipiente. En cuanto a la cantidad dentro del equipo del medio y de la base de molienda, sus volúmenes son iguales. La diferencia entre el molino de arena o de cuentas radica en las características del medio de molienda colocado dentro del equipo.

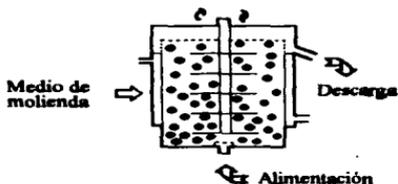


FIGURA 4.4.1. Molino de arena.

IV Equipos de dispersión: molinos de arena o de cuentas

4.4.2 MEDIO DE MOLIENDA

4.4.2.1 TIPOS

1) **Natural.**- Como su nombre lo indica es un medio de molienda de tipo natural [arena Ottawa], con un tamaño de partícula que oscila entre 0.8 mm \pm 0.2 mm (0.024 in \pm 0.008 in) con una densidad de 2.6 g/cm³, y con formas casi esféricas.

2) **Sintéticas.**- Se encuentran en forma de cuentas esféricas y en materiales como el vidrio, la cerámica con densidades que oscilan entre \sim 2.75 a \sim 2.85 g/cm³ y el acero con \sim 5.0 g/cm³. El tamaño de las cuentas oscila de entre 0.7 a 3.0 mm (\sim 1/32 a \sim 1/8 in). El tamaño pequeño de las cuentas tiene la ventaja de proporcionar más puntos de contacto durante la acción dispersante. En lo que respecta a la densidad si ésta es baja, el peso del conjunto de la base y el medio de molienda manejados se minimiza, induciendo a una disminución del deterioro del medio de molienda y del molino, ya que se reduce la tendencia de que el primero prefiera el fondo del equipo. Sin embargo, una acción dispersante energética adecuada es proporcionada por medios de molienda con cuentas de alta densidad, usándose en bases de molienda difícilmente dispersables y con agregados de pigmentos grandes. Empleándose este tipo de molienda en dispersiones de pigmentos en los cuales es engorroso obtener altos «grados de finura», es decir, en bases de molienda difícilmente dispersables.

4.4.3 BASE DE MOLIENDA

La acción dispersante se da como ya vimos por la fricción y golpeteo creados. Para que lo anterior sea posible, la consistencia de la mezcla, es decir, del medio y base de molienda, debe ser la adecuada para el buen funcionamiento del equipo, ya que si la viscosidad de la base de molienda es demasiado alta, el movimiento del medio de molienda se ve disminuido. Por el contrario, si la viscosidad de la base de molienda es demasiado baja, no se producen las fuerzas de fricción y golpe que valgan la pena, obteniéndose una actuación inadecuada del medio de molienda. Se dice entonces que, la viscosidad de la base de molienda debe ser la adecuada para ser movida junto con el medio de molienda y originar fuerzas de fricción y golpe que fragmenten los agregados de pigmentos.

IV Equipos de dispersión: dispersores de discos de altas velocidades

4.5 DISPERSORES DE DISCOS DE ALTAS VELOCIDADES

4.5.1 GENERALIDADES

Son equipos que operan de forma discontinua y la acción dispersante es híbrida realizada por la generación de fuerzas de fricción y golpe. La versatilidad de éstos radica en que se puede realizar la premezcla y la «dispersión de pigmentos» sin tener que cambiar de equipo. Constan de un tanque en posición vertical, en el cual se introduce un impulsor tipo disco que se encuentra acoplado a una flecha que rota a altas velocidades. El impulsor tipo disco es plano y con el borde con una serie de muescas, éstas varían en forma y ángulo (fig. 4.5.1).



FIGURA 4.5.1. Impulsor tipo disco plano con borde muescado.

Al hacerse girar el impulsor dentro del recipiente, la base de molienda sufre un tipo de corriente, la cual no genera salpicaduras y deja ver al impulsor tipo disco. La corriente sale de los filos del disco y se dirige a las paredes verticales del recipiente donde choca y se divide, dirigiéndose en forma ascendente y descendente hacia el eje del impulsor (fig. 4.5.2). Las velocidades alcanzadas por el impulsor son de = 4000 ft/min consiguiéndose altos grados de dispersión.



FIGURA 4.5.2. Movimiento de la corriente inducida.

4.5.2 BASE DE MOLIENTA

La acción dispersante se consigue por las altas velocidades alcanzadas por el impulsor tipo disco que genera fuerzas de fricción en el seno de la base de molienda con una viscosidad comparativamente baja, mientras que el golpeteo se da por los encuentros de los agregados de pigmentos a altas velocidades contra las paredes del recipiente. Se sabe que cuando las fuerzas de fricción predominan, la viscosidad de la base de molienda es moderada y el recubrimiento obtenido alcanza buenos grados de dispersión.

4.5.3 CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO

Para operar adecuadamente esta clase de equipos, debemos tener en cuenta que el proceso de la dispersión se vuelve ineficaz si hay un aumento en la temperatura de la base de molienda, pues la viscosidad se reduce disminuyendo las fuerzas de fricción y consiguientemente la ruptura de los agregados de pigmentos. La operación se hace a altas velocidades, de lo contrario al final del proceso tendremos agregados de pigmentos completamente secos en su interior y sin dispersar. *La premezcla se realiza de la siguiente forma:* se carga el vehículo en el tanque, se introduce el impulsor tipo disco y se hace funcionar, debido a la velocidades aplicadas se forma un vórtice en el eje del impulsor y es donde se agrega el pigmento. Durante esta etapa éste tiende a adherirse a las paredes del tanque y en la flecha, el cual es raspado e incorporado a la base de molienda, requiriéndose velocidades bajas para la premezcla, mientras que la etapa de la dispersión es realizada a velocidades elevadas.

IV Equipos de dispersión: equipos de impacto de altas velocidades

Cuando los bordes del disco comienzan a desgastarse por el uso, deben ser cambiados inmediatamente para evitar una operación deficiente del equipo. Este tipo de disco se encuentra disponible en el mercado en un amplio rango de tamaños que van desde las 4 in de diámetro para uso en equipos de laboratorio, hasta 36 in de diámetro para uso en la industria de los recubrimientos. Este tipo de equipos realiza dispersiones de forma simple, rápida y barata. Su desventaja radica en la incapacidad de ser usados para fracturar agregados de pigmentos fuertemente unidos; por lo tanto, los dispersores de disco de altas velocidades son excelentes mezclando, pero es un equipo que sólo realiza dispersiones de «pigmentos fácilmente dispersables».

4.6 EQUIPO DE IMPACTO DE ALTAS VELOCIDADES

4.6.1 GENERALIDADES

La «dispersión de pigmentos» en equipos de impacto de altas velocidades, es una operación de tipo continuo o batch, donde la etapa de la premezcla no es requerida. La acción dispersante para reducir agregados es por medio de fuerzas de golpe. Se incorporan las materias primas dentro del equipo, y la mezcla pigmento-vehículo es aspirada por la unidad de dispersión, la cual debe de ser completamente cubierta siempre para evitar la succión de aire. La mezcla aspirada pasa través de un disco ranurado giratorio [rotor], el cual rota a altas velocidades impartiendoles una elevada energía cinética a las bases de molienda, que al salir de éste chocan contra un disco ranurado inmóvil [estator] por donde sale el material ya dispersado, convirtiendo la energía cinética en trabajo que provoca la dispersión de los agregados de pigmentos (fig 4.6.1).

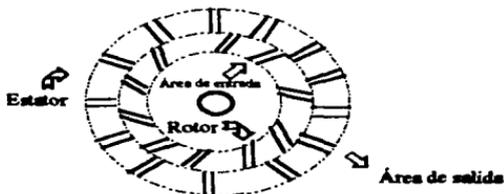


FIGURA 4.6.1. Vista aérea de la unidad de dispersión.

IV Equipos de dispersión: equipos de impacto de altas velocidades

4.6.2 BASE DE MOLIENDA

Este tipo de equipos operan con bases de molienda con viscosidades muy bajas, pues dependiendo de ésta es la facilidad con que la base de molienda pase a través de las ranuras del rotor y el estator. Las bases de molienda a usar en esta clase de equipos tienen cantidades de pigmento pequeñas. El orden en que se mezclan las materias primas es importante para el buen funcionamiento del equipo; primero, el vehículo se vierte en el tanque; acto seguido, se hace funcionar la unidad de dispersión, la cual siempre debe estar completamente cubierta por el vehículo, para evitar la penetración de aire. En el siguiente paso, se empieza a alimentar el pigmento en polvo. Se realiza la mezcla de las materias primas al mismo tiempo que se efectúa la dispersión de los pigmentos. Sin embargo, este tipo de equipo es limitado pues las fuerzas de golpe generadas son insuficientes para dispersar bases de molienda con elevadas viscosidades.

5

Estudios de «dispersión de pigmentos»

V ESTUDIOS DE «DISPERSIÓN DE PIGMENTOS»

5.0 INTRODUCCIÓN

La «dispersión de pigmentos» es la etapa más importante en la elaboración de un recubrimiento, ya que es en ésta donde mediante el empleo de equipo de molienda se consigue reducir el tamaño de los agregados de pigmentos, hasta alcanzar partículas de pigmento fundamentales humectadas por el vehículo. Así pues, el «grado de finura» alcanzado por el pigmento es una forma indicativa de la disgregación de los pigmentos lograda en todo el sistema y un parámetro a cumplir para la obtención de un recubrimiento con características especificadas por el cliente.

En la actualidad, antes de realizar la producción de un lote de cualquier tipo de recubrimiento, se elabora un estudio de «dispersión de pigmentos», para conocer si tratamos con pigmentos fácil o difícilmente dispersables. Por ello, el siguiente estudio es un seguimiento a nivel «Laboratorio de Desarrollo» de las etapas mediante las cuales se realiza un recubrimiento industrialmente.

5.1 OBJETIVOS

- Conocer cómo es la dispersabilidad de una serie de pigmentos de tipo orgánico e inorgánico en un vehículo poliéster / melamina—formaldehído.
- Medir el «grado de finura» de los recubrimientos en estudio usando el método más empleado.
- Conocer la relación que existe entre el «grado de finura» conforme el tiempo de la molienda transcurre.
- Conocer cómo cambia la viscosidad de la base de molienda a la entrada y salida del molino.

5.2 PROGRAMA

Se realizaron cinco partes de color con los siguientes pigmentos: Negro Monarch [1300 cabot], Óxido de Hierro Rojo [R03097], Verde de Ftalocianina [VFT-1080 de PYOSA], Dióxido de Titanio [R-902 de Dupont] y Magenta [monastral magenta RT-243-D]. La codificación empleada para el manejo de cada uno de ellos en este estudio es la que se muestra en la tabla 5.2.1.

TABLA 5.2.1. Clasificación de los pigmentos en sus muestras respectivas.

MUESTRA	PIGMENTO	
	Nombre	Clave
A0100 ↗	Negro Monarch	01
B0200 ↗	Óxido de Hierro Rojo	02
C0300 ↗	Dióxido de Titanio	03
D0400 ↗	Magenta Monastral	04
E0500 ↗	Verde de Ftalocianina	05

↗ Ver tabla 5.2.2 para las muestras A0100 y B0200, tabla 5.2.3 para la muestra C0300 y la tabla 5.2.4 para las muestras D0400 y E0500.

5.3 PLAN DE DESARROLLO [21,32]

En esta sección se describen las actividades realizadas para llevar a cabo el plan de desarrollo en su totalidad. El desarrollo experimental para las cinco muestras en estudio es el mismo, el cual se divide en dos secciones las cuales a su vez involucran sus respectivas etapas como se muestra en el diagrama de bloques DB—5.3.1.

V Estudios de «dispersión de pigmentos»: plan de desarrollo

La sección 001 consta de tres etapas:

- I) En un recipiente limpio y seco pesar las cantidades respectivas de las materias primas e ir agregando en el orden indicado en la formulación. En las tablas 5.2.2, 5.2.3 y 5.2.4, se muestran las formulaciones de cada muestra en estudio A0100, B0200, C0300, D0400 y E0500. (1)
- II) Mezclar en Cowles hasta completa homogeneización y hasta que no se observen grumos.
- III) Se mide la viscosidad de la premezcla con un viscosímetro tipo Brookfield antes de entrar al «Molino de Arena».

(1) Determinar a cada pigmento su absorción de aceite.

La sección 002 consta de seis etapas:

- IV) Se dispersa en «Molino de Arena» cerrado y, en intervalos determinados medir el «grado de finura» en la escala de la Placa Hegman a 7.5 Hegman [H], que es en este trabajo que consideraremos que un «grado de finura» óptimo ha sido obtenido.
- V) Cuando se consigue el «grado de finura» de 7.5 Hegman se dice que se ha obtenido el tamaño de partícula óptimo, y así pues una dispersión adecuada ha sido realizada. Si no ha sido alcanzada ésta mín. la molienda continúa hasta obtenerlo.
- VI) Una vez aprobada, se baja del molino con una premezcla completando la formulación de 1000 g.
- VII) Se incorpora en Cowles.
- VIII) Obtenido el recubrimiento se le mide su viscosidad.
- IX) Es guardado en un envase de 1 l. de capacidad.

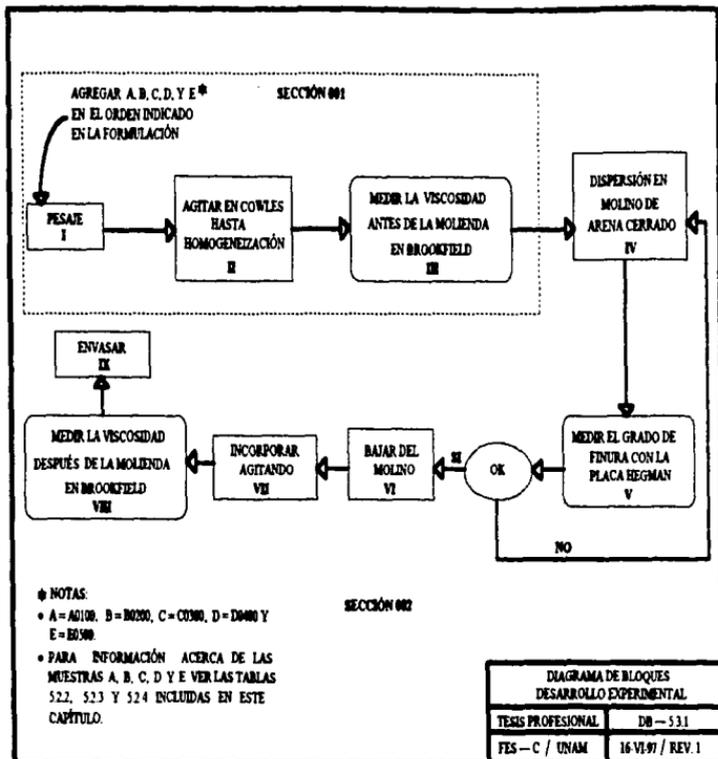


TABLA 5.2.2. Formulaciones de las muestras en estudio A0100 y B0200.

A0100		B0200	
Pigmento: Negro Monarch Clase: Inorgánico		Pigmento: Óxido de Hierro Rojo Clase: Inorgánico	
<i>Sección < 001</i> <i>Mezclar lo siguiente en</i> <i>Cowles, agregando en</i> <i>el orden indicado.</i> <i>Hasta homogeneización.</i>		<i>Sección < 001</i> <i>Mezclar lo siguiente en</i> <i>Cowles, agregando en</i> <i>el orden indicado.</i> <i>Hasta homogeneización.</i>	
Sustancia	Peso: > U/M	Sustancia	Peso: > U/M
Fórmula ⁽¹⁾	400 g	Fórmula (1)	229 g
R. poliéster	232 g	R. poliéster	188 g
Negro monarch	53 g	Acetato de butilo	41 g
Xileno	152 g	Xileno	65 g
Butanol	60 g	Ox. hierro rojo	150 g
	897 g	Aditivo dispersante	7.5 g
			680 g
<i>Sección < 002</i> <i>Dispersar en Molino de Arena,</i> <i>hasta obtener el «grado de finura»</i> <i>a 7.5 hegman. Aprobada bajar del</i> <i>molino con la siguiente premezcla.</i>		<i>Sección < 002</i> <i>Dispersar en Molino de Arena,</i> <i>hasta obtener el «grado de finura»</i> <i>a 7.5 hegman. Aprobada bajar del</i> <i>molino con la siguiente premezcla.</i>	
Sustancia	Peso: > U/M	Sustancia	Peso: > U/M
R. M. F. (2)	69.5 g	R. M. F. (2)	52.2 g
Acetato de butilo	33.5 g	Fórmula ⁽¹⁾	227.0 g
	1000 g	Butanol	40.3 g
			1000 g

(1) Solución de butirato de celulosa al 15 %.

(2) Resina melamina-formaldehído.

TABLA 5.2.3. Formulación de muestra C0300.

C0300	
Pigmento: Bióxido de Titanio Clase: Inorgánico	
<i>Sección : 001</i> Mezclar lo siguiente en Cowlas, agregando en el orden indicado. Hasta homogeneización.	
Sustancia	Peso: > U/M
R. poliéster	225.7 g
Butanol	21.0 g
Fórmula ⁽¹⁾	106.0 g
Bióxido de titanio	400.0 g
Xileno	50.3 g
	803.0 g
<i>Sección : 002</i> Dispersar en Molino de Arena, hasta obtener el «grado de finura» a 7.5 Hegman. Aprobada bajar del molino con la siguiente premezcla.	
Sustancia	
Fórmula ⁽¹⁾	94.0 g
R. M . F. (2)	76.5 g
Acetato de butilo	26.5 g
	1000 g

(1) Solución de acetato de butirato de celulosa al 15%

(2) Resina melamina- formaldehído

V Estudios de «dispersión de pigmentos»: plan de desarrollo

TABLA 5.2.4. Formulaciones de las muestras en estudio D0400 y E0500.

D0400		E0500	
Pigmento: Magenta Monastral Clase: Orgánico		Pigmento: Verde Ftalocianina Clase: Orgánico	
<i>Sección < 001</i> <i>Mezclar lo siguiente en</i> <i>Cowles, agregando en</i> <i>el orden indicado.</i> <i>Hasta homogeneización.</i>		<i>Sección < 001</i> <i>Mezclar lo siguiente en</i> <i>Cowles, agregando en</i> <i>el orden indicado.</i> <i>Hasta homogeneización.</i>	
Sustancia	Peso: > U/M	Sustancia	Peso: > U/M
Fórmula (1)	347.1 g	Fórmula (1)	340 g
R. M. F. (2)	60.0 g	R. poliéster	200 g
Magenta	100.0 g	Butanol	25 g
Aditivo humect.	4.0 g	Verde ftalocianina	100 g
Xileno	88.9 g	Xileno	106 g
Butanol	55.1 g		771 g
	655.1 g		
<i>Sección < 002</i> <i>Dispersar en Molino de Arena,</i> <i>hasta obtener el «grado de finura»</i> <i>a 7.5 hegman. Aprobada bajar del</i> <i>molino con la siguiente premezcla.</i>		<i>Sección < 002</i> <i>Dispersar en Molino de Arena,</i> <i>hasta obtener el «grado de finura»</i> <i>de 7.5 hegman. Aprobada bajar del</i> <i>molino con la siguiente premezcla.</i>	
Sustancia	Peso: > U/M	Sustancia	Peso: > U/M
R. poliéster	174 g	Acetato de butilo	126 g
Acetato de butilo	168 g	R. M. F. (2)	68 g
Fórmula (3)	2 g	Butanol	35 g
	1000 g		1000 g

(1) Solución de butirato de celulosa al 15 %.

(2) Resina melamina formaldehído.

(3) Solución de silicón al 10 %.

5.4 DETERMINACIONES REALIZADAS [MÉTODOS Y MATERIALES]

Los métodos a los que se hacen mención en este trabajo son para la determinación de las características generales que debe poseer un recubrimiento obtenido y son:

- *Dispersión del pigmento.*- La medición se realiza para conocer la finura alcanzada de una dispersión en un sistema pigmento-vehículo, mediante el uso de la Placa Hegman en la escala Hegman [H] (sección 5.4.1).
- *Viscosidad.*- La evaluación se realiza para conocer la viscosidad alcanzada de una dispersión, mediante el empleo de un viscosímetro tipo Brookfield (sección 5.4.2).

El método para caracterizar a los pigmentos que se hace mención en este trabajo es la absorción de aceite (sección 5.4.3)

5.4.1 PLACA HEGMAN [H]

La determinación del «grado de finura» en la escala de la Placa Hegman está determinada por la norma ASTM D-1210-79 Standard Test Method for Finess of Dispersion of Pigment-Vehículo Systems.

5.4.1.1 ALCANCES

Este método de prueba cubre mediciones del grado de dispersión [comúnmente llamado «grado de finura»] del pigmento en un sistema vehículo-pigmento, como los recubrimientos líquidos.

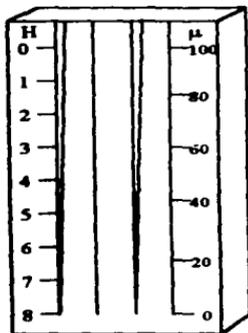
5.4.1.2 USO Y SIGNIFICADO

En recubrimientos el pigmento es usualmente dispersado en un vehículo en equipos de molienda. En esta etapa es cuando se aplica el método y se considera si los aglomerados de pigmentos han sido suficientemente dispersados o no, lo cual interfiere con la textura de la película aplicada. Este método describe cómo realizar esta medición.

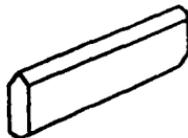
5.4.1.3 DESCRIPCIÓN DEL APARATO

◆ Placa Hegman

Es una placa de acero inoxidable figura 5.4.1 [a] aproximadamente 6.7 in [170 mm] de largo, 0.6 in [15 mm] de espesor y 2.5 in [65 mm] de ancho. La superficie de arriba es lisa y plana, tiene grabada dos ranuras de 5 in [127 mm] de largo. Al principio, la ranura tiene una profundidad de 100 μ hasta llegar al final que es de cero. Además, consta de una placa deslizadora de acero inoxidable figura 5.4.1 [b]. La ranura de la izquierda es la escala de medición en unidades Hegman, comprendiendo divisiones específicas en intervalos comprendidos desde el inicio cero hasta el final 8, mientras la ranura de la derecha es una indicación de la profundidad de ésta en μ .



[a]



[b]

FIGURA 5.4.1 . Placa Hegman.

5.4.1.4 PATRONES VISUALES

Con el propósito de estandarizar la relación de la distribución de partículas para la designación del «grado de finura» se usan guías de lecturas de éstas. En la figura 5.4.2 los diagramas mostrados son reproducciones de típicos patrones de «grado de finura», la flecha señala el punto final [la lectura] para esa distribución.

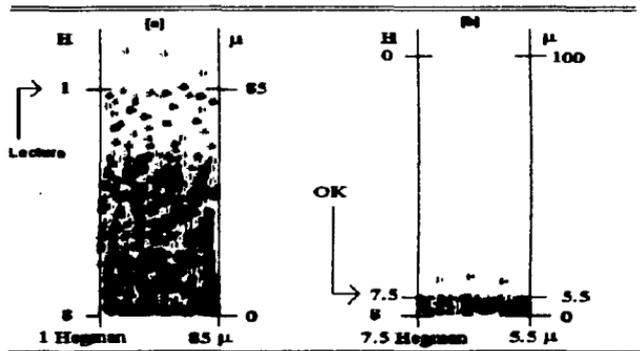
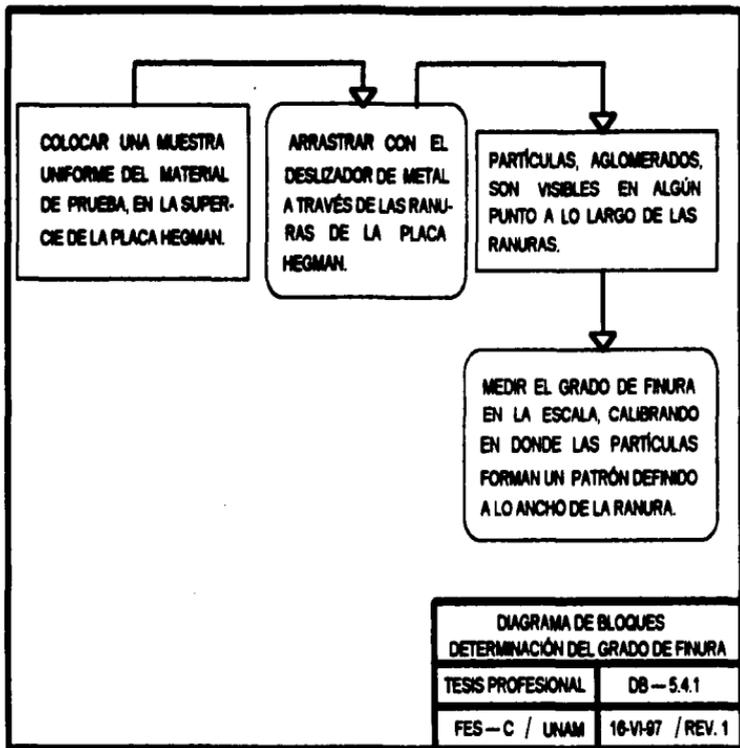


FIGURA 5.4.2. Patrones de finura.

5.4.1.5 MÉTODO DE PRUEBA

Ver diagrama de bloques DB—5.4.1 para la determinación del «grado de finura».



V Estudios de «dispersión de pigmentos»: determinaciones realizadas

5.4.2 VISCOSÍMETRO BROOKFIELD (33)

La determinación de la viscosidad en la escala del viscosímetro rotacional Brookfield está dada por la norma ASTM D 2196-86 Standard Test Methods for Rheological Properties of Non Newtonian Material by Rotational (Brookfield Viscometer).

5.4.2.1 ALCANCES

Este método cubre la determinación de la viscosidad de materiales no newtonianos en el rango de velocidad de corte para 0.1 a 50 s^{-1} [la mayoría de las pinturas y resinas].

5.4.2.2 USO Y SIGNIFICADO

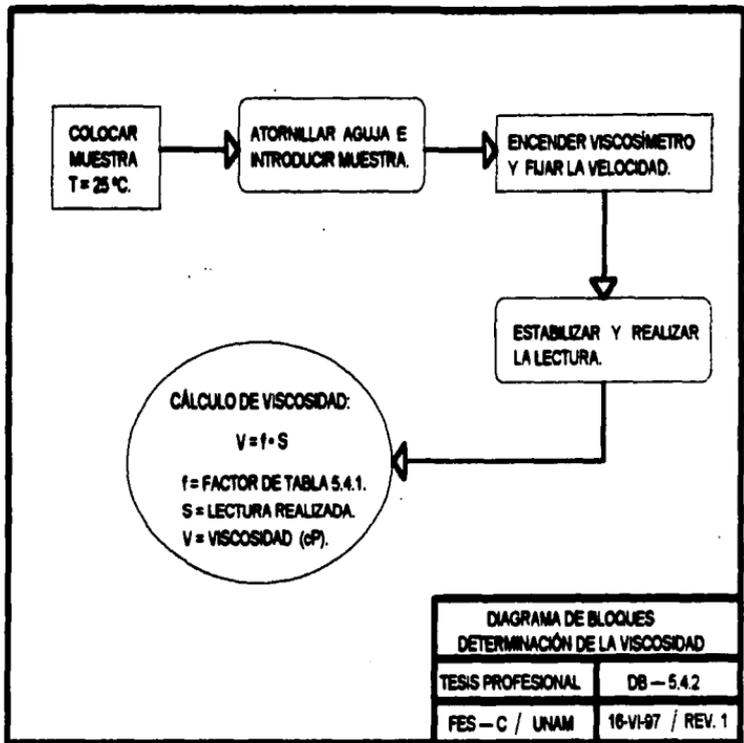
Es usado para determinar la viscosidad a una determinada velocidad rotacional.

5.4.2.3 APARATO

- ◆ Viscosímetro Brookfield modelo RVF
- ◆ Baño de aceite a temperatura constante
- ◆ Receptáculo de medio litro
- ◆ Termómetro (°C)

5.4.2.4 MÉTODO DE PRUEBA

Ver diagrama de bloques DB—5.4.2 para la determinación de la viscosidad.



V Estudios de «dispersión de pigmentos»: determinaciones realizadas

5.4.3 ABSORCIÓN DE ACEITE ⁽³³⁾

La determinación de la absorción de aceite está dada por la norma ASTM D 281-84 Standard Test Methods for Oil Absorption of Pigments by Spatula Rub-out.

5.4.3.1 ALCANCES

Este método cubre la determinación de la absorción de aceite de pigmentos por la técnica de la espátula.

5.4.3.2 USO Y SIGNIFICADO

El valor de la absorción de aceite obtenido por este método de prueba, da información acerca de la demanda de vehículo por el pigmento cuando éste es usado en una pasta pigmentada.

5.4.3.3 APARATOS Y MATERIALES

- ◆ Balanza analítica
- ◆ Gotero
- ◆ Vidrio liso
- ◆ Espátula de acero
- ◆ Aceite de linaza conforme especificación D 234.

5.4.3.4 MÉTODO DE PRUEBA

Ver diagrama de bloques DB—5.4.3 para la determinación de la absorción de aceite.

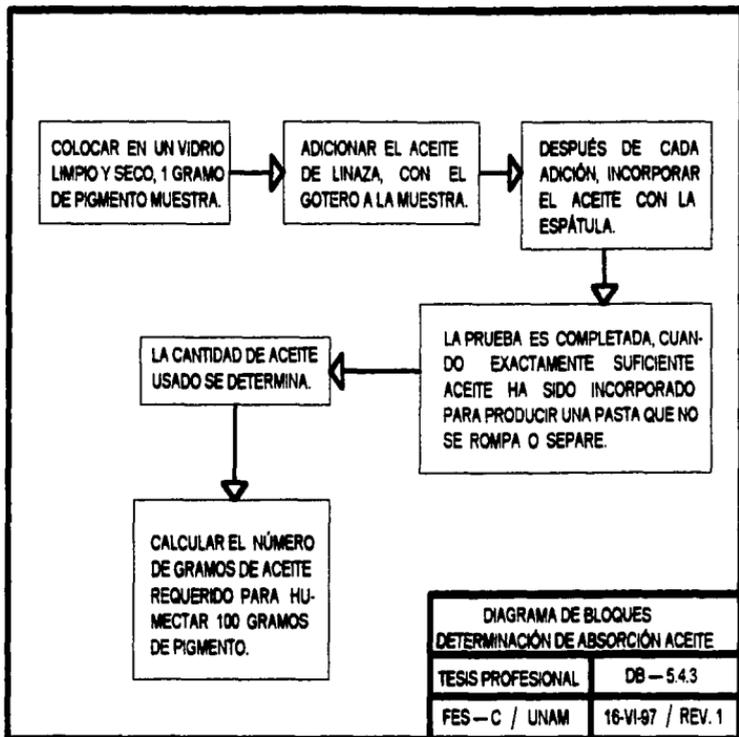


DIAGRAMA DE BLOQUES
DETERMINACIÓN DE ABSORCIÓN ACEITE

TESIS PROFESIONAL	DB - 5.4.3
FES - C / UNAM	16-VI-97 / REV. 1

V Estudios de «dispersión de pigmentos»: presentación de resultados

5.5 PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados de la determinación de el «grado de finura» del pigmento se presentan en las siguientes gráficas de «tiempo de dispersión» VS «grado de finura» gráficas A0100/G, B0200/G, C0300/G, D0400/G y E0500/G. Los resultados de la determinación de la viscosidad de las bases de molienda se presentan en la tabla 5.5.1.

Equipo: Viscosímetro Brookfield
Modelo: RVF
Temperatura: 25 °C
Estabilización: 2 min.

TABLA 5.5.1. Resultados de la determinación de viscosidad.

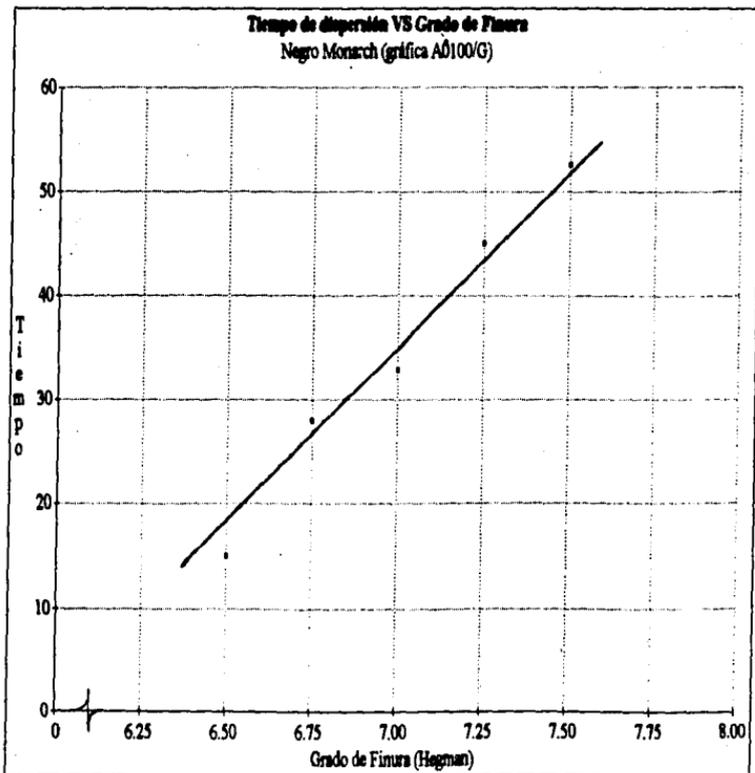
Viscosidad (cP)	A0100	B0200	C0300	D0400	E0500
Antes	580	980	3080	620	275
Después	1210	1475	8650	1200	680

Los resultados de la determinación de la absorción de aceite de cada pigmento se presentan en la tabla 5.5.2.

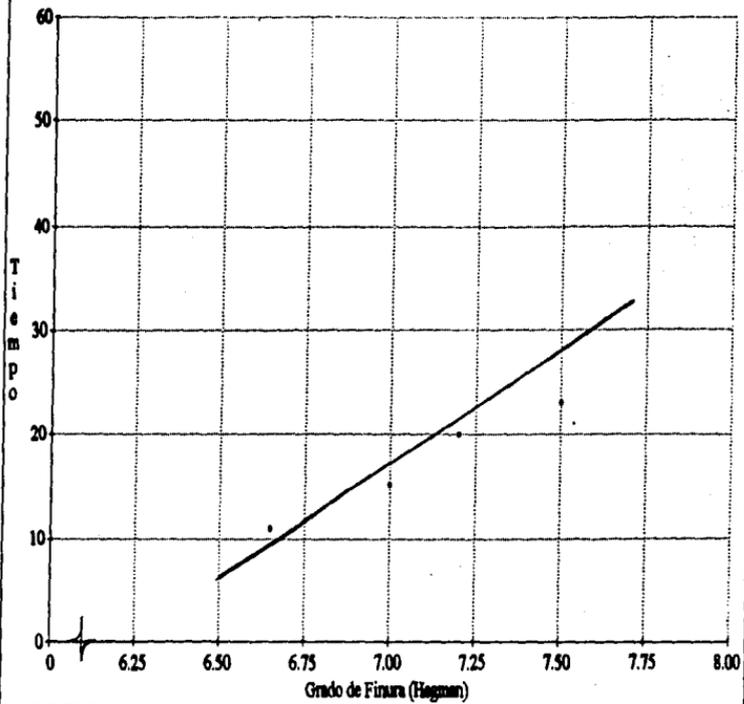
Tabla 5.5.2 Resultados de la determinación de absorción de aceite.

Pigmento		Absorción aceite (%)
Nombre	Clave	
NEGRO MONARCH	01	~ 96
ÓXIDO DE HIERRO ROJO	02	~ 50
BIÓXIDO DE TITANIO	03	~ 20
MAGENTA MONASTRAL	04	~ 36
VERDE DE FTALOCIANINA	05	~ 43

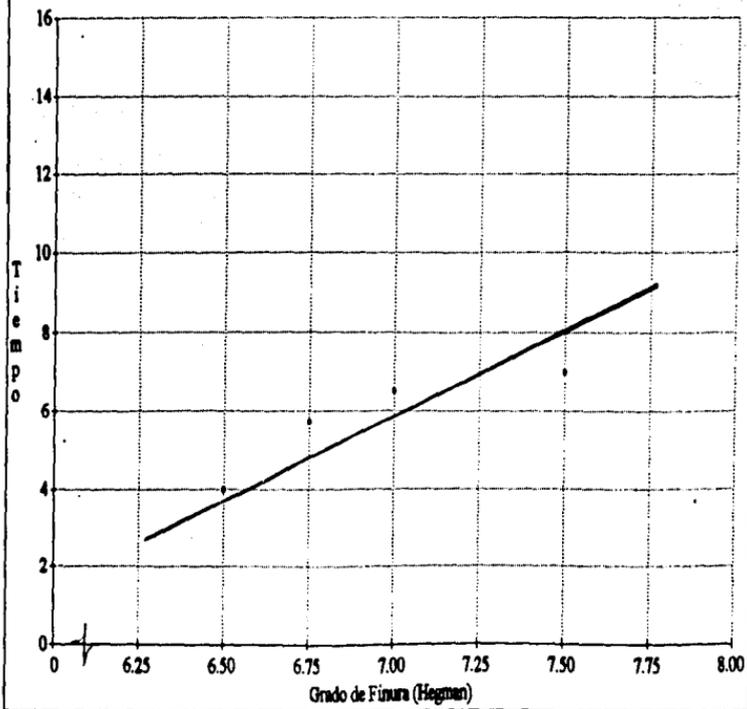
Tiempo de dispersión VS Grado de Finura
Negro Monarch (gráfica A0100/G)



Tiempo de dispersión VS Grado de Finura
Óxido de Hierro Rojo (gráfica B0200/G)

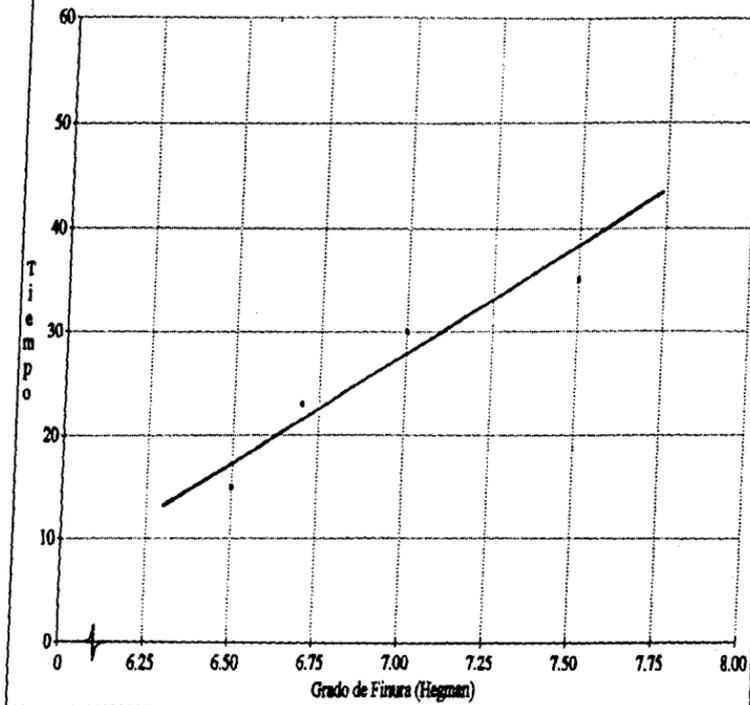


Tiempo de dispersión VS Grado de Finura
Bióxido de Titanio (gráfica C0300/G)

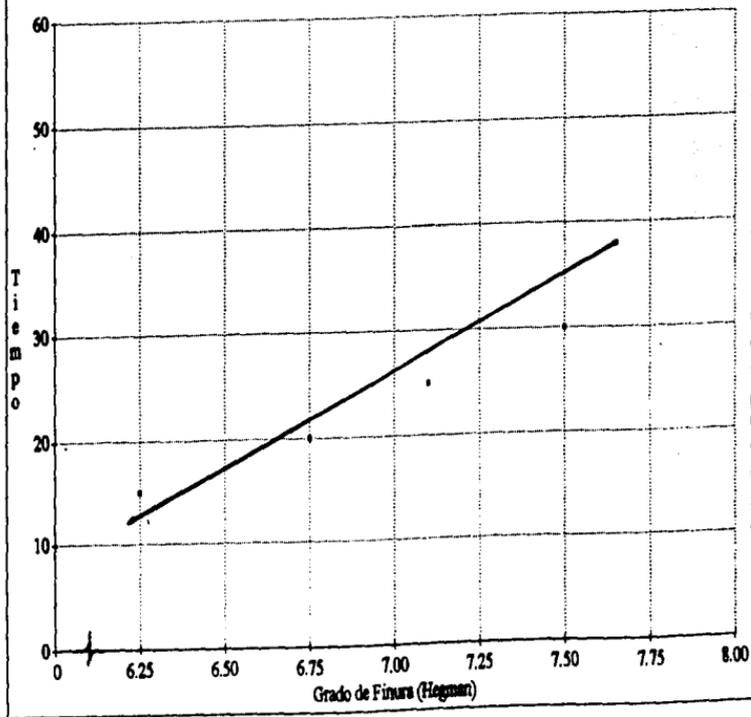


Tiempo de dispersión VS Grado de Finura

Magenta (gráfica D0400/G)



Tiempo de dispersión Vs Grado de Finura
Verde Ftalocianina (gráfica E0500/G)



V Estudios de «dispersión de pigmentos»: análisis de resultados

● Comentarios para A0100

Al revisar las gráficas de tiempo vs «grado de finura» vemos que la que concierne a la dispersión del pigmento Negro Monarch es la que consume más tiempo para conseguir el «grado de finura» óptimo [7.5 Hegman], el cual es alcanzado en un tiempo aproximado de 52 minutos, lo cual nos indica que es el pigmento Negro Monarch de los cinco, el *más difícilmente dispersable*. La viscosidad de la base de la molienda a la salida del molino se incrementa considerablemente dejándonos ver que gran parte del vehículo a humectado en su totalidad al pigmento, además de haberse obtenido la viscosidad especificada, es decir la viscosidad de aplicación. La viscosidad se ve de la tabla 5.5.1 donde para A0100 a la salida del molino es casi el doble de la inicial. De los cinco pigmentos es el Negro Monarch el que tiene la mayor absorción de aceite [ver tabla 5.5.2], lo cual es una forma indicativa de la demanda del vehículo, la cual es elevada.

● Comentarios para B0200

En base a la gráfica B0200/G correspondiente al pigmento Óxido de Hierro Rojo el tiempo empleado para ejecutar la dispersión con el «grado de finura» óptimo [7.5 Hegman] es de 23 minutos, lo cual nos revela a un pigmento con una *dispersabilidad buena* a pesar de tratarse de un pigmento con una absorción de aceite elevada. La viscosidad al concluir la molienda es elevada [tabla 5.5.1]. El pigmento Óxido de Hierro Rojo presenta una absorción de aceite alta, cerca de 50 % [tabla 5.5.2], lo cual es indicativo de la demanda de vehículo, la cual es elevada.

● Comentarios para C0300

Al revisar la gráfica C0300/G que corresponde a la dispersión del pigmento Dióxido de Titanio se infiere que es la que emplea el menor tiempo para lograr el «grado de finura» óptimo [7.5 Hegman] en poco más o menos 7 minutos. Lo cual nos confirma que es el pigmento Dióxido de Titanio de los cinco el *más fácilmente dispersable*. De los cinco pigmentos es el Dióxido de Titanio el que tiene la menor absorción de aceite [tabla 5.5.2], lo cual es una forma indicativa de la demanda de vehículo, la cual es baja.

V Estudios de «dispersión de pigmentos»: conclusiones

Las viscosidades de la mayoría de las bases de molienda que emplean el pigmento Dióxido de Titanio se les consideran manipulables, pero si observamos la tabla 5.5.1 vemos que para éste, es el pigmento con mayor viscosidad a la salida del molino, lo cual se contradice con lo anteriormente dicho; pero se explica al observar que de las muestras, es la C0300 de Dióxido de Titanio es la que posee la mayor cantidad de pigmento [~ 40 %] en el sistema.

● Comentarlos para D0400

De la gráfica D0400/G correspondiente a la dispersión del pigmento Magenta Monastral, el tiempo para lograr el «grado de finura» apropiado [7.5 Hegman] es de alrededor de 35 minutos, por ello podemos inferir que se trata de un pigmento *diffícilmente dispersable*. En base a la tabla 5.5.1, vemos que la viscosidad a la salida del molino es moderada. El Magenta Monastral tiene una absorción de aceite mediana [tabla 5.5.2], por lo tanto la demanda de vehículo es mediana.

● Comentarlos para E0500

En la gráfica E0500/G para el pigmento Verde de Ftalocianina, observamos que el tiempo de dispersión es de cerca de 30 minutos, lo cual nos señala un pigmento con una *dispersabilidad buena*. Conforme a la tabla 5.5.1, la viscosidad de la base de molienda a la salida del molino es la menor de las cinco muestras, lo cual nos indica que es fácilmente manipulable y su fluidez es muy buena. El Verde de Ftalocianina tiene una absorción de aceite alta [tabla 5.5.2], por lo tanto la demanda de vehículo es elevada.

5.6 CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este estudio de «dispersabilidad de pigmentos» nos han permitido discernir:

● Que para realizar la evaluación de las características generales de un recubrimiento se emplean métodos de ensayo como los evaluados en este estudio de dispersión de pigmentos, el «grado de finura» alcanzado por el pigmento y la viscosidad del recubrimiento obtenido, debido a que las características funcionales de los pigmentos en relación con las propiedades examinadas en el Capítulo II, sólo se pueden determinar mediante pruebas realizadas en los recubrimientos a los que han sido incorporados.

V Estudios de «dispersión de pigmentos»: conclusiones

● El empleo de gráficas de tiempo de dispersión vs «grado de finura» es un procedimiento sencillo y rápido para obtener información concerniente a los tiempos de molienda en los que debe ser realizada una dispersión para la obtención de «grados de finura» de pigmentos en valores óptimos [7.5 Hegman], permitiéndonos saber que tan difícil o fácil es la dispersión de un pigmento dado en un sistema, es decir, qué tan fácilmente dispersable es.

● Las viscosidades de las bases de molienda a la salida del equipo se incrementan debido a que conforme transcurre la dispersión los agregados de pigmentos son reducidos en tamaño; por ello, la cantidad de vehículo requerida por las partículas pigmentarias primarias va intensificándose conforme avanza ésta, originándose un aumento de la viscosidad al terminar la etapa de la molienda.

● Los pigmentos con absorción de aceite elevada nos revelan tamaños de partícula de pigmentos pequeñas y por consiguiente grandes áreas superficiales. Es decir, que la cantidad de vehículo empleado es mayor para éstos, de lo contrario se obtendrá pigmento sin humectar lo cual desestabilizaría el sistema. El otro caso es que los pigmentos con absorción de aceite pequeña o intermedia nos revela áreas superficiales medianas, así pues podemos emplear menor cantidad de vehículo sin tener problemas siendo fácilmente dispersables. Por lo tanto, la cantidad de absorción de aceite sirve para transmitir una idea de la cantidad mínima de vehículo requerida para realizar una dispersión de pigmentos apropiadamente, al mismo tiempo de proporcionarnos una alusión de qué tan fluidizable es una base de molienda con determinado pigmento.

● De lo anterior podemos asegurar que es conveniente y eficaz elaborar, a nivel de Laboratorio de Desarrollo, las moliendas de pigmentos para conocer los tiempos aproximados en que se consiguen los «grados de finura» de partícula correctos, así como el conocimiento de la dispersabilidad de los pigmentos en los vehículos; y por consiguiente, su producción sin inconvenientes a nivel industrial.

V Estudios de «dispersión de pigmentos»: determinaciones realizadas

Tabla 5.4.1 Factores para convertir las lecturas realizadas en el viscosímetro Brookfield a centipoises. [33]

INTERVALO ^a [cP]	TAMAÑO AGUJA	VELOCIDAD [r.p.m.]	FACTOR ^b
100 a 400	1	20	5
400 a 800	1	10	10
800 a 1600	2	20	20
1600 a 3200	2	10	40
3200 a 4000	3	20	50
4000 a 8000	4	20	100
8000 a 16000	4	10	200
16000 a 20000	3	4	250
20000 a 40000	4	4	500
40000 a 80000	4	2	1000
80000 a 160000	5	2	2000
1.6E5 a 2.0E5	6	4	2500
2.0E5 a 4.0E5	6	2	5000
4.0E5 a 8.0 E5	7	4	10000
8.0E5 a 2.0E6	7	2	20000

- a** Si la escala leída es menor de 20 o mayor de 80, mueva la aguja y la velocidad recomendada para el siguiente intervalo inferior, o el intervalo superior según el caso.
- b** Para obtener la viscosidad en cP, multiplicar la lectura obtenida por el factor correspondiente para ese tamaño de aguja y velocidad.



Usos & Aplicaciones

VI USOS O APLICACIONES

6.1 RECUBRIMIENTOS DE SUPERFICIES [9, 9, 6, 12, 22]

La gran variedad de recubrimientos son elaborados para usos específicos. El tipo de recubrimientos a los cuales se hace mención, son aquellos que después del proceso de dispersión son aplicados en forma líquida y que, dependiendo de la forma en que endurecen sus películas, se pueden clasificar en recubrimientos decorativos e industriales. Los primeros endurecen sus películas por polimerización oxidativa, es decir, son expuestas al aire y a temperaturas ambiente, mientras que los segundos endurecen sus películas por polimerización por calor, es decir, a temperaturas elevadas. Los principales objetivos que persiguen estos recubrimientos son los de proporcionar a las superficies, sobre las cuales son aplicados, protección contra el medio ambiente y que generen una apariencia agradable al ojo humano.

Dependiendo de las superficies a las que vayan a ser aplicados los recubrimientos, se les debe dar un pretratamiento apropiado. Una propiedad que debe poseer la película es la de presentar una resistencia a ser removida de la superficie aplicada, por lo tanto, la superficie recibe un pretratamiento el cual consiste en limpiarla y liberarla de posibles rugosidades, después de lo cual se aplica en forma casi invariable dos tipos de recubrimientos, *el primero* que se encuentra en contacto con la superficie a proteger y cubrir, y *el segundo* que se aplica encima del primero y el cual proporciona las características deseadas finales. Al primero se le da el nombre de *primer* al segundo pintura (fig. 6.1.1).



FIGURA 6.1.1. Orden de aplicación de los recubrimientos para una adecuada duración de la superficie.

VI Usos o aplicaciones: recubrimientos de superficies

El *primer* es un producto especial de los recubrimientos que se aplica directamente sobre la superficie, y que prepara a ésta para recibir a la pintura. Su función radica en promover la creación de una superficie uniforme o impermeable y la adhesión con la película de pintura, ya que la uniformidad, continuidad y aspecto liso y terso final de la película, depende de la superficie sobre la que fue aplicado todo esto con la finalidad de asegurar la durabilidad de la película.

6.1.1 RECUBRIMIENTOS DECORATIVOS

Se encuentran al alcance del público y su uso se destina a la creación de películas con características de protección y decoración del interior y exterior de casas y edificios. Este tipo de recubrimientos son los que después del proceso de la dispersión, son aplicados en forma líquida y que endurecen sus películas en condiciones atmosféricas, prefiriéndose condiciones ambientales de baja humedad, es decir, aire seco y con temperaturas ambientales moderadas de entre 20 a 30 °C para la obtención de películas sólidas, continuas y flexibles, es decir, sin defectos. La mayor parte de estas pinturas se aplican mediante el empleo de brochas o rodillos. La consistencia de éstas es un punto de referencia para realizar una mala o adecuada aplicación, ya que a viscosidades elevadas se dificulta la aplicación de la pintura. Aquí yace la importancia de realizar una formulación adecuada, funcionando la parte volátil como un reductor de la viscosidad, permitiendo su fácil aplicación.

6.1.1.1 PINTURAS DE INTERIOR

Tres apariencias al ojo humano pueden adquirir los acabados de este tipo de películas: *mata*, *semibrillante* y *brillante*. Esto es debido a que las proporciones de pigmentos afectan el brillo, ya que éste es la reflexión de la luz de una superficie con el mismo ángulo que el ángulo de incidencia (fig. 6.1.2). Por ejemplo, proporciones pequeñas de pigmentos en una película se encuentran abajo de la superficie de ésta. Todo el vehículo coalesce y su tensión superficial tiende a hacer la superficie plana y por lo tanto brillante. Al aumentar la cantidad de pigmento en la película, las partículas de pigmento comienzan a resaltar en la superficie de ésta, causando difusión de la luz incidente antes que la reflexión y consecuentemente el brillo se reduce. En los acabados mate la cantidad de vehículo es justa lo suficiente para humedecer el pigmento y llenar los espacios entre las partículas pigmentarias por lo tanto un mínimo de brillo es alcanzado.

VI Usos o aplicaciones: recubrimientos de superficies

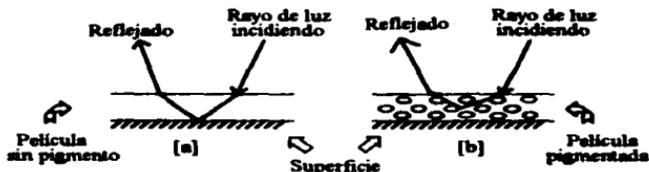


FIGURA 6.1.2. Superficies cubiertas por un recubrimiento sin pigmento [a] y un recubrimiento pigmentado [b].

1) **Aspecto brillante.**- A este tipo de recubrimiento brillante también se le da el nombre de *esmalte*, el cual es una «dispersión de pigmentos» en un vehículo que se ha fortalecido por adición de una resina, la cual se ha tratado para conseguir su parcial polimerización. Su empleo principal es en superficies de madera y metal a las que les confieren acabados de película muy brillantes haciéndolas resistentes al agua, álcalis y otros reactivos químicos, duros, impermeables y de alto brillo. Los esmaltes varían en el contenido de aceite y la resina, dependiendo de la forma en que se vayan a emplearse y las superficies sobre las que se apliquen. Los agregados de pigmentos son dispersados asequiblemente, seleccionándose pigmentos finos y de fácil dispersión. La concentración de pigmentos en el volumen de la base de molienda oscila en el intervalo de 20 % a 35 %. Los vehículos están formados por resinas alquídicas y las mezclas por cocción de una o más resinas con aceites secantes [linaza, tung]. En este tipo de recubrimientos brillantes se requiere un alto grado de dispersión de pigmentos.

La aplicación de un recubrimiento de aspecto brillante sobre una superficie de madera es preparando la superficie lijándola y rellenándola hasta dejarla lo más lisa posible. Acto seguido, un primer tipo sellador es aplicado después del cual un esmalte es aplicado, los cuales endurecen sus películas, generalmente, a temperaturas ambientales y por exposición al aire, pues si se emplean temperaturas de horno la madera posee la incapacidad de resistirlas. En el caso de que la superficie sea metálica, se limpia con disolventes para eliminar suciedad y microorganismos, aplicándose un primer inhibidor de la corrosión seguido del recubrimiento final.

VI Usos o aplicaciones: recubrimientos de superficies

2) **Aspecto semibrillante.**- En un recubrimiento de aspecto semibrillante la concentración en volumen del pigmento es de 35 a 50 %. Los vehículos son los mismos que se emplean en los esmaltes, pero aumentando la proporción de aceite con respecto a la resina, debido que al aumentar el volumen de pigmentos en un recubrimiento, el vehículo debe proporcionar la flexibilidad para asegurar la duración y prevenir el agrietamiento de la película aplicada. Se emplean para ser aplicados sobre paredes.

3) **Aspecto mate.**- El acabado mate se da a medida que el volumen de pigmento aumenta con respecto a la parte no volátil. La parte no volátil esta formada por una mezcla de aceites secantes y resinas duras. El empleo de resinas incrementa la dureza de la película y reduce el tiempo de endurecimiento de la misma. La concentración en volumen del pigmento es superior, que en los ya mencionados, oscilando entre 50 % a 70 %. La parte volátil es mas elevada para conseguir una fácil aplicación del mismo. La proporción de aceite con respecto a la resina aumenta para asegurar la durabilidad, pues la película se vuelve más flexible evitándose que se pueda resquebrajar con el transcurso del tiempo. Este tipo de acabados necesita del empleo de aditivos para mantener en suspensión al pigmento y controlar la viscosidad del recubrimiento. Los acabados *mate* se usan principalmente para cubrir paredes, ya que los acabados semibrillantes y *mate* se aplican sobre paredes cubiertas con yeso o cemento, deben ser resistentes a los álcalis, la aplicación de un primer antes del recubrimiento final es esencial.

6.1.1.2 PINTURAS DE EXTERIOR

Las pinturas de exterior, también como en las de interior, tienen que proporcionar películas con características de protección y decoración, con la diferencia de que la superficie a proteger se encuentra en una superficie hostil sujeta a lluvia, rocío, cambios bruscos de temperatura, radiación ultravioleta, etc., por lo tanto la película debe ser aún más impermeable a la humedad y resistente al crecimiento de microorganismos, a la formación de fisuras, etc. Las pinturas que satisfacen y que frecuentemente son preferidas son las alquídicas ofreciendo una buena impermeabilidad y mejor protección a la superficie. La concentración en volumen de pigmentos es elevado y oscila entre el 80 % en volumen. Este alto contenido de pigmentos es una ventaja pues disminuye la erosión de la película por radiación ultravioleta, polvo y lluvia.

VI Usos o aplicaciones: recubrimientos de superficies

6.1.2 RECUBRIMIENTOS INDUSTRIALES

Son recubrimientos que se aplican a objetos elaborados en cuantiosas cantidades de tal forma que su aplicación es realizada en forma específica y el endurecimiento de la película es generalmente mediante el empleo de altas temperaturas [polimerización por calor]. Su objetivo es el de proteger y decorar, ya que estos recubrimientos se destinan para artículos realizados en masa. La aplicación se realiza en forma casi automática mediante métodos específicos para cada caso. Para realizar el secado se disponen de hornos que trabajan a altas temperaturas (tabla 6.1.1).

Tabla 6.1.1. Temperatura empleadas en recubrimientos industriales.

Nombre	Intervalo de temperatura (°C)
Secado forzado	65 a 90
Horneado normal	90 a 200
Alta cocción	200 a 260

C

Conclusiones

C CONCLUSIONES

Retomando los objetivos que dan comienzo a este trabajo de Tesis, se infiere mediante los siguientes considerandos que:

● Durante el transcurso del tiempo, el proceso de la «dispersión de pigmentos» ha progresado y esto debido al aprovechamiento de materias primas de propiedades superiores para la producción de bases de molienda idóneas, hasta el empleo de equipos de molienda de los más variados modelos y requerimientos, para la realización del proceso de producción de un recubrimiento. Debido a lo anterior no se ha hecho esperar que el consumo de los mismos se incremente año con año, empleándose en fines de los más variados requerimientos.

● Con lo que respecta a los elementos que intervienen en la «dispersión de pigmentos», éstos son seleccionados en base a sus propiedades específicas para la obtención de recubrimientos satisfactorios, además de tenerse en consideración al fin al que son destinados, es decir, qué características de protección o cualidades determinadas debe de poseer la futura película aplicada.

● La «dispersión de pigmentos» es la etapa más importante en la producción de un recubrimiento, ya que es en ésta donde el pigmento, que debe ser insoluble en el medio dispersante [vehículo], tiene que ser diseminado en el sistema con un «grado de finura» de partícula adecuado con el cual se considera que un recubrimiento de carácter estable ha sido obtenido. El uso de aditivos para la dispersión, se realiza cuando los elementos de la dispersión no cumplen con sus funciones específicas para la obtención de un recubrimiento con características de estabilidad.

C Conclusiones

● En cuanto al empleo de equipos de molienda en la «dispersión de pigmentos», éstos son modernos y costosos, confirmando que son los molinos de arena o de cuentas y los dispersores de discos de altas velocidades los que más se emplean para la elaboración de un recubrimiento industrial en la actualidad. Debido en gran parte a la acción dispersante de tipo híbrido que manifiestan los dos equipos en diferentes proporciones, en el primero debido al empleo de un medio de molienda que le confiere que la dispersión sea más energética obteniendo recubrimientos con «grados de finura» de pigmentos adecuados en tiempos de molienda cortos; mientras que en el segundo, se pueden realizar primero la premezcla seguida de la molienda en el mismo equipo sin hacer ningún tipo de traslado del material, la desventaja de éstos últimos radica en que no se emplean para dispersar bases de molienda que contengan pigmentos difícilmente dispersables.

● Los estudios de dispersión de pigmentos realizados en este trabajo nos permiten aseverar que: la medición del «grado de finura» de partícula adecuado en estudios de dispersión de pigmentos, es un parámetro mediante el cual se conoce en qué momento se obtiene la dispersión del pigmento en el vehículo en su valor deseado u óptimo, ya que al obtener y hacer uso de gráficas de tiempo VS «grado de finura» se realiza un seguimiento detallado y se conoce la dispersión que sufre el pigmento en el vehículo en cuestión y así se obtiene un recubrimiento con una calidad excelente lo cual es el fin que se persigue, además de ser una señal para interpretar qué tan fácil o difícilmente dispersable son los pigmentos en cuestión. Con respecto a la absorción de aceite de un pigmento nos revela que es la cantidad mínima de vehículo necesaria para humectar al pigmento en cuestión y poder realizar formulaciones de bases de molienda en forma correcta. Por lo tanto, se infiere que realizar estudios de dispersión de pigmentos en «Laboratorios de Desarrollo» resulta ventajoso, eficaz y productivo en la moderna industria de recubrimientos industriales.

● Por último se ratifica que se han aportado los elementos básicos para la realización de un recubrimiento, sirviendo esta Tesis como una guía y un texto de consulta para recurrir a investigar conceptos y metodología de los mismos en forma breve y rápida, siendo un apoyo adecuado tanto para la docencia como para la industria de los recubrimientos actuales.

D

Referencias

D REFERENCIAS

- 1.-Badger Walter Lucius & Banchemo Julius Thomas *Introduction to Chemical Engineering*. 2nd published. Mc Graw-Hill Editions, New York, N. Y., p. 626-630, (1964).
- 2.-Shreve Norris Randolph & Brink Joseph A. *Chemical Process Industries*. 4th published. McGraw-Hill, Tokyo, p. 424-455, (1977).
- 3.-Payne Henry Fleming. *Organic Coating Technology*. 2nd published. John Wiley & Sons Editions, New York, N. Y., Vol. II, p. 47-80, (1961).
- 4.-Asociación Nacional de Fabricantes de Pinturas y Tintas A. C. *Estadística de Pinturas y Recubrimientos*. ANAFAPYT, D. F. México, (1993).
- 5.-Kirk • Othmer • Eller R. • Frederick D. *Encyclopedia of Chemical Technology*. 3rd published. John Wiley and Sons Editions, New York, N. Y., Vol. 6, p. 456, 458, 460-462, 427-429, 437-443, (1978); Ibid. 15, p. 604-612; Ibid. 16, p. 742-744; Ibid. 17, p. 788, 838, 871-878; Ibid. 20, p. 259-263, 290-291.
- 6.-Turner Gerald Patrick Anthony. *Introduction to Paint Chemistry and Principles of Paint Technology*. 3rd published. Chapman & Hall Editions, London, England; p. 41-43, 57-65, 92-104, 111-125, 132-134, 154-161, 165-169, 171-179, (1988).

D Referencias

- 7.-Hopmeir Arthur P. *Survey of Pigments*. Sun Chemical Corporation, Pigments Division, Cincinnati, Ohio; p. 163-187, (1991).
- 8.-Parker Dean H. *Tecnología de los Recubrimientos de Superficies*. 1ª ed. en español. Editorial: URMCO, Bilbao, España; Vol. 7, p. 26-42, 176-195, 225-238, 250-253, 256-266, 274-283, 384-389, 393-394, 484-488, (1970).
- 9.-Thornton Morrison Robert & Boyd Neilson Robert. *Organic Chemistry*. 4th published. Allyn & Bacon Inc., Boston, Massachusetts; p. 436-437, 439-440, 1039-1047, (1983).
- 10.-Wingrove Alan S. & Caret Robert L. *Organic Chemistry*. Harper & Row Publishers. New York, N. Y., p. 492-494, 1090-1093, 1097-1099, (1981).
- 11.-Solomons Graham T. W. *Organic Chemistry*. 5th published. John Wiley & Sons Editions, New York, N. Y., p. 551-557, 1044-1048, (1992).
- 12.-Mark • Bikales • Overberger • Menges • Kroschwitz. *Encyclopedia of Polymer Science and Engineering*. 2nd published. John Wiley and Sons Editions, New York, N. Y., Vol. 3, p. 647-650, 653-661, (1985); Ibid. Supplement, p. 73-75, 94-98, 101-119.
- 13.-Mills Robert Maurice. *An Introduction to Drying Oil Technology*. 1st published. Pergamon Press LTD., London, England; p. 175-190, (1952).

D Referencias

- 14.-Biom Viggo Axel. *Organic Coatings in Theory & Practice*. 1st published. Elsevier Publishing, Amsterdam, The Netherlands; p. 150-170. (1949).
- 15.-Patton Temple C. *Paint Flow & pigment Dispersion: a rheological approach to coating and ink technology*. 2nd published. John Wiley & Sons Editions, New York, N.Y., p. 268-271, 276-283, 376-386, 388-390, 394-, 401, 406-407, 410-413, 417, 421-422, 424-428, 444-450, 468-471, 477, 483-487, 489-490, 498-500, (1979).
- 16.-Herbet Willy • Hunger Klaus. *Industrial Organic Pigments: production, properties & applications*. 2nd published in english. Verlagsgesellschaft VCH, Weinheim, p. 75-82, (1993).
- 17.-Boothe David P. • George Herman F. *Industrial Paint & Powder*. Part one, Wickliffe, Ohio; p. 1-3 (March, 1994).
- 18.-Schoff Clifford K. *Rheology*. Federation Series on Coatings Technology FSCT Editions, Allison Park, Pennsylvania; p. 8-16, 18-25, (1990).
- 19.-Castellan Gilbert William. *Physical Chemistry*. 3rd published. Addison - Wesley Editions, Boston, Massachusetts; p. 452-455, 792-801, 964-970. (1983).
- 20.-Clint John H. *Surfactant Aggregation*. 1st published. Blackie & Sons Ltd. Editions, Glasgow, England; p. 62-64, 219-226, (1992).

D Referencias

- 21.-Rosen Milton J. *Surfactants & Interfacial Phenomena*.
2nd published. John Wiley & Sons Editions, New York, N. Y.,
p. 1-5, 240-243, 349-350, 359-360, (1989).
- 22.-Woodbridge Richard. *Principles of Paint Formulation*.
1st published. Blackie & Sons Ltd. Editions, Glasgow, England;
p. 62-64, 159-188, 219-226, (1991).
- 23.-Chopey Nicholas P. • Hicks Tyler G. *Manual de Cálculos de Ingeniería Química*. 1^{ra} edición en español. Editorial: Mc Graw-Hill, D.F. México; p. 12/1 a 12/5, (1988).
- 24.-Brown Granger George & Foust Shivers Alan. *Unit Operations*.
1st published. John Wiley & Sons Editions, New York, N.Y.,
p. 528-531, (1956).
- 25.-Blanco Matas • Sánchez Reyes • Villegas C. *Tecnología de Pinturas y Recubrimientos Orgánicos*. 2^{da} ed. Editorial: Química, D. F. México, p. 993-1039, (1974).
- 26.-Nelson Ralph D. Jr. *Dispersing Powders in Liquids*. 1st published. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, The Netherlands;
p. 5-14, 17-25, 83-86, 151-153, (1988).
- 27.-LeSota Stanley • Engler David • Jhoston-Fedler R. • Kiefer J. Mark S. • Landis J. • Mc Grantry M. • Sander L. • Willard F. *Paint / Coating Dictionary*. 1st published. Federation of Societies for Coatings Technology Publishing, Philadelphia, Pennsylvania; 610 p. (1978).

D Referencias

- 28.-Rhodes Martin J. *Principles of Powder Technology*. 1st published. John Wiley & Sons Editions, Chichester, England; p. 242-243, (1990).
- 29.-*The Process Equipment People*. Bowers Process Equipment Inc. Stratford, Ontario. p. 1-5. (1995).
- 30.-Kady Internacional. *The Kady Mill*. A Kinetic Dispersion Company. Scarborough, Me. U.S.A., p. 1-3. (1995).
- 31.-*Red Head Mills*. Connor Comercial. Buffalo Grove, Illinois, p. 1-3. (1995).
- 32.-Coyno Gary S. *The Laboratory Handbook of Materials, Equipment & Technique*. 1st published. Prentice Hall Editions, Englewood Cliffs, New Jersey; 468 p. (1992).
- 33.-ASTM. *Annual Book of ASTM Standards*. Section 6. Paints, Related Coatings and Aromatics. Volumen 06.01 (Paint - Test for Formulated Products and Applied Coating). American Society for testing & materials Editions. Philadelphia, Pennsylvania; p. 35-36, 164-171, 272-275, (1995).