
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE GUADALAJARA

Incorporada a la Universidad Nacional Autónoma de México

ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

"OPTIMIZACION DE LA OPERACION DE MOLIENDA EN UNA
FABRICA, DE TINTAS

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A

EDUARDO MORENO PEREZ

ASESOR: I.Q. DOLORES ORTIZ

GUADALAJARA, JAL., 1989



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 está 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.

ÍNDICE	PAG.
INTRODUCCIÓN	3
I TEORÍA	4
1.1 Conceptos Básicos	4
1.2 Teoría de la Pulverización	6
1.3 Energía de Molienda	9
II TEORÍA DEL EXPERIMENTO	
II.1 Naturaleza de las Tintas	11
II.2 Elección de Materias Primas	12
II.3 Metodología Emplenda	15
III DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	
III.1 Molino	18
III.2 Dispensador de Alta Velocidad	19
IV CÁLCULOS Y RESULTADOS	22
IV.1 Comentarios	36
V DISCUSIÓN DE RESULTADOS	37
RESUMEN	38
CONCLUSIONES	39
VI BIBLIOGRAFÍA	40
APÉNDICE I	41
APÉNDICE II	42

INTRODUCCION

En la industria de las tintas, la molienda de los pigmentos representa el cuello de botella en la producción. Así mismo, es un factor de vital importancia para la obtención de tintas de calidad, ya que el tamaño de la partícula del pigmento es tá directamente relacionado con el poder tintóreo del mismo, lo que trae como consecuencia, la obtención de una tinta brillante y con tono limpio al imprimir (propiedades indispensables en una tinta).

Por lo general, los pigmentos se suministran en polvos aglomerados en vacío y en forma de granulado. Todos estos materiales sólidos en tamaños demasiado grandes para ser utilizados directamente en la elaboración de las tintas, por lo cual las industrias que trabajan con estos materiales precisan de una reducción previa de tamaño de los trozos de granulos a partículas.

En general los términos: trituration y molienda se utilizan para denotar la subdivisión de partículas sólidas grandes, en partículas más pequeñas.

En los pigmentos se habla de un grano blando o duro según la facilidad o dificultad con que se triture en la refinadora. Los pigmentos de grano blando se trituran por completo y se desintegran en subpartículas más pequeñas al cabo de poco tiempo, alcanzando entonces su máximo rendimiento, que no aumenta aunque se prosiga con el proceso de molienda. En cambio, los aglomerados de los pigmentos de grano duro, aunque se refinan, con el tiempo se desintegran de modo incompleto en sus partículas primarias. Su rendimiento aumenta muy lentamente, no llegando a alcanzar completamente su grado máximo teórico.

Bajo ciertas circunstancias, las propiedades humectantes y dispersantes del vehículo pueden influir considerablemente en la dureza del grano o dispersabilidad del pigmento.

El objetivo de esta Tesis consiste en encontrar la relación pigmento-vehículo, así como las condiciones de operación óptimas para la elaboración de tintas de calidad, esto es mejorar la relación calidad-productividad.

Uno de los pigmentos más utilizados en nuestra planta es el amarillo cromo, el cual se emplea en la elaboración de tintas amarillas, para entonar tintas rojas, naranjas y verdes, etc., por lo cual se intentará minimizar el tiempo de molienda de este pigmento.

I.- TEORÍA

CONCEPTOS BÁSICOS

Antes de entrar de lleno a lo que es la operación de molienda, hablemos un poco acerca de las propiedades de los cuerpos sólidos, que ofrecen particular interés en relación con las operaciones básicas de la ingeniería química.

- Densidad -

Generalmente representada por el símbolo (ρ), y se define como la masa por unidad de volumen. Las unidades más utilizadas para expresarlas son g/cm^3 ó kg/m^3 .

- Peso Específico -

Es la relación entre la densidad de un cuerpo y la densidad de otra sustancia tomada como referencia i sea ($e/Cref$).

Para cuerpos sólidos y líquidos se toma como referencia el agua a temperatura de 4° C. En muchos estudios de ingeniería, el peso específico viene dado por el mismo valor numérico que la densidad en g/cm^3 pero ha de entenderse que el peso específico es una magnitud adimensional.

- Densidad Aparente -

Se representa por el símbolo (ρ_a). Es la masa total correspondiente a la unidad de volumen ocupado por el material, por ejemplo la densidad del cuarzo es de 2.65 g/cm^3 , sin embargo una arena de densidad real igual a 2.65 g/cm^3 ocupa un volumen total aparente de 2 cm^3 y se tiene por lo tanto la densidad aparente de $2.65/2 = 1.33 g/cm^3$. La densidad aparente no constituye una característica intrínseca del material puesto que varía con la distribución por tamaño de las partículas y con los cuerpos que la rodean.

La porosidad misma del cuerpo sólido, así como la materia que llena sus poros o espacios vacíos intermedios, influyen también en el valor de la densidad aparente.

Para una simple partícula de una materia no porosa, la densidad real, resulta igual a la densidad aparente.

- Dureza -

La dureza de ciertos sólidos tales como los metales y sustancias plásticas, pueden definirse como la resistencia que oponen a ser hendidos. La de los minerales suele definirse como su resistencia al rayado, y se expresa en grados de escala de Mohs.

- Fragilidad -

Expresa la facilidad con que una substancia puede resultar desmenuzada o rota - por el choque. La dureza de un material no proporciona la pauta de su fragilidad, algunas materias plásticas y el yeso son blandas y tenaces (tenacidad es la propiedad que presentan algunos materiales de resistir choques o colisiones) y en cambio no es fácil romperlos por choque. El carbón es blando y además frágil.

- Frotamiento -

El frotamiento es la resistencia que ofrece un material al deslizarse sobre - otro. El coeficiente de frotamiento es la relación entre la fuerza paralela a la su perficie de frotamiento, y en el sentido del movimiento, que es necesaria para manter una velocidad constante y la fuerza perpendicular a la superficie de frotamiento normal a la dirección del movimiento.

Solienda

El objeto de la operación de desintegración no consiste solamente en obtener "pequeños trozos" a partir de los grandes, en cuyo caso la efectividad de la operación de molienda se medirá por la finura del material obtenido, sino que también persigue la consecución de un producto que posea un determinado tamaño granular, -- comprendido entre los límites prestablecidos.

Para realizar una operación de desintegración mecánica, es necesario que cada trozo o partícula se rompa al contacto con otras partículas o por la acción directa de las partes móviles de la máquina.

Al progresar la acción desintegradora, aumenta el número de partículas, lo que exige mayor número de contactos por unidad de cantidad de substancia, (el área por la capacidad de una máquina de determinadas dimensiones, expresada por ejemplo en - ton/día será mucho menor para los tamaños granulares pequeños que para los grandes, ya que las partículas pequeñas debieron permanecer en la misma durante los períodos de tiempo más largos, para poder sufrir el número de contactos requeridos para su - desintegración.

Como ya hemos dicho, las exigencias de tamaño para diversos productos pueden - variar y de ahí que se empleen diferentes máquinas y procedimientos; así pues, la - compresión o trituración se usa para reducir sólidos duros a tamaños más o menos - grandes. El impacto produce tamaños gruesos, medianos o finos. La atrición o fro- tación produce materiales muy finos, el cortado se usa para obtener tamaños predefi- nidos.

TEORÍA DE LA PULVERIZACIÓN

Actualmente se conocen únicamente aspectos básicos del mecanismo y detalles cuantitativos de la operación de molienda, por lo cual no es predecible cómo una partícula va a ser fracturada.

Si una partícula es sometida a un impacto y se fractura, ésta producirá una de- terminada cantidad de partículas grandes, otras pequeñas y algunas de tamaño inter- medio. Si la fuerza del impacto se incrementa, las partículas grandes serán de un tamaño más pequeño y más numerosas, sin embargo las partículas pequeñas aunque aumen- tarán en número no disminuirán su tamaño en forma considerable, tal parece que el - tamaño de las partículas pequeñas están relacionadas con la estructura interna del material, y el tamaño de las partículas grandes está más estrechamente relacionado al proceso por el cual la desintegración es llevada a cabo.

La reducción de tamaño se inicia con el rompimiento de una pequeña grieta o ra- jadura que existía desde un principio, por lo tanto las partículas grandes con mayor cantidad de rajaduras se fracturan más rápidamente que las partículas pequeñas con - menos grietas o rajaduras.

La molienda muy fina generalmente requiere de mayor energía, no únicamente - debido al incremento de la nueva superficie sino también porque se necesita más - energía para iniciar el rompimiento.

Para cualquier partícula existe una energía mínima de fractura, sin embargo - las condiciones son tan impredecibles que muchas partículas reciben impactos que - no son suficientes para fracturarlas y son eventualmente fracturadas por un golpe violento. Como resultado los más eficientes molinos utilizan menos del 1% de su - energía en fracturar partículas y crear nuevas superficies. El resto de la energía es utilizada en:

- 1.- Deformación elástica de partículas no fracturadas.
- 2.- Transportar el material dentro del área de molienda.
- 3.- Fricción entre partículas.
- 4.- Fricción entre las partículas y el molino.
- 5.- Calor.
- 6.- Vibración y Ruido.
- 7.- Ineficiencia de la transmisión y el molino.

Si la fuerza del impacto no es mayor que el límite elástico, el material sólo se deforma pero no se fractura. Cuando se remueve la fuerza, la partícula regresa a su estado original y la energía mecánica de tensión en la molécula deformada, - aparece como calor.

Una fuerza que excede el límite elástico fractura la partícula. Normalmente las superficies de las partículas son irregulares por lo tanto la fuerza es inicialmente aplicada sobre la parte más alta de la superficie y como resultado las tensiones y aumentos de temperatura ocurren en esta parte de la partícula.

Cuando la fractura ocurre, los puntos de aplicación de la fuerza aumentan. La energía para las nuevas superficies es proporcionada por la liberación de energía de tensión. El exceso de energía de la nueva superficie aparece como calor.

Cualquier debilitamiento estructural puede convertirse en una grieta o rajadura al aplicarse una presión. Se ha propuesto que cualquier fuerza produce un debilitamiento en la partícula.

Una partícula absorbe la energía de tensión o presión sobre ella y se deforma hasta que la presión excede el límite elástico en la parte más débil de la molécula y ésta se fractura.

La energía necesaria para la fractura es proporcional a la longitud de la hendidura formada, ya que la energía adicional necesaria para extender la hendidura a fractura es proporcionada por el flujo de energía de la tensión restante alrededor de la hendidura.

El punto más débil en una partícula determina su fuerza de fractura, esto controla el número de partículas producidas al fracturarse.

Las partículas con mayor debilitamiento en su estructura, se fracturan más fácilmente y producen partículas mayores o de tamaño más grande, sin embargo no son necesariamente más fáciles de moler a un determinado tamaño ya que estas pueden requerir un mayor número de etapas de fractura que las partículas del mismo tamaño pero cuyo debilitamiento estructural es más fuerte o resistente.

El objetivo inmediato de molienda, consiste en formar hendiduras que se extienden a través de las partículas a expensas de la energía de tensión y producir fractura. El trabajo útil directamente proporcional al área de la nueva superficie; ya que la longitud de la hendidura es proporcional a la raíz cuadrada del área de la nueva superficie producida, el trabajo útil es inversamente proporcional a la raíz cuadrada del diámetro el producto menos el diámetro de la alimentación.

La energía E empleada en producir una nueva superficie es la siguiente:

$$E = E_i \left(\frac{D_1}{D_1 - D_2} \right)$$

Donde:

- D_1 : Diámetro del material de alimentación al molino.
- D_2 : Diámetro del producto descargado o arrojado al molino.
- E_i : Energía de entrada.

La eficiencia de un proceso de molienda está influenciada por la naturaleza de la fuerza, así como su magnitud. El grado de la fuerza de aplicación afecta la pulverización ya que existe una pérdida de tiempo entre el logro u obtención de fuerza máxima y la fractura.

Frecuentemente los sólidos se comportan como materiales quebradizos ante un impacto rápido y como materiales plásticos ante un impacto lento.

A mayor grado de fuerza de aplicación, la eficiencia de la energía es menor, y es mayor la proporción de partículas pequeñas producidas conforme se incrementa el grado de molienda. Producir una nueva superficie en milisegundos requiere de 3 ó 4 veces la cantidad de energía necesaria para producir esta misma superficie en segundos.

ENERGÍA DE MOLLIENDA

Las diversas teorías o leyes que se han postulado para predecir los requerimientos de potencia en la reducción de los sólidos no producen muy buenos resultados en la práctica.

Las teorías deducidas dependen de la suposición de que la energía E requerida para producir un cambio dx en una partícula de tamaño X es una función exponencial de X .

$$\frac{dE}{dx} = \frac{C}{(X)^n} \quad (1) \quad Ec.$$

donde X es el tamaño de la partícula en mm y n y C son constantes que dependen del tipo y tamaño del material y del tipo de máquina.

Tittingen propuso una ley que enuncia que el trabajo de trituración es proporcional a la nueva superficie creada, esto conduce a un valor de $n=2$ para la ecuación (1) puesto que el área es proporcional a la longitud al cuadrado.

Integrando la ecuación (1) tenemos lo siguiente:

$$E = \frac{C}{n-1} \left[\frac{1}{X_1} - \frac{1}{X_2} \right] \quad Ec. (2)$$

en donde X_1 es el diámetro medio de la alimentación y X_2 es el diámetro medio del producto. Puesto que en la ecuación de Ritigen $n=2$, tenemos que:

$$E = K \left[\frac{1}{X_1} - \frac{1}{X_2} \right] \quad Ec. (3)$$

donde E es el trabajo para reducir una unidad de masa de alimentación desde X_1 hasta X_2 y K es una constante.

Esta ley implica que se necesita la misma cantidad de energía para reducir un material de 100 mm a 50 mm como lo que se requiere para reducir el mismo material de 50 a 33.3 mm.

Experimentalmente se ha demostrado que esta ley tiene bastante validez en la molienda de polvos finos.

Kick supuso que la energía requerida para reducir el tamaño de un material es directamente proporcional a la relación de reducción de tamaño. Esto significa que $n=1$ en la Ec. (1) produce la siguiente expresión.

$$E = C \log \frac{X_2}{X_1} = K \log \frac{X_2}{X_1} \quad \text{Ec. (4)}$$

donde K es una constante. De acuerdo con esta ley, se necesita la misma energía para reducir un material de 100 mm que para reducir el mismo material de 50 mm a 25 mm.

Datos recientes obtenidos por Bond correlacionando valores experimentales, indican que el trabajo requerido cuando se usa una alimentación de tamaño considerable, es proporcional a la raíz cuadrada de la relación superficie/volumen del producto. Esto corresponde a $n=1.5$ en la Ec. (1), con la cual se obtiene la expresión:

$$C = K \frac{1}{(X)} \quad \text{Ec. (5)}$$

en donde K es constante. Para usar la Ec. (5) Bond propuso un índice de trabajo E_i , que se define como el trabajo en $Kw \cdot Hr/Ton$ que se requiere para reducir una unidad de peso desde un tamaño tal que el 80% pase por un tamiz de 100 mm. Entonces el trabajo bruto E es el trabajo que se requiere para reducir una unidad de peso de la alimentación desde un tamaño para que el 80% pase por X mm.

La ecuación final de Bond, en términos de unidades más conocida es:

$$\frac{P}{T} = 1.46 E_i \quad \frac{1}{D_p} - \frac{1}{D_i}$$

donde P está en hp T es la velocidad de alimentación en Ton/min, D_i es el tamaño de la alimentación en pies y D_p es el tamaño del producto en pies.

II DISEÑO DEL EXPERIMENTO

II.1 LA NATURALEZA DE LAS TINTAS

Las tintas que se utilizan en la impresión de rotograbado y flexografía están íntimamente relacionadas con lacas pigmentadas. Generalmente están compuestas de una o más resinas y aditivos, los cuales forman el vehículo del pigmento que proporcionan color a la tinta.

Algunas tintas, son opacas y algunas otras son formuladas para proporcionar - efectos de transparencia o semitransparencia.

Estas tintas se encuentran catalogadas en categorías de acuerdo a la resina - de la cual se componen, algunos tipos más comunes son:

- 1.- Nitrocelulósicas.
- 2.- Poliamídicas.
- 3.- Acrílicas.
- 4.- Shellac.
- 5.- Etil celulósicas.
- 6.- Butirato.
- 7.- Vinílicas.

Ocasionalmente se utilizan los sistemas epoxipoliamidas y poliéster-uretano, estas son formulaciones muy especiales y por lo tanto menos comunes.

Existen numerosas variaciones dentro de cada una de estas categorías básicas de tintas ya que las resinas son usualmente características en la formulación de una tinta. Las resinas y aditivos modificadores son usados por varias razones como por ejemplo:

- Mejorar adhesión al sustrato.
- Proporcionar humedad al pigmento.
- Incrementar sólidos.
- Proporcionar mayor flexibilidad.
- Mayor rapidez de evaporación del solvente.
- Mejorar el deslizamiento.
- Incrementar brillantez.
- Mejorar la resistencia a la abrasividad.

- Mejorar resistencia al agua y aceite y otras sustancias
- Aumentar resistencia al calor
- Proporcionar mejor transferencia

Los solventes utilizados en las formulaciones de tintas, son por lo general mezclas calculadas para mantener uniformidad en la solución de los sólidos y viscosidad durante la etapa de impresión y después proporcionar un secado rápido y completo. Las mezclas de solventes pueden ser manipuladas para proporcionar secados lentos o rápidos, mejor transferencia y lento o rápido fluideo antes que una tinta sea aplicada.

Los solventes utilizadas varían de acuerdo al sustrato a imprimir.

El proceso flexográfico, ya que utiliza bandas de plástico, se ve severamente limitado en la variedad de tintas que pueden utilizarse.

II.2 ELECCIÓN DE MATERIAS PRIMAS

El primer paso para el diseño de este experimento fue la elección de las materias primas necesarias. En primer lugar se evaluaron las resinas, que son el vehículo de transporte de los pigmentos.

Se evaluaron varias resinas: acrílicas, alifáticas y poliámidas y para la elección se tomaron en cuenta los siguientes factores:

- 1.- **Compatibilidad:** Al hablar de compatibilidad, se refiere a la adherencia de la resina, al sustrato sobre el que se va a imprimir, así como pegajosidad y flexibilidad, que consiste en el grado de maleabilidad de la resina, característica muy importante en este caso ya que la fiabilidad de las tintas es la impresión de empaque flexible.
- 2.- **Facilidad de Obtención:** Esto es la disponibilidad de las resinas en el mercado.
- 3.- **Costo**

En base a las consideraciones anteriores, se decidió por las resinas poliámidas de cosolventes, esto es que se necesita más de un solvente para disolverla.

Posteriormente se efectuó la elección de los solventes, cuya función dentro de la tinta es depositada en el sustrato, los solventes deben ser evacuados de la capa de tinta para que se produzca una impresión seca.

Se buscó una mezcla de solventes, que al mismo tiempo que solubilizara la resina tuviera un rango de evaporación adecuado, esto es ni muy rápido ni demasiado lento, ya que ambas situaciones producen defectos de impresión, como por ejemplo:

a) Secado muy rápido :

- aceptación pobre de la siguiente tinta en una impresión multicolor.
- se tapan los grabados.
- aumento de viscosidad en la fuente.

b) Secado muy lento:

- sombreado(rastreo) se pega la tinta en los rodillos transportadores.
- bloqueo, la película impresa se pega una con otra debido a que la tinta no está totalmente seca.
- olor residual, solventes retenidos.

En base a las consideraciones anteriores, y a la necesidad de tener más de un solvente para solubilizar la resina, se decide utilizar el alcohol isopropílico, heptano y acetato de etilo, cuyas propiedades aparecen en el apéndice I.

El porcentaje de cada uno en la mezcla de solventes, se eligió disolviendo resinas en mezclas con diferentes proporciones de solventes, y a continuación se mantuvo el barniz a una temperatura de 10° C durante un período de 12 horas, esto con el objeto de observar si se formaba gel, esto es si la resina continuaba siendo soluble a baja temperatura.

Los resultados de estas pruebas conducen a la elección de la siguiente mezcla

Alcohol Isopropílico	40%
Heptano	40%
Acetato de Etilo	20%

Los porcentajes se refieren a tanto por ciento en peso.

Por último se eligió el pigmento, para lo cual se consideró tono, resistencia a la luz, resistencia al sangrado, así como precio o costo ya que el pigmento es el componente más caro de la tinta. Así pues, se eligió el amarillo cromo cuya composición química es básicamente sulfato de Zinc.

Una vez hecha la elección de las materias primas, se intentará resolver el problema de optimizar las condiciones de operación para obtener los resultados deseados.

El poder cubriente de los pigmentos, así como el brillo de la tinta resultante, se ven grandemente influenciados por el tamaño de partículas del pigmento.

Cualquier estudio sobre el comportamiento del equipo de separación por tamaños o el de machacado o molido, implica la determinación de material de diferentes tamaños que hay presente.

Para esto hay diferentes métodos, según el tamaño o fineza que se requieran, puede ser por medio de tamices, examen microscópico, sedimentación, etc.

c) METODOLOGÍA

Método Simplex-Evop

En la industria de tintas, comúnmente se determina el tamaño de partículas valiéndose de un medidor de molienda (Grindometer), el cual consiste en una placa de acero, la cual contiene dos canales con diferentes profundidades grabadas desde 0 hasta 10 micras.

El procedimiento de prueba consiste en depositar unas gotas de tinta sobre uno de los canales y esparcirla sobre el mismo por medio de una regleta de acero. Una vez hecho el arrastre, éste se verá rayado a determinada altura, indicando - con esto el tamaño de partícula.

En las pruebas se aceptarán lotes con un tamaño de partículas = 1.5 micras y el tamaño de los lotes será de 200 kg.

Se manejarán 4 variables:

- X_1 = Concentración de pigmento, la cual estará dada por el porcentaje en peso del pigmento en el concentrado, el cual está formado por la base de molienda y el pigmento.
- X_2 = Concentración de la base de molienda: la base de molienda es el barniz que es el vehículo en el que se dispersa el pigmento. Al hablar de concentración de la base de molienda nos referimos al % en peso de resina en el barniz.
- X_3 = Tiempo de Dispersión: Tiempo que durará el concentrado en el dispersor de alta velocidad.
- X_4 = Caudal de alimentación: Será el caudal de la bomba alimentadora en kg/h.

Los rangos que se manejarán en las variables serán las siguientes:

$$\begin{array}{ll} X_1 = 10\% & X_2 = 10\% \\ X_3 = 5 \text{ min} & X_4 = 20 \text{ kg/h} \end{array}$$

Valiéndose del Método Simplex-Evop se intentará determinar, qué valores deben tener estas variables para minimizar el tiempo de molienda (Y)

$$Y = f (x_1 , x_2 , x_3 , \text{ y } x_4)$$

El procedimiento a efectuar para cada una de las pruebas será el siguiente:

- PASO 1:** Se pasarán los solventes y la resina en un perol y se someterán a agitación en el dispersor de alta velocidad.
- PASO 2:** Una vez hecha la disolución de la resina se agregará el pigmento en el barniz.
- PASO 3:** Se procederá a pasar el concentrado por el molino.

- 1.- Experimento origen.- Datos a partir de los cuales se diseñará el experimento.
- 2.- Límites de variación permitidos por cada variable. $X (1,2,3,\dots,n)$ n= número de variables operativas. Definir rangos.
- 3.- Diseñar corrida inicial.

Matriz de Diseño Simplex-Evop

Exper #	X_1	X_2	X_3	X_4	...	X_n
1	-r	-r	-r	-r	...	-rn
2	+r	-r	-r	-r	...	-rn
3	0	+2r	-r	-r	...	-rn
4	0	0	+3r	-r	...	-rn
n	0	0	0	0	...	+ rn

- 4.- Se realizan los experimentos propuestos para la matriz.

5.- Se refleja el experimento de mayor Y (porque se desea minimizar tiempo)

a) Se cancela el experimento de mayor Y.

b) Se calcula el promedio de los restantes no cancelados

c) Se duplica el promedio

$$PD_1 = 2 X_1$$

$$PD_2 = 2 X_2$$

$$PD_3 = 2 X_3$$

$$PD_4 = 2 X_4$$

d) El promedio duplicado se resta el cancelado

$$X_1 = PD_1 - X_1$$

$$X_2 = PD_2 - X_2$$

$$X_3 = PD_3 - X_3$$

$$X_4 = PD_4 - X_4$$

6.- Ahora se tienen las coordenadas del punto reflejado.
Se realiza el experimento: = Y

7.- Volver al paso 5 hasta encontrar el óptimo.

* Si el reflejado da otra vez un experimento ya efectuado, se reflejará no el menor, sino el siguiente.

* Si ya todos reflejan experimentos ya realizados, se toma el mejor (Y MENOR) y se le considera como experimento origen, es decir se ajusta con los rangos y se vuelve a repetir el proceso.

III.- DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

El equipo de trabajo consiste en un molino de perlas y un dispersor de alta velocidad, mismos que aparecen en los diagramas III-1 y III-2 respectivamente.

a) MOLINO

1) Base de acero donde se encuentra montado el cabezal, la cuba y el grupo de bombeo.

2) Cuba de molienda, comprendida por lo siguiente:

- Cilindro de molienda, consistente en un tubo de acero en aleación especial, de alta resistencia al desgaste.
- Doble camisa para refrigeración o calefacción.
- Tapa de cierre con orificios para la entrada del producto, manómetro para control de la presión y boca inferior para vaciados de elementos molidos.
- Arbol de molienda, apoyado en el cabezal y sobre el cual están montadas el tamiz y los discos de molienda.

3) Grupo de Bombeo.

Está formado por un grupo compacto moto-variador-reductor, montado en un lateral de la máquina, el cual acciona una bomba de engranes que alimenta la cuba de molienda.

La presión de la cuba de molienda está protegida por un presostato, que según su graduación pone en marcha o para el grupo de bombeo.

4) Transmisión.

- Motor eléctrico antiexplosivo montado sobre placa, tensor y polea motriz.
- Transmisión al cabezal mediante tres correas trapezoidales.
- Polea receptora montada en el eje del cabezal.
- Las poleas motriz y receptora son de dos diámetros diferentes cada una de ellas, con la que se pueden seleccionar dos velocidades diferentes de funcionamiento que son 10 y 15 m/s

5) Tamiz

El producto sale al exterior a través de un tamiz cilíndrico con ranuras circulares. La función del tamiz es la de retener en el interior de la cuba los elementos de molienda del producto molido.

6) Sistema de refrigeración.

Tiene lugar a través de un círculo formado por una bomba de membrana, accionada por excéntrica, montada sobre el eje de molienda y depósito con las conducciones de llegada de líquido refrigerante al sello y retorno al depósito.

Al conectar la máquina se ponen automáticamente en marcha la refrigeración - del sello, de forma que en ningún caso pueda girar en seco, lo cual impide el eventual deterioro del labio del sello por falta de lubricación.

7) Elementos Molturantes.

Perlas de vidrio de alta resistencia, no es necesario utilizar una mezcla de bolas. Pueden utilizarse de un diámetro determinado, ello depende de la viscosidad y granulometría del producto a moler. Generalmente para moliendas muy finas, resulta preferible un elemento molturante de diámetro pequeño. Por el contrario, si la granulación del producto a procesar es elevada, es conveniente utilizar elementos molturantes de mayor diámetro o densidad.

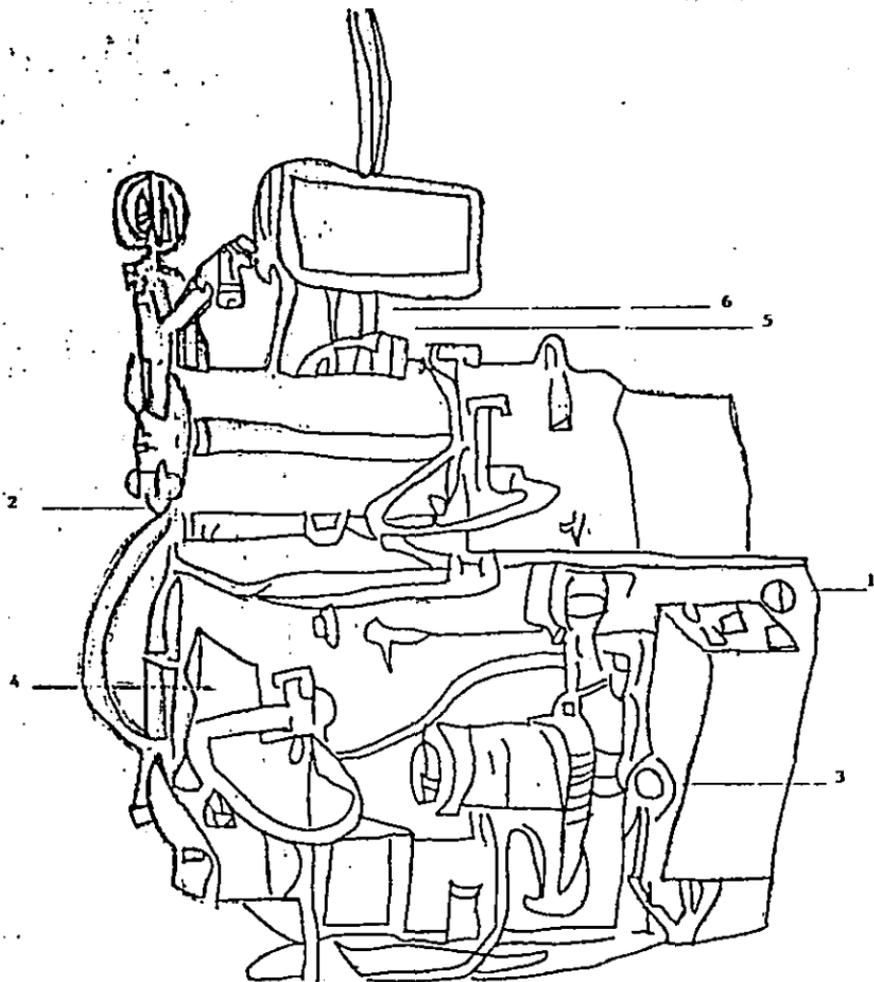
b) DISPERSOR DE ALTA VELOCIDAD

El dispersor que se muestra en el diagrama III-2, no es otra cosa que un mezclador con motor a prueba de explosión, trifásico y de alta velocidad.

El disco dispersor, fabricado de acero inoxidable (1), va sujeto a una flecha del mismo material (2), la cual se mueve hacia arriba y hacia abajo por medio de un elevador neumático(3).

La velocidad de rotación, regulable manualmente, se puede variar entre 800 y 2125 RPM.

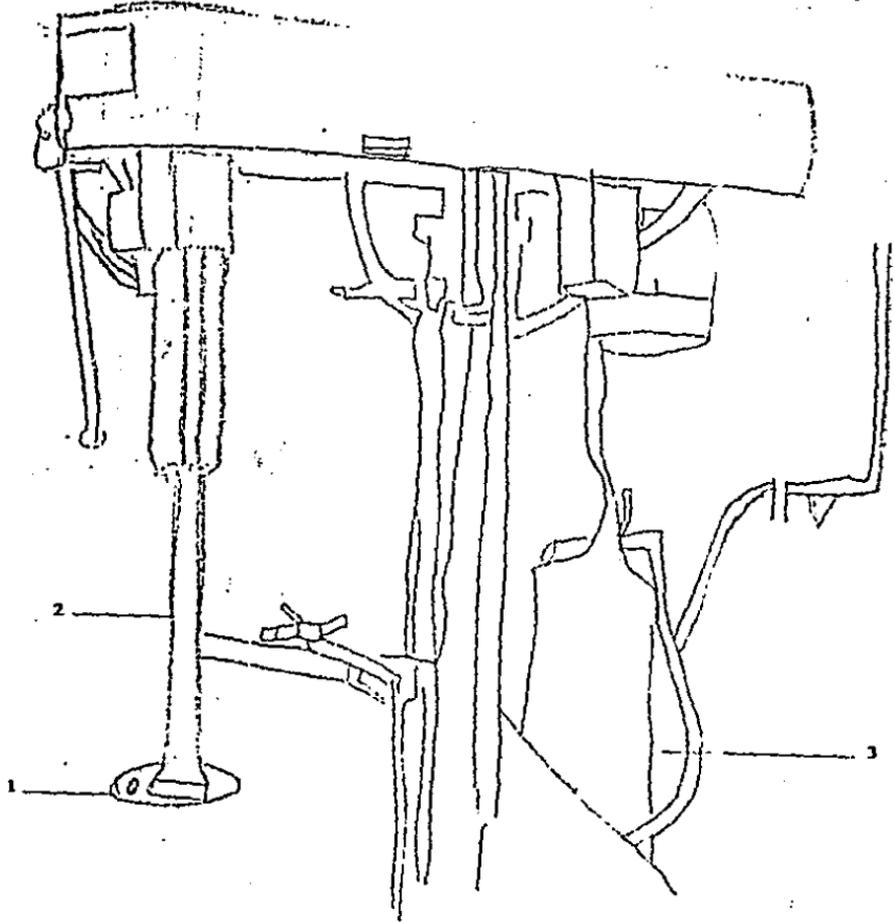
El aparato cuenta además con un tacómetro y un amperímetro que facilita el control de la operación.



- 1.- BASE DE ACERO
- 2.- MOLIENDA
- 3.- GRUPO DE BOMBEO
- 4.- TRANSMISIÓN
- 5.- TAMIZ
- 6.- SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

MOLINO DE PERLAS

DIAGRAMA III-1



- 1.- DISCO DISPERSOR
- 2.- FLECHA
- 3.- ELEVADOR NEUMATICO

DISPERSOR DE ALTA TENSION
DIAGRAMA III-2

IV CALCULOS Y RESULTADOS

El experimento origen es:

$$x_1 = 50 \quad x_2 = 42 \quad x_3 = 20 \quad x_4 = 300 \quad Y = 2.66$$

Así pues la matriz inicial será la siguiente:

MATRIZ DE DISEÑO SIMPLEX - EVOP

Exper #	x_1	x_2	x_3	x_4	Y
1	40	32	15	280	
2	60	32	15	280	
3	50	52	35	280	
4	50	42	35	280	
5	50	42	20	380	

Exper #	x_1	x_2	x_3	x_4	Y
1	40	32	15	280	2.07
2	60	32	15	280	2.81
3	50	52	35	280	2.68
4	50	42	35	280	1.21
5	50	42	20	380	1.35

El experimento # 2 (renglón 2) muestra un mayor tiempo de molienda, por lo tanto es el que se reflejará.

- 1.- Se calcula el promedio de los experimentos restantes no reflejados (x_1, x_2, \dots, x_n)

$$\begin{array}{cccc}
 \bar{x}_1 & \bar{x}_2 & \bar{x}_3 & \bar{x}_4 \\
 \hline
 47.5 & 42 & 21.25 & 305
 \end{array}$$

- 2.- Se duplica el promedio

$$\begin{array}{cccc}
 2\bar{x}_1 & 2\bar{x}_2 & 2\bar{x}_3 & 2\bar{x}_4 \\
 \hline
 95 & 84 & 42.5 & 610
 \end{array}$$

- 3.- Al promedio duplicado se le resta el cancelado

$$\begin{aligned}
 x_1 &= 95 - 60 = 35 \\
 x_2 &= 84 - 32 = 52 \\
 x_3 &= 42.5 - 15 = 27.5 \\
 x_4 &= 610 - 280 = 330
 \end{aligned}$$

Por lo tanto las nuevas condiciones de operación para el experimento # 6 serán:

x_1	x_2	x_3	x_4
35	52	27.5	330

Después de efectuado el experimento, la matriz es la siguiente:

Exper #	x_1	x_2	x_3	x_4	Y
1	40	32	15	280	2.07
3	50	52	35	280	2.68
4	50	42	35	280	1.21
5	50	42	20	380	1.35
6	35	52	27.5	330	2.18

Reflejando el experimento #3 y repitiendo el procedimiento anterior se tiene:

- 1.- Se calcula el promedio de los experimentos restantes no reflejados
 ($\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_4$)

$$\begin{array}{cccc}
 \bar{x}_1 & \bar{x}_2 & \bar{x}_3 & \bar{x}_4 \\
 \hline
 43.75 & 42 & 24.375 & 317.500
 \end{array}$$

- 2.- Se duplica el promedio

$$\begin{array}{cccc}
 2\bar{x}_1 & 2\bar{x}_2 & 2\bar{x}_3 & 2\bar{x}_4 \\
 \hline
 87.5 & 84 & 48.75 & 635
 \end{array}$$

3.- Al promedio duplicado se le resta el cancelado.

$$\begin{aligned}x_1 &= 87.5 - 50 = 37.5 \\x_2 &= 84 - 52 = 32 \\x_3 &= 48.75 - 15 = 33.75 \\x_4 &= 635 - 280 = 355\end{aligned}$$

Así pues las condiciones de operación para el experimento # 7 son:

x_1	x_2	x_3	x_4
37.5	32	33.75	355

Después de efectuado el experimento la matriz es la siguiente:

MATRIZ DE DISEÑO

Exper #	x_1	x_2	x_3	x_4	Y
1	40	32	15	280	2.07
4	50	42	35	280	1.21
5	50	42	20	380	1.35
6	35	52	27.5	330	2.18
7	37.5	32	33.75	335	1.90

Reflejando el experimento #6 (renglón 4) y repitiendo el algoritmo del Simplex-Evop se tiene:

- 1.- Se calcula el promedio de los experimentos restantes no reflejados
 (x_1, x_2, \dots, x_4)

\bar{x}_1	\bar{x}_2	\bar{x}_3	\bar{x}_4
44.375	37	25.938	323.75

- 2.- Se duplica el promedio

$2\bar{x}_1$	$2\bar{x}_2$	$2\bar{x}_3$	$2\bar{x}_4$
88.75	74	51.876	647.50

3.- Al promedio duplicado se le resta el cancelado.

$$x_1 = 88.75 - 35 = 53.75$$

$$x_2 = 84 - 52 = 22$$

$$x_3 = 48.75 - 27.5 = 24.376$$

$$x_4 = 635 - 33.75 = 317.5$$

Así pues las condiciones de operación para el experimento # 8 son:

x_1	x_2	x_3	x_4
53.75	22	24.376	317.5

Después de realizado el experimento la matriz es:

MATRIZ DE DISEÑO

Exper #	x_1	x_2	x_3	x_4	Y
1	40	32	15	280	2.07
4	50	42	35	280	1.21
5	50	42	20	380	1.35
7	37.5	32	33.75	335	1.90
8	53.75	22	24.376	317.5	2.92

Reflejando el experimento #8 (runión 5) y repitiendo el algoritmo se tiene:

- 1.- Se calcula el promedio de los experimentos restantes no reflejados
(x_1, x_2, \dots, x_4)

$$\begin{array}{cccc}
 \bar{x}_1 & \bar{x}_2 & \bar{x}_3 & \bar{x}_4 \\
 \hline
 44.375 & 37 & 25.938 & 323.75
 \end{array}$$

- 2.- Se duplica el promedio.

$$\begin{array}{cccc}
 2\bar{x}_1 & 2\bar{x}_2 & 2\bar{x}_3 & 2\bar{x}_4 \\
 \hline
 88.75 & 74 & 51.876 & 647.50
 \end{array}$$

3.- Al promedio duplicado se le resta el cancelado

$$x_1 = 88.75 - 53.75 = 35$$

$$x_2 = 74 - 22 = 52$$

$$x_3 = 51.872 - 24.376 = 27.496$$

$$x_4 = 647.5 - 317.5 = 330$$

Así pues las condiciones de operación para el experimento # 9 son:

x_1	x_2	x_3	x_4
35	52	27.496	330

Como se ve, las condiciones que se obtuvieron son las mismas que para el experimento No. 6, por lo tanto se tomará el experimento No. 7 como experimento origen; se ajustarán los rangos y se procederá nuevamente con el algoritmo.

Así pues, se tiene el experimento origen:

$$x_1 = 35$$

$$x_2 = 52$$

$$x_3 = 27.5$$

$$x_4 = 330$$

Y los rangos a manejar son:

$$\begin{aligned}x_1 &= 5 \text{ \%} \\x_2 &= 5 \text{ \%} \\x_3 &= 2.5 \text{ min} \\x_4 &= 10 \text{ kg/h}\end{aligned}$$

Por lo tanto la matriz será:

MATRIZ ORIGEN

Exper #	x_1	x_2	x_3	x_4	Y
1	30	47	25	320	1.30
2	40	47	25	320	1.32
3	35	62	25	320	1.63
4	35	52	35	320	1.41
5	35	52	27.5	370	1.75

El tiempo de molienda para el experimento No. 1 es el mayor, por lo tanto será el experimento a reflejar.

Siguiendo el algoritmo del Simplex-Evop se tiene:

- 1.- Se calcula el promedio de los experimentos restantes no reflejados. (x_1, x_2, \dots, x_n)

$$\begin{array}{cccc}x_1 & x_2 & x_3 & x_4 \\ \hline 36.25 & 53.25 & 28.125 & 332.5\end{array}$$

2.- Se duplica el promedio.

$2\bar{x}_1$	$2\bar{x}_2$	$2\bar{x}_3$	$2\bar{x}_4$
72.5	106.5	56.25	* 665

3.- Al promedio duplicado se le resta el cancel. ado.

$x_1 =$	72.5	- 30	= 42.5
$x_2 =$	106.5	- 47	= 59.5
$x_3 =$	56.25	- 25	= 31.25
$x_4 =$	665	- 320	= 345

Así pues las condiciones de operación para el experimento No. 6 son:

x_1	x_2	x_3	x_4
42.5	59.5	31.25	345

Después de realizado el experimento la matriz es la siguiente:

Exper #	x_1	x_2	x_3	x_4	Y
2	40	47	25	320	1.32
3	35	62	25	320	1.63
4	35	52	35	320	1.41
5	35	52	27.5	370	1.75
6	42.5	59.5	31.25	345	2.05

En este caso el experimento a reflejar es el No. 6

Siguiendo el algoritmo del Simplex-Evop se tiene:

- 1.- Se calcula el promedio de los experimentos restantes no reflejados
(x_1, x_2, \dots, x_4)

x_1	x_2	x_3	x_4
36.25	53.25	28.125	332.5

2.- Se duplica el promedio

$2X_1$	$2X_2$	$2X_3$	$2X_4$
72.5	106.5	562.5	665

3.- Al promedio duplicado restamos el cancelado

$$X_1 = 72.5 - 42.5 = 30$$

$$X_2 = 106.5 - 59.5 = 47$$

$$X_3 = 562.5 - 31.25 = 25$$

$$X_4 = 665 - 345 = 320$$

Así pues, las nuevas condiciones de operación son:

X_1	X_2	X_3	X_4
30	47	25	320

Después de realizado el experimento se tiene la siguiente matriz

EXPERIMENTO	X_1	X_2	X_3	X_4	Y
2	40	47	25	320	1.32
3	35	62	25	320	1.63
4	35	52	35	320	1.41
5	35	52	27.5	370	1.75
7	30	47	25	320	1.82

Las condiciones del experimento número 7, ya se habían evaluado en el primer experimento de esta segunda serie de pruebas, por lo que considerando la poca variación en las condiciones de operación después de cada prueba, se considera que se tienen suficientes datos para determinar las nuevas condiciones de operación.

COMENTARIOS

Se realizaron en total 15 pruebas con diferentes condiciones de operación y durante los cuales se pudo absorber lo siguiente:

- 1.- En aquellas pruebas en que se utilizaba una concentración muy alta de sólidos, la viscosidad del concentrado era tan alta que no era fácilmente succionado por el molino.
- 2.- Las pruebas en las que la concentración de resina era mayor a un 50% se presentaron problemas de gelado, esto es, la resina perdía su solubilidad al bajar la temperatura del concentrado, con los consecuentes problemas para su utilización.
- 3.- Las ocasiones en que se trabajó con concentraciones muy bajas de sólidos, el concentrado era demasiado líquido y no se efectuaba una buena molienda, además de que la tinta resultante tenía muy poca viscosidad, lo que ocasiona un bajo rendimiento al consumidor de la tinta.
- 4.- En las ocasiones en que se intentó trabajar a velocidades de alimentación mayores de 305 kg/h se presentaron problemas de operación con el molino, siendo un tanto difícil controlar la alimentación y variando ésta en cada pasado.

DISCUSION DE RESULTADOS

El proceso de dispersión y molienda de un pigmento en una masa fluida de - alta viscosidad, involucra la mejor relación en las cantidades de: vehículo, - solvente y pigmento, así como la selección del equipo a utilizar.

La viscosidad de la base de molienda influye significativamente en la calidad de la dispersión del pigmento, por lo tanto debe usarse solo la cantidad de solvente suficiente para dar un buen flujo en la base de molienda.

En este caso, el proceso de molienda tuvo dos etapas, la primera durante el proceso de agitación en el cual se llevan a cabo una dispersión transmitiendo - esfuerzo cortante desde la periferia del disco impulsor, hacia las partículas - del pigmento. El esfuerzo se transmite a través de la pasta misma y es en realidad lo que quiebra los aglomerados (ver apéndice II donde se mencionan algunas de las variables que influyen en este proceso), en algunas ocasiones como por ejemplo cuando se trabaja con bióxido de titanio, este proceso es suficiente para alcanzar el tamaño de partícula necesario para la elaboración de las - tintas, sin embargo debido a la dureza del amarillo cromo, una vez hecha una dispersión y homogeneización de la mezcla, es necesario continuar con la reducción de tamaño de las partículas por medio del molino de perlas.

En el molino de perlas, la reducción de tamaño se hace mediante el esfuerzo cortante transmitido por los discos al girar, así como por el impacto directo - de las perlas contra las partículas de pigmento.

Estos dos factores se ven afectados por la viscosidad de la base de molienda, la cual está directamente relacionada con la productividad, y debido a ella se intentó encontrar el punto o valor óptimo de viscosidad para trabajar.

RESUMEN

El objetivo de esta tesis fue minimizar el tiempo de molienda de los concentrados en una fábrica de tintas. El primer paso de este trabajo fue la elección de las materias primas a utilizar para la formulación de los concentrados, los cuales están compuestos por: resina, solventes y pigmentos, utilizándose en este caso:

- resina poliamídica de cosolventes
- acetato de etilo, heptano y alcohol isopropílico como solventes

Una vez escogidas las materias primas se procedió a buscar las condiciones óptimas de operación para minimizar el tiempo de molienda, utilizándose para la evaluación de los resultados el método Simplex-Evop.

La rutina de trabajo fue la siguiente:

- a) Preparación de la base de molienda, formada por resina y solventes.
- b) Preparación del concentrado de color agregando el pigmento a la base de molienda.
- c) Dispersión del concentrado
- d) Molienda del concentrado
- e) Evaluación del tamaño de partícula del concentrado

Posteriormente se procedió a la evaluación y discusión de resultados, para determinar las condiciones óptimas de operación para el equipo con que cuenta la planta.

CONCLUSIONES

Como se mencionó en un principio, los objetivos de esta tesis fueron el encontrar la relación pigmento-vehículo y las condiciones de operación para obtener la máxima productividad con una buena calidad.

Con referencia a la relación pigmento-vehículo se concluye lo siguiente:

1.- La concentración de sólidos debe ser lo más alta posible de forma que la fricción entre ellos haga más eficiente el proceso, sin embargo se ve limitada por los siguientes factores:

- a) Se debe tener una relación vehículo pigmento tal que garantice el resultado final de la tinta.
- b) La relación resina solvente, no puede ser tan alta para no tener el problema de gelado (la resina pierde su solubilidad al enfriarse después de la fase de dispersión).
- c) La viscosidad del concentrado debe ser tal que permita que ésta sea succionada por la bomba del molino y que facilite la operación del mismo.

2.- El tiempo de Dispersión debe ser lo suficientemente largo para permitir la total disolución de la resina y permitir la incorporación y homogeneización del pigmento al vehículo.

Respecto a las condiciones de operación después de realizadas las pruebas se encontraron como óptimas las utilizadas durante la prueba No. 4:

- Concentración de pigmento	50%
- Concentración de la base de molienda	42%
- Tiempo de dispersión	15 min
- Velocidad de Alimentación	280 kg/h

En algunos casos el tiempo sumado de molienda y el tiempo de dispersión fue menor que las condiciones que se eligieron como óptimas, pero en algunas ocasiones se presentó el problema de gelado y en otras de aplicación del concentrado a la tinta, no fue con la calidad deseada.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

BIBLIOGRAFÍA

- BADGEL Walter L. Banchem Julius T.
Introducción a la Ingeniería Química
Editorial Mc Graw Hill
la Edición 1977
- BENETSEN JHON
La Viscosidad y el Manejo Adecuado de la Tinta
Graymills Corporation
- BROWN GEORGE G.
Operaciones Básicas de la Ingeniería Química
- KERMERDING JACK
The Roles of Technology in Improve Flexo-Process Printing
Converters Ink Company 1985
- PARROY EUGENE L.
Principles of Pharmaceutical Processing
- PERRY ROBERT H. CHILTON CECIL H.
Manual del Ingeniero Químico
- The Nature of Adhesive and Coating Materials
Morton Chemical Corporation

APÉNDICE I

PROPIEDADES DE LOS SOLVENTES

SOLVENTE	GRADO DE EVA- PORACIÓN RELA- TIVA DE ACETA- TO DE	GRAVEDAD ESPECÍFICA 20/20 C	PUNTO DE EBULLICIÓN A 20 C	SOLUBILIDAD A 20 C % EN		PUNTO FLASH F COPA TAG ABIERTA
				PESO SOL- VENTE H O	H O SOL- VENTE	
Alcohol Iso propílico	212	0.786	81	Com	Com	55
Acetato de Etilo	550	0.902	76	5.5	3.3	30
Heptano	580	0.782	94	(.01)	.01	25

* 60/60 F.

* Copa Tag Cerrada

Compilado por T.C. Drakos y R.L. Mc. Tague; revisado y actualizado por S.A. Yuhas Jr. Exxon Chemical Co. U.S.A. 1333 W. Loop South Houston, Tex.

APÉNDICE II

INFLUENCIA DE LAS VARIABLES DEL SISTEMA EQUIPO-BASE DE MOLIENDA EN LA DISPERSIÓN

VARIABLE	INFLUENCIA
Diámetro de disco Ø	Proporcional a la velocidad periférica
Diámetro del recipiente	Inversa a la transmisión de esfuerzo - cortante.
Viscosidad de la Resina	Directa a la viscosidad de la base de molienda.
Sólidos de Resina	Directa en el poder de Humectación del Pigmento.