



300618  
UNIVERSIDAD LA SALLE 6

ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS

INCORPORADA A LA UNAM

29

TRANSFORMACIONES EN MOLINOS DE ARENA  
HORIZONTALES PARA REDUCIR CICLOS DE  
PROCESO Y CANTIDAD DE PIGMENTO EN LAS  
DISPERSIONES AUTOMOTRICES

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**INGENIERO QUIMICO**

P R E S E N T A :

**CARLOS FLORES VEGA**

DIRECTOR DE TESIS :

ING. JORGE E. GARCIA ACEVEDO

MEXICO, D. F.

1994

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



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.

A MIS PADRES, DAVID Y MARTHA. QUIENES EN  
TODO MOMENTO APOYARON SIEMPRE MIS PRO  
YECTOS Y DECISIONES COMPROMETIENDOSE  
CONMIGO. MUCHAS GRACIAS!!

A MIS HERMANOS DAVID Y RAUL. QUIENES GE  
NERARON DETRAS DE SUS LOGROS UNA COM  
PETENCIA SANA Y FRATERNAL QUE GENERO  
HOMBRES DE BIEN. GRACIAS!!

A MIS TIOS HECTOR Y TERE, QUIENES INCONDI  
CIONALMENTE ME BRINDARON SU APOYO EN  
TODO MOMENTO. GRACIAS!!

A LA MEMORIA DE MI ABUELO TRINO, QUIEN  
CON SUS HECHOS FINCO EN LA FAMILIA LA  
CULTURA DE LA VERDAD.

A LAURA, MI ESPOSA, CON QUIEN HE DE VIVIR  
EL RESTO DE MI VIDA, GRACIAS POR CONFIAR  
EN MI FUTURO.....QUE SERA TUYO!!

A MIS TIOS, ERNESTO Y ROSAURA, QUIENES  
HAN SIDO COMO NUESTROS SEGUNDOS PA  
DRES. GRACIAS!!

---

# INDICE

CAPITULO 1	PAGINA
1.0 INTRODUCCION . . . . .	1
1.1 BREVE DESCRIPCION GENERAL DEL PROCESO DE MOLIENDA . . . . .	8
1.2 TIPOS DE MEDIO DE MOLIENDA . . . . .	9
1.3 FENOMENO PACKING O FLUIDIZACION DEL MEDIO DE MOLIENDA . . . . .	16
1.4 FACTORES QUE AFECTAN EL FENOMENO PACKING . . . . .	19
1.5 DETECCION DEL FENOMENO PACKING DURANTE EL PROCESO . . . . .	20
1.6 SELECCION DEL MEDIO DE MOLIENDA . . . . .	22
1.7 CANTIDAD DEL MEDIO DE MOLIENDA . . . . .	22
1.8 DISEÑO MECANICO DEL MOLINO DE ARENA HORIZONTAL . . . . .	26
1.9 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL MOLINO DE ARENA HORIZONTAL . . . . .	29
CAPITULO 2	
2.0 PIGMENTOS . . . . .	32
2.1 CLASIFICACION DE PIGMENTOS . . . . .	32
2.2 PIGMENTOS INORGANICOS . . . . .	32
2.3 PIGMENTOS ORGANICOS . . . . .	33
2.4 FUNCION DEL PIGMENTO . . . . .	33
2.5 PROPIEDADES IMPACTANTES DE LOS PIGMENTOS . . . . .	34
CAPITULO 3	
3.0 DISPERSANTES . . . . .	35
CAPITULO 4	
4.0 OPERACION DEL MOLINO DE ARENA HORIZONTAL . . . . .	38
4.1 MECANISMO DEL PROCESO DE UNA DISPERSION . . . . .	39
4.2 TIEMPO DE RESIDENCIA . . . . .	44
4.3 CALIDAD DEL PRODUCTO VS TIEMPO DE RESIDENCIA . . . . .	48
4.4 CALIDAD DE PREMEZCLA . . . . .	51
4.5 CALIDAD DE LA DISPERSION DURANTE EL PROCESO . . . . .	53
4.6 FLUJO DE PROCESO . . . . .	55
4.7 INTERACCION DE VARIABLES DE PROCESO . . . . .	56
CAPITULO 5	
5.0 PROCESO . . . . .	58
5.1 PROCESO MULTIPASADAS . . . . .	61
5.2 PROCESO TANDEM . . . . .	63
5.3 PROCESO UN SOLO TANQUE (RECIRCULACION) . . . . .	65
5.4 CONCLUSIONES SOBRE ARREGLOS . . . . .	66

## CAPITULO 6

6.0	DISEÑO DE LOS MOLINOS DE ARENA HORIZONTALES . . . . .	67
6.1	DIAGRAMA GENERAL DE DISEÑO DEL MOLINO HORIZONTAL . . . . .	68
6.2	DISCOS DE MOLIENDA . . . . .	69
6.3	ESPACIADORES ENTRE DISCOS . . . . .	72
6.4	FLECHA ROTATORIA . . . . .	74
6.5	TAMIZ DE DESCARGA . . . . .	74
6.6	ALIMENTACION Y DESCARGA DEL MATERIAL DE PROCESO . . . . .	77
6.7	ALIMENTACION Y DESCARGA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO . . . . .	78
6.8	CUBA DE PROCESO . . . . .	80
6.9	CARGA DEL MEDIO DE MOLIENDA . . . . .	82

## CAPITULO 7

7.0	PRUEBAS PILOTO . . . . .	84
7.1	MODIFICACION AL MOLINO DE ARENA HORIZONTAL DE 15 LTS. . . . .	85
7.2	CARGA DEL MEDIO DE MOLIENDA . . . . .	85
7.3	DISCOS DE MOLIENDA . . . . .	86
7.4	ESPACIADORES ENTRE DISCOS . . . . .	90
7.5	REVOLUCIONES POR MINUTO DE LA FLECHA (RPM's) . . . . .	92
7.6	TAMIZ DE DESCARGA . . . . .	94
7.7	CUBA DE MOLIENDA . . . . .	98

## CAPITULO 8

8.0	RESULTADO A PARTIR DE LAS MODIFICACIONES PILOTO EN MOLINO MM-1 . . . . .	100
8.1	CONCLUSIONES . . . . .	102

## INTRODUCCION

La industria automotriz es una de las industrias de mayor actividad a nivel mundial y en México no es la excepción ya que en general este giro año con año registra mayores índices de producción tanto desde el punto de vista del consumo nacional como el de exportación con la consecuente demanda de autopartes y acabados automotrices como neumáticos, motores, telas, pinturas y muchos otros accesorios más implícitos en esta actividad industrial. Adicionalmente a la demanda que las armadoras generan en el suministro de todas sus autopartes existe otro mercado también de gran tamaño y nos referimos al de repintado automotriz, el cual basado en la cantidad de automotores particulares, de transporte urbano, de flotillas de marcas comerciales, etc., representa un sector de gran actividad para la industria pinturera tanto automotriz o desde armadora como la de repintado o en talleres de todas clases.

En la industria de pinturas automotrices y de repintado existen diferentes etapas de fabricación entre las cuales se encuentra el proceso de dispersión el cual es uno de los más importantes ya que en esta etapa intermedia se procesan los materiales más caros por cada litro de pintura producida por lo que cualquier variación dentro de este provoca grandes beneficios o pérdidas en el costo y en la calidad de el producto final.

En esta operación existen muchos equipos de proceso para lograr dispersiones de color estando entre los principales: los molinos de bolas, los molinos de arena, los Dispersores de Alta Velocidad, los agitadores P-48, el P-49, el agitador DBI, el DBI-DBA etc., dependiendo del tipo de dispersión requerido, así como de las propiedades físicas y químicas de los materiales involucrados y de la participación en algún mercado específico, sin embargo, el equipo más utilizado

en esta industria donde existen una gran cantidad de colores y de calidades de productos es el Molino de Arena y en especial desde algunos años el molino de arena horizontal debido a una serie de ventajas que presenta durante las operaciones.

Desde 1952 se han procesado dispersiones automotrices en molinos de arena verticales, incluso, hoy en día aún se consideran equipos hábiles para hacerlo, sin embargo, a raíz del diseño de esos equipos se ha logrado la evolución de este principio y ha dado como resultado el diseño del molino de arena horizontal, el cual, en esencia trabaja bajo el mismo principio que el Molino Vertical pero con variantes importantes de consideración en cuanto a cantidad de medio de molienda, rango de viscosidades y emisiones de solventes al medio ambiente las cuales serán descritas en capítulos posteriores.

El objetivo de esta tesis es demostrar con evidencias medidas en campo las modificaciones que se implementaron a algunos molinos de arena horizontales de 15 y 45 lbs., para la fabricación de dispersiones con reducción de ciclos de proceso así como el alto potencial de reducción de pigmento en cada fórmula sin afectar la calidad final ni el poder tintoreo de la dispersión debido a que estos equipos fueron transformados para producir un mayor rango de dispersión por cada unidad de pigmento y con menor cantidad de éste respecto al porcentaje que se ha estado incorporado hasta ahora para obtener la misma calidad. Estas grandes oportunidades de mejora significan por un lado obtener un porcentaje alto de capacidad instalada oculta bajo una inversión requerida poco significativa con respecto a la requerida en el caso de tener que comprar molinos adicionales para lograr una mayor capacidad instalada concordante con la creciente demanda, la mayor flexibilidad y poder de respuesta al cliente, el aumento del rendimiento

de materia prima, un mayor rango de reproducibilidad de lote a lote, es decir, reducir la variación de propiedades y por otro lado una gran ventaja competitiva al reducir el costo variable mediante la posibilidad de reducir la cantidad de pigmento con respecto a la usada para cada determinada fórmula antes de las modificaciones que en esta tesis se presentarán, entonces apoyándonos en que por cada litro de pintura la contribución porcentual en costo de una dispersión es aproximadamente del 50% resulta una gran oportunidad para capitalizarse como ventaja competitiva con respecto a otros fabricantes de pintura automotriz.

A lo largo del desarrollo de esta tesis se pretenden mostrar conceptos generales de los procesos llevados a cabo para fabricar las dispersiones y se hace énfasis en la operación como tal y en los equipos más usados así como sus diferencias principales, todo ello para anteceder a las propias transformaciones de los equipos y los consecuentes resultados para justificar el cambio aquí propuesto.



## CAPITULO 1

### 1.0 MOLINOS DE ARENA

Las dispersiones de pigmentos usando partículas en forma de esferas redondeadas como medio de molienda han sido practicadas desde hace 3 ó 4 décadas. Desde entonces se han usado una gran variedad de medios de molienda como: perla de vidrio, perlas de cerámica y balines de metal, éstos usados como unidades o elementos generadores de esfuerzo cortante. Los procesos de molienda usando molinos de arena se pueden considerar como una extensión del proceso de molienda llevado a cabo en molinos de bolas donde son usadas pequeñas esferas, perlas o cilindros metálicos o de porcelana. En cuanto al tamaño prácticamente no existe una gran diferencia entre las perlas más grandes usadas en molinos de arena y las esferas más pequeñas usadas en molinos de bolas. La perla es comúnmente especificada para uso en molinos de arena bajo un diámetro de 0.028 in = (1/32 in) la perla sintética es normalmente fabricada en un rango de .7 a 3.0 mm (1/32 a 1/8 in). Las dispersiones procesadas en molinos de arena deben llevarse a cabo bajo el rango anterior mientras que las dispersiones procesadas en molinos de bolas deben procesarse usando medio de molienda con un diámetro mayor a 1/8 in ya que las dispersiones procesadas en molinos de bolas son llevadas a cabo principalmente bajo el impacto directo entre unidades de medio de molienda y aglomerados de partículas de la mezcla de los ingredientes de la dispersión. Para ejemplificar más claramente los mecanismos que se llevan a cabo es necesario observar desde el punto de vista mecánico los efectos sobre los materiales y compararlo contra el mecanismo que se lleva a cabo en los molinos de arena y en los molinos de bolas, para ello se muestran en el siguiente diagrama ambos mecanismos.

Como podemos concluir a partir de los diagramas siguientes el impacto directo sucede en ambos procesos pero en molienda usando molinos de bolas el sistema propio es el impacto directo mientras que en los procesos de arena es mucho más importante el esfuerzo cortante.

Figura No. 1

## MECANISMOS POTENCIALES DE DISPERSION

### IMPACTO INDIRECTO



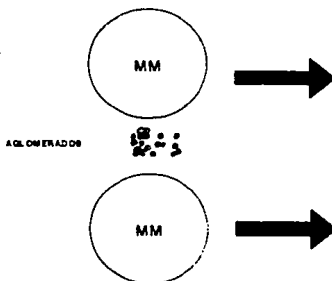
COMUN ENTRE MOLINOS DE ARENA Y DE BOLAS

### IMPACTO DIRECTO



PROPIO DEL MOLINO DE BOLAS

### ESFUERZO CORTANTE



PROPIO DEL MOLINO DE ARENA

MEDIO DE MOLIENDA : MM

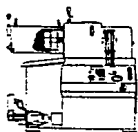
Los molinos de arena son equipos que comercialmente están disponibles para procesar dispersiones de pigmentos y son relativamente sencillos, capaces de eficientar la producción cuando son operados adecuadamente. La uniformidad y repetitibilidad de la calidad de las dispersiones procesadas en estos equipos son afectadas por algunos factores como: La formulación, calidad, materias primas, seguimiento de cargado de acuerdo a la fórmula, medio de molienda, equipos de premezcla, agitación, así como por el propio diseño del equipo y sus propias condiciones de operación.

Existen dos tipos diferentes de molinos de arena, el vertical y el horizontal. El primero es de diseño más antiguo que data de 1947 y el segundo se considera como una variedad evolucionada del vertical, sin embargo, el horizontal presenta en general mejoras considerables para procesar dispersiones en un ámbito mayor de viscosidad, flujo de alimentación y en general menores tiempos de proceso que lo define como un equipo mucho más eficiente.

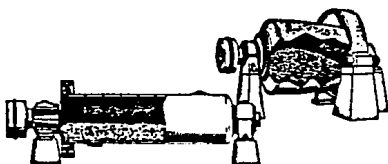
Los molinos de arena verticales son conocidos como Molinos P-47 y tuvieron gran uso cuando fueron diseñados para la industria de pinturas por lo cual la mayoría de las dispersiones que hasta entonces se habían procesado se migraron gradualmente desde los procesos en molinos de bolas a procesos en molinos de arena P-47 exceptuando algunos casos específicos en los cuales se requiere para el buen desarrollo de propiedades un impacto de mayor magnitud mediante el uso del molino de bolas y por ejemplo este es el caso de la gran mayoría de las dispersiones negras debido a la dureza de los pigmentos de sus fórmulas ya que en éstas las propiedades de las dispersiones no llegan a lograrse en muchas ocasiones sin el impacto directo.

Cabe mencionar que el rendimiento de los molinos de arena es mucho mayor que el de los molinos de bolas debido a su geometría y cantidad requerida de medio de molienda adicionalmente, se consiguen mejores costos de producción ya que al migrar fórmulas a procesos de arena desde molinos de bolas se consigue suprimir en algunos casos hasta el 20% de pigmento en fórmula debido al bajo rendimiento registrado cuando una dispersión es procesada y posteriormente descargada en un molino de bolas es debido a que parte de la dispersión permanece entre el medio de molienda que ocupa entre un 40 a 60% del volumen total del cilindro (molino) y por otro lado como los molinos de arena trabajan básicamente por generación de esfuerzo cortante el desarrollo de las propiedades de la dispersión se consigue con menor cantidad de pigmento y esto representa una ventaja competitiva importante sin alterar la calidad del producto que es vendida al cliente. En las siguientes figuras podemos observar algunas de las características geométricas y de diseño más relevantes entre ambos tipos de procesos, los llevados a cabo en molinos con esfuerzo cortante principalmente y los llevados a cabo bajo impacto directo respectivamente de izquierda a derecha.

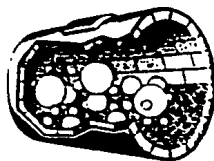
Figura No. 2



Molinos de Arena



Molinos de Bolas



## 1.1. BREVE DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO DE MOLIENTA.

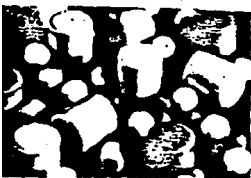
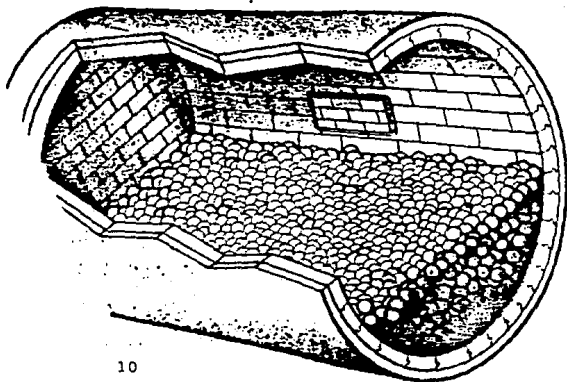
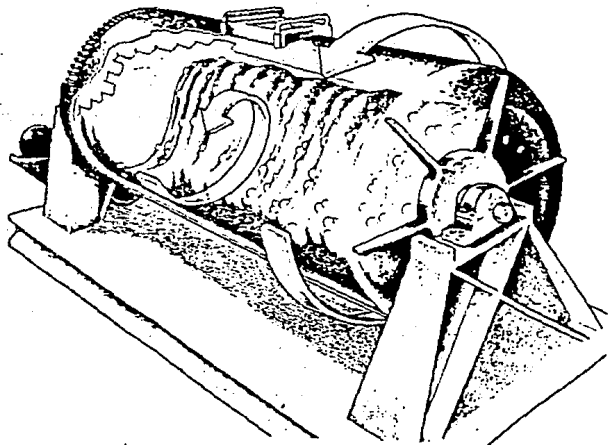
Básicamente el proceso de molienda llevado a cabo en un molino de arena consiste en bombear una mezcla homogénea de pigmento/vehículo (conocido como base) a través de un recipiente cilíndrico (conocido como cuba de molienda) el cual contiene una cantidad de medio de molienda que está bajo una intensa agitación que es provocada por el movimiento de los discos de molienda los cuales giran a alta velocidad en proceso. Durante el paso por la zona de agitación que es provocada por el movimiento de los discos. La base es recibida entre partículas de vidrio, acero, circonio o medio de molienda las cuales realizan un esfuerzo cortante debido a que la propulsión que los discos genera sobre estas provoca entonces diferencias o gradientes de velocidad entre estas unidades. Una vez emergiendo de la zona activa de alta agitación, la base se conduce hacia un tamiz el cual permite su salida desde el recipiente contenedor o cuba (y no de las partículas del medio de molienda) la cual es bombeada al tanque o equipo de premezcla. La intensa agitación del medio de molienda es provocada por una serie de discos impulsores los cuales giran a velocidades del orden de 1,200 rpm dentro del recipiente cilíndrico cargado con medio de molienda. Las partículas de arena y la base se encuentran en contacto y son agitadas en forma circular debido a la acción que generan los discos provocando entre cada par de estos corrientes en varios sentidos y a grandes velocidades originando un efecto llamado sandwich el cual provoca la acción de reducción de tamaño del aglomerado y posteriormente el desarrollo gradual de las propiedades específicas de acuerdo al tipo de producto que se encuentre en proceso. Posteriormente en el Capítulo 3 se expondrá a detalle el proceso de molienda y su mecanismo.

## 1.2 TIPOS DE MEDIO DE MOLIENDA

En la actualidad los procesos usados para llevar a cabo una dispersión en la industria de pinturas son principalmente llevadas a cabo en dos tipos de equipos. Los molinos de bolas y los molinos de arena. En el caso de los molinos de bolas el medio de molienda usado puede ser de cerámica, cilindros o balines de acero de acuerdo a las características del producto. El medio de molienda en general debe ser mucho más grande y de mayor gravedad específica que el usado en molinos de arena, ya que en el proceso de molienda en estos molinos se consigue básicamente mediante el impacto el cual está directamente relacionado con la gravedad específica del medio usado y con el material de construcción y en mucho menor medida mediante la generación de un esfuerzo cortante ya que el principio de dispersión está basado en el golpe, choque o impacto que estará en función adicionalmente a la gravedad específica del medio de molienda, del tamaño, material de construcción, la velocidad de rotación del molino, la viscosidad de la mezcla, la relación de molienda (relación entre el volumen del molino, el tamaño del lote y el volumen ocupado por el medio de molienda) y en conjunto llevar a cabo el efecto cascada.

En la figura siguiente se observa el interior de los molinos de bolas; en ellos se observa el efecto cascada al rotar el molino y las diferentes geometrías del medio de molienda (cilindros y esferas).

Figura No. 3



Para el caso de los procesos de dispersión en molinos de arena se usan también varios tipos de medios de molienda, de diferentes materiales como pueden ser el vidrio, el circonio o los balines de metal, los cuales son usados de acuerdo al tipo de dispersión pero definitivamente el tamaño de éstos y la gravedad específica son mucho menores que en el caso de molinos de bolas debido a que en estos procesos principalmente se pretende llevar a cabo un esfuerzo cortante entre unidades de medio de molienda mediante diferencias grandes de velocidad entre ellas y no tanto el impacto directo o golpe que en este caso se registra en forma mínima, debido a que de acuerdo al diseño no se genera el efecto cascada y además el medio de molienda no cuenta con la suficiente gravedad específica.

El propósito básico de la flecha rotatoria es el impartir movimiento mediante los discos arriba mencionados al medio de molienda y éste al producto líquido o mezcla, esta velocidad presenta varios perfiles, es casi nula cerca de la flecha agitadora pero va incrementándose rápidamente a medida que la distancia aumenta radialmente hasta obtener un máximo en el canto terminal del disco, es decir, a mayor diámetro, mayor velocidad desde la flecha hasta una distancia máxima o igual al radio del disco. Una vez superada la distancia radial desde el centro de la flecha hasta el canto del disco la velocidad empieza a disminuir súbitamente. La velocidad del medio de molienda también imparte un movimiento al medio de producto mezclado entre el material el cual provoca movimiento en varias direcciones y a diferentes velocidades lo cual provoca contactos en forma tangencial entre unidades de producto reduciéndoles el tamaño a estas unidades de pigmento y paralelamente desarrollando gradualmente sus propiedades.



Básicamente si existe una carga de medio de molienda de diámetro pequeño la velocidad generada es mayor que si se usa medio de molienda de mayor diámetro incluso teniendo en ambos casos la misma gravedad específica y también sucede en este sentido cuando usamos medios de molienda de menor gravedad específica.

Mientras un cambio en el tamaño del medio de molienda usado en el molino provoca como resultado un cambio en la velocidad de las partículas, adicionalmente esto también genera otros efectos, por ejemplo, el uso de medio de molienda más pequeño genera más camas o elementos de medio de molienda que a su vez originan más zonas de esfuerzo cortante en el molino para dispersar los aglomerados de material, provocando así mayor eficiencia. Además cuando se usan medios de molienda pequeños, se desarrollan espacios menores entre diámetros con respecto a los registrados con medios de molienda de mayor diámetro lo que provoca como un resultado inmediato una mayor eficiencia ya que genera mayor cantidad de puntos de acción sobre el material de proceso.

El resultado global de las opciones de cambio de tamaño, en el medio de molienda dentro de los molinos de arena se correlaciona con la calidad de y tiempo de residencia del producto, es decir, con la capacidad de producción, el impacto que tiene el uso de medio de molienda de diferentes diámetros y a un porcentaje de 90% de cargado en la cuba de molino se muestra en las gráficas siguientes. Si examinamos las tendencias de las curvas podremos concluir que el medio de molienda pequeño es en general más eficiente, sin embargo, el medio de molienda pequeño es más difícil de mantener sin que sea arrastrado por el flujo de material sobre todo cuando se procesa a altos flujos y por ello es más fácil provocar el efecto llamado packing (será descrito) por el arrastre hecho mediante

el producto dentro de la cuba con algunos problemas consecuentes potenciales de operación como puede ser el calentamiento de la cuba, del producto y a veces la presurización de la cuba, así como la consecuente disminución de la eficiencia del proceso.

Finalmente es necesario describir la última variable importante con respecto al tipo y cantidad de medio de molienda cargada al molino y nos estamos refiriendo a la gravedad específica.

Como ya hemos discutido previamente, el movimiento del medio de molienda es el resultado de la velocidad impartida al producto por los elementos mecánicos de rotación del molino como son: la flecha y los discos, sin embargo, se producen tres medidas comerciales usadas, las cuales varían significativamente en gravedad específica. Estas son: vidrio con una gravedad específica de 2.49, circonio con 3.80 y acero con 7.64. Cuando el mismo diámetro y volumen de medio de molienda es usado, el medio de vidrio será el que tendrá mayor velocidad y el acero el de menor. Así mismo, el medio de molienda de vidrio produce un mayor nivel de esfuerzo cortante y por ende una mayor calidad de producto, mientras que el medio de acero produce menor intensidad en el esfuerzo cortante y en la calidad de las dispersiones procesadas, sobre todo si el material es incoloro o no es obscuro ya que el medio de molienda de metal provoca cambios o variaciones de color con tendencia al obscurecimiento. Sin embargo, la diferencia en el desarrollo de la calidad de la dispersión contra el tiempo de residencia es pequeña en función de los rangos de gravedad específica. Las ventajas que ofrece el uso del medio de molienda de vidrio son básicamente en cuanto a los flujos de proceso que se pueden alcanzar, sin embargo, el medio de molienda de acero tiene una ventaja

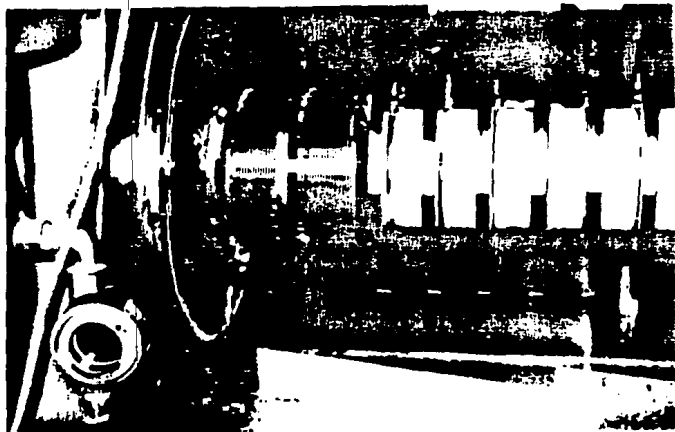
sobre el de vidrio y es el eliminar la posibilidad de que se genere el efecto packing. Bajo este contexto, el medio de mollienda de acero o circonio, es mucho mejor que el de vidrio. Para algunas dispersiones es necesario usar estrictamente el medio de vidrio ya que el de acero y circonio producen obscurecimiento en el tono original y esta es una desventaja importante que se debe tomar en cuenta antes de cargar el medio de mollienda y el tipo de producto a un equipo especifico ya que reduce la probabilidad de reproducir el tono y brillo de lote a lote lo cual impacta directamente en la calidad del producto vendida al cliente lote a lote.

Como conclusión, es necesario evaluar cuales son las características importantes de cada dispersión y cuales son las que ofrecen cada uno de los medios de mollienda mencionados, de manera que la elección sea de acuerdo al menor ciclo de proceso pero manteniendo siempre las características o propiedades relevantes de cada producto.

En este capítulo hemos hablado de un fenómeno llamado packing y que principalmente consiste en el taponamiento u obstrucción de las rejillas del tamiz provocado por el arrastre mecánico de la dispersión sobre las partículas de mollienda. Este fenómeno puede suceder por un flujo de alimentación alto y/o un medio de mollienda de baja gravedad especifica. La forma de evitarlo es cargar el medio de mollienda de acuerdo al tipo de dispersiones a procesar en determinado equipo así como el flujo óptimo para no generarlo sin que esto afecte a la productividad del equipo lo cual esta muy relacionado con la experiencia del personal operativa y la habilidad de cada equipo para procesar esa serie de dispersiones.

En la siguiente fotografía se muestra un acercamiento al tamiz o calador el cual es obstruído cuando el fenómeno packing se presenta, como podemos observar el claro de las rejillas es mínimo, es decir, justo para que solo el material de proceso cruce por ellas. El siguiente capítulo describirá con más detalla todo lo relacionado con el fenómeno packing.

Fotografía No. 1



### 1.3 FENOMENO PACKING O FLUIDIZACION DE MEDIO DE MOLIENDA

Antes de comenzar con este inciso es necesario recordar que la tesis pretende mostrar el impacto positivo en la producción de dispersiones en molinos de arena horizontales en función de ciclos de proceso, habilidad de proceso para dispersiones muy viscosas, con tixotropía y con el potencial de la reducción de pigmento, sin embargo, todas estas variables están directamente relacionadas con la capacidad del molino para procesarlas y en particular con la disminución significativa o eliminación total del fenómeno packing que cuando se presenta en operación normal disminuye la capacidad y la eficiencia para llevar a cabo las ventajas arriba mencionadas ya que como veremos, estos equipos serán habilitados para procesar en general mayores flujos y esto se relaciona con la capacidad del tamiz y la posibilidad del packing.

Adicionalmente, en este inciso comprobaremos que al aumentar la velocidad de rotación de los discos de molienda provocaremos una disminución considerable de la generación de este fenómeno, debido a que el flujo generado por la acción rotatoria de los discos es perpendicular al de alimentación al molino, esto es importante mantenerlo en cuenta ya que en los capítulos próximos explicaremos como se logro el aumento de velocidad de los discos como parte importante de las modificaciones a los molinos lo que complementará la eliminación del packing aún cuando los flujos de alimentación manejados tradicionalmente sean superados.

El fenómeno packing o fluidización del medio de molienda en molinos horizontales es mucho menos frecuente e intenso al que se presenta en molinos verticales ya que el asentamiento gravitacional no están severo en los molinos horizontales

debido a que con respecto a la horizontal la columna de medio de mollienda es mucho menor que la que se presenta en una molino vertical y de hecho en operación normal el packing no se registra en forma severa en molinos horizontales, por ello, aún usando medio de mollienda grande, de alta gravedad específica o incluso combinando con las dos variantes anteriores. Esto se debe también a que en los molinos horizontales el flujo generado en el interior del molino por la acción de la rotación de los discos provoca que el medio sea suspendido o movido sin que este se deposite en la parte inferior de la cuba, sin embargo, la combinación de medio de mollienda grande y con valores de gravedad específica debe ser vigilado durante la operación para asegurar que realmente la posibilidad no exista en ningún momento.

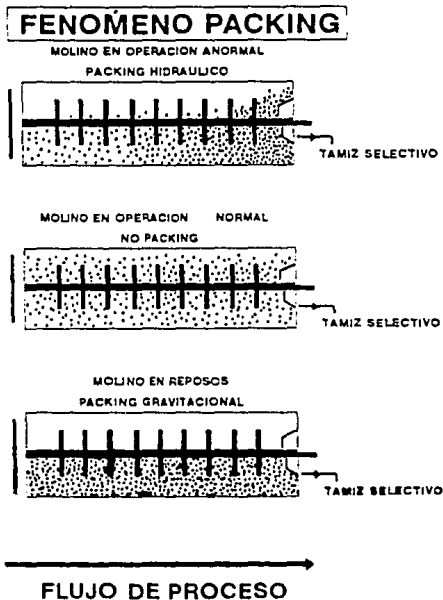
Otra causa importante que puede provocar packing en el proceso es el flujo al que es bombeada la mezcla hacia el interior del molino y esto sucede a flujos altos, medios de mollienda de diámetro pequeño con gravedad específica baja ya que estas situaciones combinadas provocaran arrastre del medio de mollienda en sentido paralelo al propio flujo provocando una pérdida en la eficiencia del proceso de la dispersión y otros problemas operativos así como un considerable aumento del uso del medio de mollienda lo que provocará que este se desgaste más rápidamente. Hemos mencionado que bajo operación normal el packing gravitacional es poco probable en un molino horizontal, el flujo de proceso entre la fluidización del medio y el packing disminuye rápidamente cuando el volumen del medio de mollienda esta entre el 80 y 90% de la capacidad de la cuba.

Básicamente el fenómeno packing se presenta cuando la velocidad de alimentación del material supera la velocidad a la cual se mueve el medio de mollienda que a

su vez será función de la velocidad con la que el sistema de rotación opere dentro del molino, esto es, si el flujo de proceso es mayor que el flujo provocado por todos los discos en un sentido perpendicular entre ellos se provocará packing en algún grado por ello es importante mantener siempre un flujo vigilado a raíz de la experiencia operativa.

En el siguiente diagrama se muestra un detalle de operación en el interior de la cuba en el cual se muestra el sentido de flujo generado por los discos y el de alimentación y en general para evitar packing la relación debe ser  $AP < AD$  donde AP = Alimentación o flujo de producto a la cuba y AD = flujo de los discos durante la operación.

Figura No. 4



#### 1.4 FACTORES QUE AFECTAN EL FENOMENO PACKING

La velocidad a la cual el medio de molienda empieza a migrar hacia el extremo de descarga de la cuba del molino, es decir, hacia el tamiz está definido en función del medio de molienda, de su tamaño o diámetro, gravedad específica y cantidad de carga, en función del molino esta relacionada con la velocidad de agitación que suministran los discos de molienda y finalmente en función del material o mezcla de proceso en cuanto a la viscosidad y gravedad específica. Por lo general la velocidad del fluido decrece bajo las siguientes circunstancias:

- Si el medio de molienda es de diámetro grande.
- Si la gravedad específica del medio de molienda es alta.
- Si la velocidad de agitación de los discos es alta.
- Si la gravedad específica de la mezcla es alta.
- Si la viscosidad del producto es alta.



## 1.5. DETECCIÓN DEL FENÓMENO PACKING DURANTE EL PROCESO

En muchos casos las formulaciones de las dispersiones se llevan a cabo sin tomar en cuenta el flujo al cual deberán ser procesadas en un molino de planta de acuerdo a sus características, a las del medio de molienda y a las del producto propiamente, lo que ocasiona que en algunos casos el fenómeno packing se presente durante la operación, por ello, es necesario mencionar algunas manifestaciones de la presencia de este fenómeno como herramientas de detección para la posterior corrección en operación.

La detección del fenómeno packing es relativamente simple. Todos los equipos deben estar equipados con medidores de presión, un amperímetro y termómetros en la entrada y salida del producto a la cuba. Si asumimos que estos accesorios de medición existen, la detección del fenómeno packing puede ser llevada a cabo fácilmente de diferentes formas:

- 1) Cuando se registra packing se puede detectar si se comienza a generar un ruido especial que es producido por la fricción entre las partículas de medio de molienda, si el sonido no es muy alto pero si se sospecha es conveniente usar un estetoscopio médico para escuchar con claridad el ruido característico a través de la pared de la cuba de molienda. Este sonido es típico y no es normal en procesos comunes.
- 2) El medidor de presión es otro instrumento que ayuda a corroborar la existencia del fenómeno packing ya que cuando este se presenta la presión de operación se eleva gradualmente debido a que el material se sigue introduciendo al interior del molino y éste a su vez, descarga a menor flujo registrándose un incremento gradual de la presión en el interior del molino.

- 3) Bajo algunas circunstancias el fenómeno packing se presenta adicionalmente en la parte terminal de la cuba y en la periferia de las paredes lo que evidentemente ocasionará que la temperatura de proceso aumente gradualmente. Muchas veces esta manifestación no se acompaña del incremento de presión en el sistema ya que el medio de molienda puede actuar como una pared extra de manera que aísla la propia pared de la cuba y el agua de enfriamiento no puede remover dicha carga térmica.
  
- 4) Otra forma de detectar el fenómeno es mediante el incremento del amperaje del motor del molino ya que el sistema se va llenando de material y la descarga va siendo obstruida mediante el medio de molienda provocando un mayor grado de oposición a la rotación de los discos con la consecuente demanda de energía eléctrica manifestándose mediante el aumento del amperaje.

Cualquiera de estos sencillos métodos ayuda a prevenir y/o corregir el packing durante la operación.

La velocidad con la cual esa transición ocurre depende de la velocidad de alimentación del producto con respecto a la velocidad de agitación del sistema, así, operando a una velocidad de alimentación del producto ligeramente menor a la de agitación se consigue eliminar gradualmente este fenómeno corroborando con las variables arriba mencionadas pero en sentido inverso a la forma en que fueron descritas.

## 1.6 SELECCION DEL MEDIO DE MOLIENDA

Para optimizar el costo y la calidad de una dispersión es muy importante el seleccionar adecuadamente el medio de molienda óptimo tomando en cuenta tres variables fundamentales: Tamaño, gravedad específica y composición química (material) y esta decisión estriba en función del tipo de dispersión; se deben fijar entonces de acuerdo a lo mencionado, en algunas plantas de pintura se definen equipos cautivos, es decir, se determinan para procesar un sólo producto de alto consumo o al menos se procesan en ellos una serie de productos muy similares en cuanto a color, dureza de sus materiales y propiedades finales, sin embargo, esto no siempre es posible ya que no en todas las plantas se cuenta con un número de equipos tal que permita predeterminar su uso cautivo y con mayor razón si nos referimos a la cantidad de colores realmente indefinida que pueden obtenerse desde una formulación determinada.

Esta situación es muy importante ya que el mercado automotriz exige que cada año la gama de colores requeridos para pintar sus unidades cambie y con el color casi siempre la gama de materias primas para fabricarlos también lo hace así como sus propiedades finales.

## 1.7 CANTIDAD DEL MEDIO DE MOLIENDA

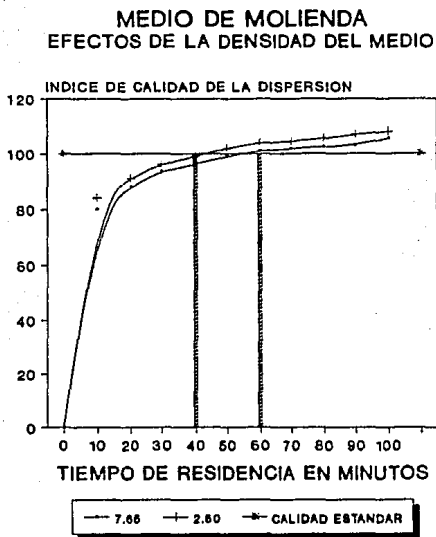
Una de las variables de proceso más significativas en un proceso de molino de arena es la cantidad de medio de molienda cargada ya que éste es el que efectúa realmente el trabajo de dispersión. Esta carga es normalmente medida en función del porcentaje del volumen total de la cuba de molienda ocupando por el medio, el cual incluye el espacio vacío que es generado entre cada unidad de molienda debido a que éste es esférico y necesariamente entre cada unidad o unidades que

se junten hasta tocarse se presentará siempre un espacio libre entre ellas. Cuando el medio de molienda es cargada por ejemplo entre el 80 y 90% del volumen total del molino existe un porcentaje de volumen de la cuba que tiene por objeto dar mayor libertad de flujo al material para facilitar el proceso y así poder manejar flujos de alimentación mayores, sin embargo, ese espacio libre también tiene una contraparte porque disminuye los puntos de acción del esfuerzo cortante por no existir medio de molienda que actúe sobre el material en cada una de esas secciones, pero como una regla básica es importante cargar el molino al 70, 80 ó 90% de la capacidad de la cuba iniciando por el 70% de ocupación e incrementándolo gradualmente hasta el punto en el que mejor se obtengan los resultados, adicionalmente, cuando se cambie la carga de medio de molienda no sólo en cuanto al tipo o material sino también en cuanto a especificaciones de gravedad específica debe calcularse de manera que el porcentaje de ocupación se mantenga constante entre el 80 y 90% ya que la experiencia ha mostrado que en general este rango de ocupación es el óptimo.

Algunas correlaciones que se encuentran en literatura recomiendan que el cargado del medio de molienda debe ser del 90% como máximo del volumen de la cuba lo cual por un lado arroja mejores resultados al aportar mayores puntos de acción pero por otro lado la operación puede registrar packing saturando las rejillas selectivas del tamiz y provocando obstrucciones de descarga de material con los consecuentes problemas de operación ya mencionados anteriormente. Sin sistemas sofisticados de control, un rango entre 80 y 90% de carga del medio de molienda es una razonable y es una práctica regla de carga para procesar una gran variedad de productos.

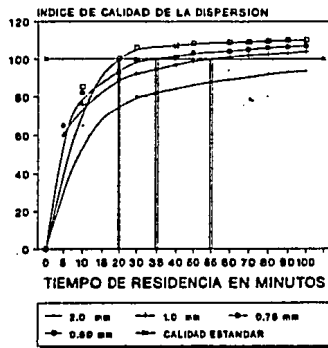
Con el objeto de mostrar el impacto de cada una de las variaciones del medio de molienda, en cuanto a tamaño, cantidad de carga y gravedad específica se muestran tres gráficas que experimentalmente respaldan lo expuesto en los incisos anteriores.

Gráfica No. 1



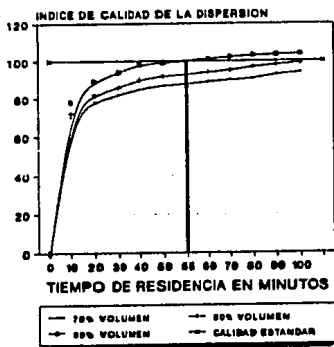
Gráfica No. 2

MEDIO DE MOLIENDA  
EFECTOS DEL TAMARO DEL MEDIO



Gráfica No. 3

MEDIO DE MOLIENDA  
EFECTOS DE LA CANTIDAD DE CARGA



## 1.8 DISEÑO MECANICO GENERAL DEL MOLINO DE ARENA HORIZONTAL

Para poder entender mejor los mecanismos de proceso de una dispersión es necesario explicar los diseños en los cuales se apoyan los diferentes equipos de proceso que ya hemos mencionado.

Se han llevado a cabo desarrollos significativos en el diseño de los molinos de arena en los últimos años y a raíz de la creación y operación del molino de arena P-47, abarcando desde equipos de laboratorio como son los molinos de arena miniatura hasta los molinos de arena con alto grado de sofisticación para la producción a escala industrial.

En general, el principal trabajo de proceso en el molino de arena es llevado a cabo por la velocidad de los discos de molienda, que tanto en escala de laboratorio como en la industrial es diseñada para conseguir velocidades alrededor de las 800 rpm.

Probablemente uno de los cambios más revolucionarios y de mayor impacto en el diseño de molinos de arena ha sido el molino de arena horizontal que es una variante del molino de arena vertical, el cual ha sido modificado instalando la cuba de molienda en un ángulo recto con respecto a la vertical; este cambio ha generado numerosas ventajas ya que en el caso del molino de arena horizontal, por ejemplo, los paros de operación en manufactura, mantenimiento, arranques de operación, no representan ningún problema y no existen amplias restricciones para rangos de viscosidad ni para el tipo de medio de molienda usado. El uso de medio de molienda de acero es normalmente contraindicado en molinos verticales ya que

cuando algún paro de operación es requerido el medio se deposita sobre el fondo de la cuba vertical el cual debido a propia acción de la fuerza de gravedad causa serios problemas de arranque así como altos costos de operación por consumo de energía eléctrica debido a la demanda que se requiere para restablecer la operación, esta situación se hace crítica cuando el molino adicionalmente se encuentra cargado con dispersiones con gravedad específica alta. Situaciones análogas se presentan en los casos en los cuales es usada perla de circonio y hasta de vidrio pero en menor magnitud respectivamente. En el caso de los molinos de arena verticales el nivel del medio de molienda es recomendable hasta un volumen máximo del 80% del volumen total disponible en la cuba y a diferencia del molino horizontal el cual se llega a cargar hasta el 90% representan una deficiencia en las zonas potenciales de generación de esfuerzo cortante siendo equipos menos eficientes comparados con los horizontales ya que también los molinos de arena verticales procesan dispersiones mediante esfuerzo cortante y por ende estas situaciones no se presentan normalmente en los molinos de arena horizontales y es debido a que el arreglo horizontal distribuye en mucho más área el peso total generado por medio de molienda con o sin el producto.

Otra diferencia importante en el diseño del molino horizontal es que la cuba de molienda está totalmente sellada, es decir, es un sistema cerrado, mientras el diseño del molino vertical no lo es.

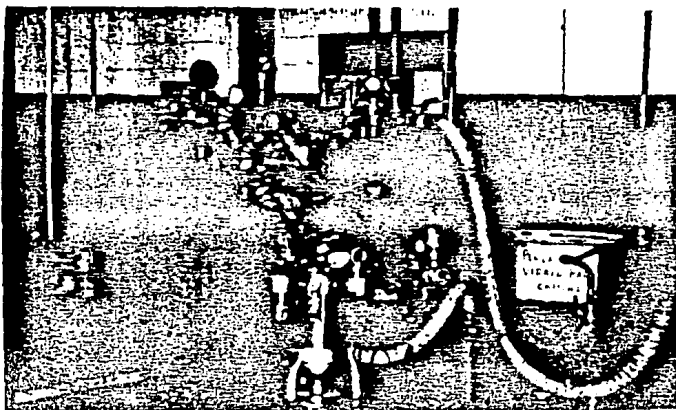
A continuación se muestran dos fotografías que muestran los dos diseños de los molinos comerciales, el molino de arena vertical o P-47 y el molino de arena horizontal siendo el segundo el caso de nuestro estudio de tesis. adicionalmente se muestran fotografías de los elementos internos de cada uno de ellos para tener presentes los cambios posteriores a ser realizados en los molinos horizontales.



Fotografia No. 2



Fotografia No. 3



## 1.9 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL MOLINO DE ARENA HORIZONTAL

El objetivo de esta tesis es el mostrar algunas modificaciones que se han llevado a cabo a los molinos de arena horizontales, que se han experimentado y que han resultado efectivas, sin embargo, es necesario comparar inicialmente los equipos convencionales usados en la industria de pinturas, es decir, las principales ventajas entre el molino de bolas y el de arena (Verticales y Horizontales) antes de comparar los molinos de arena horizontales convencionales y modificados.

### VENTAJAS

- 1) La inversión inicial es baja, el consumo de energía eléctrica es bajo, requiere poco espacio para su instalación y bajo costo de mantenimiento los cuales son características que resultan atractivas desde el punto de vista económico.
- 2) Bajo costo en operación normal. no se requiere supervisión del personal en forma enfática.
- 3) Buenos volúmenes de producción y altos rendimientos pueden conseguirse una vez establecido el flujo óptimo.
- 4) Mejor desarrollo de color, menor riesgo de contaminación y en general mejores resultados con respecto a las propiedades de la dispersión.

- 5) Mejor estandarización y respetabilidad entre lotes una vez fijado el flujo de alimentación de la dispersión al molino.
- 6) Menor esfuerzo de limpieza en el molino al circular mezclas de solventes en líneas y molinos con la consiguiente disminución de riesgo por contaminación entre colores diferentes procesados previamente y posteriormente.
- 7) Mayores rendimientos de producto a raíz de sus materias primas.

#### DESIGNALIAS

- 1) La carga de materia prima debe ser en orden de acuerdo a la fórmula para lograr una buena humectación o premezcla homogénea.
- 2) No son equipos que puedan reducir el tamaño de grandes cantidades de aglomerados.
- 3) No son equipos diseñados para procesar dispersiones en cuyas fórmulas existen materiales extremadamente duros como la barita, bentonita, etc..
- 4) No son equipos diseñados para procesar dispersiones que presenten pigmentos que provoquen tixotropia (grandes cambios de viscosidad).
- 5) Se requiere al menos un tanque de premezcla o humectación previa antes de bombearse al molino.

Se muestran a continuación los tres diagramas respectivos, primero el molino de arena vertical o P-47, el segundo es el molino de arena horizontal y el tercero el molino de bolas, con ellos se pretende dar una idea más clara del diseño general de cada uno.

Figura No. 5



Figura No. 6

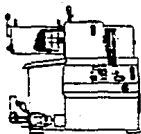
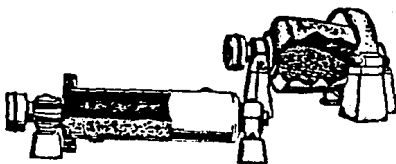


Figura No. 7



## **CAPITULO 2**

### **2.0 PIGMENTOS**

Se define como un pigmento a cada una de las sustancias sólidas, intensamente coloreadas y molidas que pueden unirse con un aceite secante o con una resina para formar una pintura.

### **2.1 CLASIFICACION DE PIGMENTOS**

Aunque generalmente los pigmentos usados en la fabricación de la pintura son de origen orgánico, también pueden emplearse colorantes orgánicos insolubles o colorantes orgánicos precipitados en alguna sustancia inorgánica como el hidróxido de aluminio, sulfato de bario o arcilla. También se emplean pigmentos conocidos como inertes o extenders, los cuales no imparten color a la pintura pero reducen el costo de la misma y también proporcionan durabilidad, entonces podemos definir la clasificación general para pigmentos en: orgánicos, inorgánicos, y dentro de éstas dos clases metálicos, fluorescentes, fosforescentes y perlescente.

### **2.2 PIGMENTOS INORGANICOS**

La mayoría de los pigmentos inorgánicos son óxidos como el dióxido de titanio, el óxido de zinc, los óxidos de hierro, el óxido de silicio, carbonato de calcio, sulfato de bario, silicato de aluminio, etc..

### 2.3 PIGMENTOS ORGANICOS

Estos pigmentos son siempre colorantes orgánicos los cuales son usados para dar coloración. Los pigmentos orgánicos son normalmente cristalinos y son suministrados en una diámetro que va desde .01 a .50 micras, y pueden ser hidrofílicos o hidrofóbicos.

### 2.4 FUNCION DEL PIGMENTO

La función de los pigmentos no sólo es proveer una superficie colorida sino también ayudar a la pintura a reflejar los nocivos rayos ultravioleta y las inclemencias del tiempo y así prolongar la vida de la pintura. En general los pigmentos deben ser opacos para poder asegurar un buen cubriente, estabilidad química y también no ser tóxicos para el personal que lo maneja y para el que lo aplica. Los pigmentos deben poder ser humectados por los constituyentes líquidos de la pintura al menor costo posible.

Para que los pigmentos puedan permanecer en la superficie de la pintura se requiere otros materiales como parte de una pintura, tales como: resinas, solventes, aceites secantes y aditivos. Resumiendo, las funciones de los pigmentos son:

- \* Impartir apariencia estética (color).
- \* Dar estabilidad a la pintura.
- \* Proveer dureza a la superficie.
- \* Flexibilidad, adherencia y resistencia a la abrasión.
- \* Prevenir la corrosión.

## 2.5. PROPIEDADES IMPORTANTES DE LOS PIGMENTOS

Las principales propiedades de los pigmentos usados para la fabricación de la pintura son: Gravedad específica, color, capacidad, tipo de partícula, absorción de aceite, precio, durabilidad, transparencia y poder tintoreo. Entre los pigmentos orgánicos e inorgánicos existen variaciones características desde el punto de vista económico entre ellos las cuales son definidas a continuación:

Tabla No. 1

PROPIEDADES	PIGMENTOS ORGANICOS	PIGMENTOS INORGANICOS
Color	Brillante	Opaco
Durabilidad	Variable	Excelente
Poder tintoreo	Variable	Variable
Opacidad	Alta	Variable
Solubilidad	Variada	Excelente
Resistencia Química	Variada	Buena
Dispersabilidad	Variada	Buena
Costo	Alta	Variable

## CAPITULO 3

### 3.0 DISPERSANTES

Los dispersantes son los únicos compuestos en una mezcla de dispersión; éstos contienen algunos grupos químicos que tienen afinidad o tendencia con las partículas de pigmento mientras otras son compatibles con el medio en el cual la dispersión se lleva a cabo en el líquido de la mezcla. Los dispersantes son de dos tipos, uno el de cadena dispersante y el otro el de polímero de bajo peso molecular.

El nivel de dispersante requerido para llevar a cabo una buena dispersión es muy importante y debe ser exacta la proporción de estos dispersantes en la fórmula del producto. La cantidad de dispersante necesaria para cada fórmula en especial será función del tamaño de las partículas a dispersar y el tipo de dispersante. Un dispersante efectivo es aquel que contiene al menos un grupo químico compatible con la superficie de la partícula (grupo A en el diagrama) y otro grupo compatible o soluble (grupo B en el diagrama) con el sistema líquido donde las partículas están mezcladas.

El dispersante de cadena actúa como ya lo mencionamos a manera de un puente de afinidades en cada extremo, uno con la partícula y el otro con el medio, como se puede observar en diagrama anexo los extremos afines con el medio líquido, es decir, las partículas B forman varios enlaces que modifican el tamaño total de la partícula y este efecto es provocado para reducir la atracción entre las partículas mediante las fuerzas de Van der Waals y así provocar una menor



resistencia a la generación de aglomerados nuevamente desde la etapa de premezcla y posteriormente en el efecto del molino. Estos dispersantes deben ser escogidos cuidadosamente ya que si el grupo afín con el medio líquido no es compatible con alguna otra materia prima de la fórmula éste podría contraerse con el extremo afín respecto a la partícula y así provocar el efecto contrario para el cual fue incorporado originalmente a la mezcla, es decir, el mantener las unidades de material separadas.

El otro tipo de dispersantes es el de polímero de bajo peso molecular el cual tiene por objeto suministrar también al sistema dos tipos de partículas, las afines a la partícula (grupos A en el diagrama) y un segundo grupo afín a las partículas A pero sin serlo a otra unidad igual (grupo B en el diagrama) lo que provoca que se forme una especie de corona alrededor de cada partícula con lo que se logra que cada una de ellas aumente su tamaño o diámetro y reduzca por consiguiente las fuerzas de atracción para agilizar posteriormente la dispersión definitiva de las unidades de pigmento durante el proceso en el molino.

A continuación se muestra en forma de diagrama la función de los dispersantes de ambos tipos.

Figura No. 7

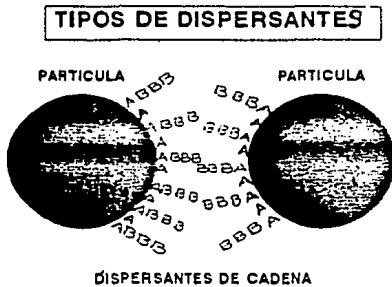
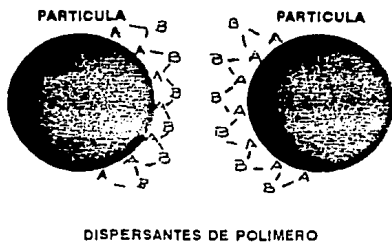


Figura No. 8



## CAPITULO 4

### 4.0 OPERACION DEL MOLINO DE ARENA HORIZONTAL

Para poder relacionar la operación de un molino de arena horizontal primero es necesario describir en términos generales las operaciones previas a la del molino propiamente, es decir, la carga y la premezcla.

La primera acción es el cargado de materiales a un tanque agitado en el cual se vierten una serie de solventes, resinas y pigmentos en un orden y cantidad específicos de cada uno, dependiendo del tipo de dispersión. Estos tanques de mezcla deben ser agitados continuamente para lograr una buena calidad en la humectación o premezcla de las materias primas y para lograr una buena calidad en esta etapa existen dos tipos de agitadores que normalmente se recomiendan, uno al HSD que significa dispersor de alta velocidad (siglas en inglés) y el más común, el agitador DB1 o DB1-DBA. La importancia de agitar la mezcla continuamente por el agitador adecuado es de gran trascendencia ya que de otra manera es posible que no se llegue a conseguir la humectación requerida en todos los aglomerados de pigmento contenidos en el tanque y se prolonguen los ciclos de proceso y en algunos caso el grado de no humectación o premezcla llega a producir que la mezcla no se disperse incluso después de haber sido procesado dentro del molino, ya que si la recomoción del aire en mezcla no se consigue la humectación tampoco se logrará.

#### 4.1 MECANISMO DEL PROCESO DE UNA DISPERSION

En el proceso de molienda de una dispersión es usado el medio de molienda para separar aglomerados de partículas normalmente suspendidas en el medio líquido, y el objetivo de la separación es impartir estabilidad y evitar que se vuelva a formar aglomerados cuando el proceso haya terminado. El material que puede ser procesable incluye una gran cantidad de clases de pigmentos, compuestos magnéticos y estructuras de cristales inorgánicos y orgánicos.

Todas esas partículas se caracterizan porque han sido manufacturadas en tamaños relativamente pequeños, sin embargo, esas partículas, una vez producidas se juntan rápidamente formando aglomerados debido a la fuerza de atracción generada entre cada una de ellas. Esas fuerzas de atracción son conocidas como las fuerzas de Van der Waals y para llevar a cabo una dispersión esas fuerzas deben ser superadas y esto sucede cuando el aglomerado es fraccionado en unidades pequeñas. Para lograr una estabilización de manera que no vuelvan a juntarse dichas unidades se requiere mantener una distancia entre ellas mediante la aplicación de un esfuerzo cortante a través del medio de molienda y con la ayuda de los dispersantes incluidos en la formulación.

Pequeñas unidades de medio de molienda son impulsadas para impartir una gran variedad de perfiles de velocidad en el flujo al líquido dentro del molino. Este flujo es el resultado del movimiento de los discos instalados dentro de la cuba de molienda. La dispersión se realiza porque existe una generación de movimiento de cada partícula contra otra u otras.

Existen básicamente dos posibles mecanismos de dispersión, el de impacto y el de esfuerzo cortante. Estos mecanismos fueron descritos en un diagrama en el capítulo uno.

Dentro de la cuba, del molino el medio de molienda y el de la mezcla son movidos en la misma dirección eliminando en gran medida la posibilidad de producir el impacto directo durante el proceso de dispersión, por lo cual en procesos de dispersión llevados a cabo en molinos de arena el esfuerzo cortante es mucho más frecuente e intenso que el impacto directo debido a que existen grandes diferencias de velocidad de la mezcla dentro de la cuba y que no existe el efecto cascada llevado a cabo en un molino de bolas. Adicionalmente, como las partículas usadas como medio de molienda son de la misma densidad y tamaño tienden a moverse en la misma dirección y mantienen una velocidad variable dependiendo del punto donde se encuentren, siendo más rápidas en las zonas cercanas al centro de los discos y menos cuando están hacia el canto de éstos. En algunos casos sí se registran impactos directos durante el proceso, que consisten en prensar un cúmulo o aglomerado de material el cual es reducido en tamaño cuando dos partículas del medio de molienda se encuentran en sentidos contrarios contra dicho aglomerado, sin embargo, la baja frecuencia de los efectos de impacto directo da como resultado que el mecanismo de esfuerzo cortante sea el principal en este proceso.

El esfuerzo cortante ocurre cuando dos unidades de medio de molienda, viajan en direcciones paralelas a diferentes velocidades y viajan una cerca de la otra registrando contactos tangenciales entre cada una de ellas. Este movimiento produce una zona de esfuerzo cortante en el líquido y entre dos unidades de

molienda. Las diferencias de velocidad entre las unidades del medio de molienda y la viscosidad del líquido provocan diferentes magnitudes de esfuerzos cortantes los cuales afectan de forma directa la calidad de la dispersión durante el proceso. La magnitud del esfuerzo cortante dependerá del tipo de dispersión, del equipo, medio de molienda y de la propia operación.

Como se ha mencionado anteriormente, pequeñas unidades de material formadas por partículas de pigmento asociadas como grupos son conocidas como aglomerados. Estas partículas pueden variar en cuanto a su gravedad específica y también su tamaño, es decir, no son uniformes incluso dentro del saco en el cual son envasadas o empacadas originalmente por los fabricantes, sin embargo, algo que sí se mantiene constante es la composición química y para ello se debe analizar una muestra aleatoria de cada lote recibido en planta.

Cuando el material es cargado para llevar a cabo la premezcla en un tanque agitado, los aglomerados se ponen en contacto con sustancias diversas pero que en forma genérica se definen como dispersantes y solventes. Esta mezcla de componentes ha sido formulada o diseñada en forma especial para ayudar a liberar las partículas de aire desde la superficie del material y mantener separadas las partículas para poder ser afectadas posteriormente por el esfuerzo cortante provocado en el molino y por los dispersantes. En la etapa de premezcla, el mecanismo inicial de dispersión consiste en mantener la penetración de la mezcla específica de solvente y dispersantes en el seno del aglomerado de pigmento. Esta acción de penetrar los intersticios del material desplaza el aire desde la superficie del material y normalmente el aglomerado se desintegra y elimina la unión de las partículas que lo forman para posteriormente estar en condiciones

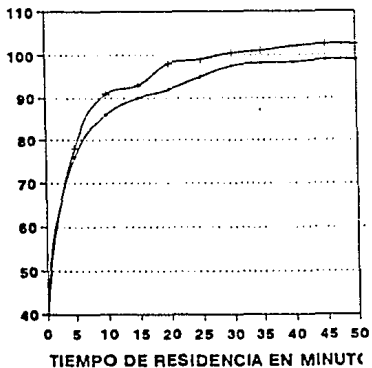
de procesarlas bajo un esfuerzo cortante y que éste realmente sea efectivo.

La operación de premezcla es también conocida como humectación, en algunos casos dicha operación es crítica ya que cuando no es llevada a cabo eficientemente ésta solo se lleva a cabo a nivel superficial debido a que no existe una agitación adecuada o no se agitó el tiempo suficiente dando como resultado la existencia de aire entre las partículas de aglomerado y en muchos casos se hace muy difícil el conseguir el grado de dispersión propiamente, incluso sometiendo el material a esfuerzo cortante en el molino.

Una vez llevada a cabo la etapa de premezcla, esta será bombeada desde el recipiente donde se llevó a cabo la dispersión hasta la cuba de molienda y sometida entonces a esfuerzo cortante desarrollado por el movimiento de las partículas de molienda, sin embargo, al llevar a cabo un buen proceso de premezcla o humectación el material es recubierto por la mezcla de dispersantes y solventes los cuales le dan substancialmente una menor resistencia a la atracción entre partículas y al esfuerzo cortante y sólo podrá ser afectado el tamaño del aglomerado cuando el material este en la zona máxima intensidad del esfuerzo cortante generado en la cuba de molienda del molino y también será afectado en forma importante por las condiciones de operación que deberán ser específicas para cada tipo de producto. Este punto es muy importante ya que bajo condiciones específicas de operación aún y cuando la acción del esfuerzo cortante ayuda en forma muy importante a la disminución del tamaño de los aglomerados, éstos llegarán a un punto en que si el molino no es modificado de alguna manera para aumentar el nivel del esfuerzo cortante podrán existir algunos aglomerados después de haber actuado el esfuerzo disponible sobre el material.

Mientras el nivel de esfuerzo cortante sea mantenido en forma constante las condiciones de operación determinarán el grado máximo de calidad de la dispersión siempre y cuando se haya llevado a cabo un buen proceso de humectación o premezcla. La separación de partículas a partir de aglomerados requiere de una serie de exposiciones repetidas a la acción del esfuerzo cortante. Cada exposición, en esencia, separa gradualmente el aglomerado reduciendo su tamaño y adicionalmente desarrollando sus propiedades cada vez que el esfuerzo cortante actúa sobre la mezcla. El someter a un largo número de zonas de esfuerzo cortante reduce el tiempo total de proceso. El medio de molienda trabaja porque existen una gran cantidad de zonas disponibles, así tarde o temprano cualquier aglomerado será sometido a un esfuerzo cortante máximo en alguna zona del molino. Además, el grado de calidad de dispersión aumentará con el tiempo que el producto esté en el molino combinándolo con el flujo de operación de manera que tanto la intensidad como la cantidad de esfuerzo cortante estén combinadas. Este tiempo es conocido como tiempo de residencia.

Gráfico No. 4      EFECTO DE VARIACION DE ESFUERZO CORTANTE  
CALIDAD DE LA DISPERSION EN %



— BAJO ESF CORTANTE + ALTO ESF CORTANTE



## 4.2 TIEMPO DE RESIDENCIA

Antes de conocer los diferentes arreglos que pueden hacerse para procesar dispersiones es necesario hablar del tiempo de residencia de la dispersión ya que este parámetro es fundamental para conocer el efecto de otra serie de variables involucradas en estos procesos.

Durante la operación normal de los molinos de arena se usan arreglos o configuraciones fijas, por ejemplo: número, tamaño y tipo de discos, espaciadores y separadores, estos arreglos no son normalmente modificados durante las operaciones, es decir, lote a lote o producto a producto, de igual manera la cantidad y tipo de medio de molienda tampoco se modifica, por ello, sólo la variable es el tiempo bajo el cual el producto estará bajo esfuerzo cortante, y este parámetro puede ser controlado desde la formulación a escala y propiamente por el operador del equipo cada vez que el tipo de producto a procesar sea modificado, es decir, a partir de la experiencia en determinadas dispersiones el flujo de procesos puede variarse con objeto de disminuir el tiempo de proceso total manteniendo la calidad constante.

Existen al menos cuatro arreglos o configuraciones de los equipos con tanques de pmezcla para procesar dispersiones de acuerdo al tipo de producto, estos arreglos son descritos en los incisos siguientes, sin embargo, comúnmente existen dos arreglos en los cuales el tiempo de residencia adquiere un sentido muy importante para procesar productos bajo una calidad específica y un tiempo razonable. Uno de estos es tradicional proceso de multipasadas el cual se refiere

al bombeo de producto desde un tanque de premezcla, posteriormente pasando por el molino y finalmente descargando en otro tanque; a medida que el flujo del producto sale del molino, el segundo tanque es diferente al de premezcla, cuando el volumen del tanque inicial es procesado gradualmente y descargado al segundo tanque se lleva a cabo la primera pasada. Así esta operación es repetida hasta que las propiedades del producto son alcanzadas.

El volumen que ocupará el líquido en la cuba de molienda está definido mediante una simple sustracción a partir del volumen total de la cuba vacía menos el volumen ocupado después de haberse cargado los accesorios internos y una determinada cantidad de medio de molienda. Este volumen disponible será ocupado por el líquido y por ello dicho líquido estará bajo esfuerzo cortante si el molino es operado adecuadamente y es usado en el cálculo del tiempo de residencia. El tiempo de residencia para arreglos de multipasadas se calcula de la siguiente forma:

$$\text{TIEMPO DE RESIDENCIA} = \frac{\text{VOLUMEN DEL LIQUIDO EN LA CUBA}}{\text{LITROS POR MINUTO}}$$

Con lo cual obtendremos unidades concordantes, es decir, de tiempo.

$$\frac{(\text{Litros})}{(\text{Litros/min})} = (\text{Minutos})$$

El segundo arreglo en el cual el tiempo de residencia debe ser definido es el de recirculación, el cual es descrito también a detalle en el siguiente inciso. Este proceso en forma general consiste en bombear la mezcla del producto desde el tanque de premezcla hacia la cuba del molino y posteriormente será descargado al mismo tanque de premezcla y no a otro diferente como en el caso del arreglo para multipasadas. El flujo de bombeo en este arreglo se conoce como flujo de recirculación y en general debe ser lo más alto posible, sin embargo, es

necesario monitorear el proceso periódicamente para detectar el fenómeno packing y corregirlo de inmediato (si éste se presenta); la manera de reconocer que este se presenta puede ser calentamiento del molino, del producto, disminución del flujo a la descarga del molino. El tiempo de residencia cuando este arreglo es usado se calcula de la siguiente forma:

$$\text{TIEMPO DE RESIDENCIA} = \frac{\text{VOLUMEN DEL LIQUIDO EN LA CUBA}}{\text{TAMAÑO DEL LOTE (LITROS) POR MINUTO}}$$

De igual manera, las unidades concuerdan a unidades de tiempo.

$$\frac{\text{Litros}}{\text{(Litros/min)}} = \text{(Minutos)}$$

El tiempo de residencia calculado con la ecuación anterior representa un tiempo promedio en el cual una partícula en el líquido esta bajo el esfuerzo cortante dentro de la cuba de molienda. Bajo este arreglo, es decir, el de recirculación, algunas pasadas de material son más rápidas que el promedio calculado y otras son más lentas, esto se debe a que existe variación como en todo proceso. Esta situación crea variaciones en el tiempo de residencia del producto, conocida como distribución del tiempo de residencia. En el arreglo de multipasadas, cada pasada del producto por el molino limita la distribución del tiempo de residencia. Una limitación de la distribución del tiempo de residencia se puede fijar en las primeras 3 ó 4 pasadas del material y normalmente no se requieren más pasadas para fijar la distribución, en cambio, después de estas apasadas el flujo de alimentación o de proceso debe ser fijada para ajustarse al tiempo de residencia adecuado y con ello al número de pasadas de acuerdo al producto específico.

A continuación se muestran como distribuciones normales la variación de cada proceso.

Gráfico No. 5

### DISTRIBUCION DEL TIEMPO DE RESIDENCIA, UNA PASADA

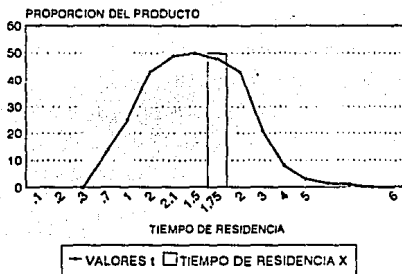
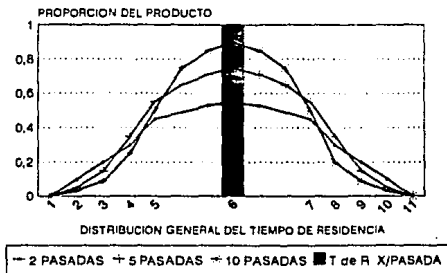


Gráfico No. 6

### DISTRIBUCION DEL TIEMPO DE RESIDENCIA RECIRCULACION



Hemos mencionado que el arreglo de proceso en forma de multipasadas consiste en bombear todo el tamaño del lote desde el tanque de premezcla a través del molino en cada pasada. Con el arreglo en forma de recirculación, algunas zonas del lote nunca llegan a pasar a través del molino debido a que el recipiente de premezcla recibe el material de descarga del molino y en algunos casos las partículas ya procesadas vuelven a pasar y otras no llegan a procesarse en ninguna ocasión, por ello, el arreglo en recirculación presenta una amplitud o variación mayor en función del tiempo de residencia con respecto al proceso a arreglo en multipasadas y por ello es importante procesar las dispersiones a los mayores flujos posibles llevadas a cabo en arreglos de recirculación, de manera que aumentando el flujo la probabilidad de someter al esfuerzo cortante todo el tamaño del lote sea mayor sin tener que consumir más tiempo en el proceso.

### 4.3 CALIDAD DEL PRODUCTO vs TIEMPO DE RESIDENCIA

En varios capítulos de esta tesis hemos citado que el proceso de una dispersión consiste en la separación de aglomerados en partículas o unidades de menor tamaño mediante un esfuerzo. Hipotéticamente este proceso podría llevarse a cabo hasta reducir los tamaños de las partículas a tal grado que se obtuvieran unidades casi microscópicas, sin embargo, para conseguir esto, es necesario invertir mucho más tiempo para poder llegar a reducir gradualmente las partículas, el proceso de dispersión no pretende reducirlas a tal grado sino esta limitado a la reducción de tamaño determinado y de acuerdo al producto mediante el esfuerzo cortante, y ese es el límite del proceso de dispersión, es decir, reducir el tamaño al máximo mediante esfuerzo cortante hasta conseguir gradualmente las especificaciones adecuadas.

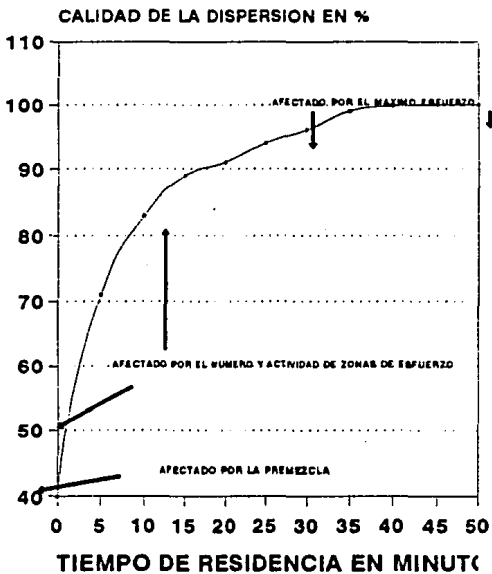
Bajo el concepto anterior de dispersión, podemos concluir que la reducción de tamaño a partículas elementales nunca llega a darse de manera completa sino que el grado de dispersión máximo se conseguirá cuando los aglomerados de dispersión se reduzcan gradualmente de tamaño y se superen así las fuerzas de atracción entre partículas de manera que no puedan juntarse o aglomerarse de nuevo.

La reducción del tamaño desde los aglomerados originales siempre da por resultado el incremento gradual de la calidad de las propiedades de una dispersión, entendiéndose que la calidad del producto se mide en función de sus propiedades específicas como son: Tamaño de partícula, poder tintoreo, brillo, etc.. Este es el punto más importante, el medir gradualmente la convergencia de esas propiedades bajo las condiciones de operación establecidas y fijando además el tiempo de residencia hasta que dichas propiedades sean conseguidas de manera que el proceso se eficientice sin reducir las propiedades finales.

El parámetro más importante para alcanzar la calidad del producto desde el punto de vista de operación es el tiempo de residencia y normalmente presenta el comportamiento de la curva mostrada en la figura anexa. Esta figura muestra la relación entre el tiempo de residencia y la calidad de la dispersión, sin embargo, esta curva depende básicamente de las siguientes variables:

- \* El orden de cargado de materiales.
- \* La calidad de premezcla de los materiales.
- \* El nivel de esfuerzo cortante potencial de acuerdo al medio de molienda.
- \* El flujo de alimentación de acuerdo al molino que sea usado.

## FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD



#### 4.4 CALIDAD DE PREMEZCLA

La importancia que tiene el llevar a cabo una buena premezcla rara vez es tomada en cuenta por el personal operativo e incluso por el propio formulador, esto sucede básicamente porque el impacto de las variaciones en la calidad de la premezcla sobre el tiempo de residencia requiere conseguir un nivel constante de calidad y este no es normalmente apreciado, sin embargo, las variaciones realmente significativas se registran lote a lote, producto a producto entre los lotes piloto y los lotes de planta incluso cuando los procesos son llevados a cabo en el mismo equipo, siendo el mismo producto y algunas veces hasta el mismo operador debido a una mala humectación de la mezcla en el tanque antes de procesarla bajo esfuerzo cortante en el molino. Los efectos en la variación de la calidad de premezcla sobre el tiempo de residencia necesario para conseguir la calidad deseada pueden variar significativamente incluso sin haber variado ningún otro parámetro. Para corroborar esto es necesario visualizar las curvas de la gráfica anexa.

Finalmente es necesario mencionar que se han logrado ahorros hasta del 50% en el tiempo de residencia de algunas dispersiones las cuales fueron premezcladas de manera adecuada, esto significa que en términos generales se puede llegar a duplicar la capacidad de dispersión del molino si se llevan a cabo premezclas de calidad y esto involucrará variables importantes desde la carga, tipo de agitador, tiempo de premezcla, etc., sin embargo, en otros casos es necesario evaluar la conveniencia de aumentar el tiempo de agitación con respecto al del trabajo del molino de manera que de nueva cuenta el ciclo se reduzca pero manteniendo el proceso de manera que los parámetros de calidad relevantes no se sacrifiquen.



Figura No. 9

**COMPARATIVO DE AGLOMERADOS**

AGLOMERADOS HUMECTADOS

AGLOMERADOS NO HUMECTADOS



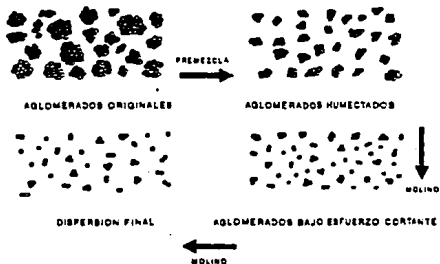
EL LIQUIDO PENETRA Y DESPLAZA EL AIRE



EL LIQUIDO HUMECTA LA SUPERFICIE  
DEL AIRE NO SE DESPLAZA!

Figura No. 10

**ETAPAS GRADUALES DE UNA DISPERSION**



#### 4.6 CALIDAD DE LA DISPERSION DURANTE EL PROCESO

La máxima calidad del producto se consigue cuando una partícula de dispersión es expuesta a la zona de máxima acción del esfuerzo cortante obtenido a raíz del arreglo específico y del propio molino. Los factores más significativos para lograr una zona alta en esfuerzo cortante son la velocidad con la cual el medio de molienda se mueve con respecto a otra y el espacio existente entre ellas.

El gradiente de velocidad entre partículas es generado por el movimiento del medio de molienda en el molino, la velocidad máxima se registra donde la agitación es mayor. En un disco de molienda esto se lleva a cabo en el canto del disco, esto es, en las zonas donde el radio es máximo sobre cada uno. El impacto de aumentar el esfuerzo cortante para conseguir mayor calidad del producto es descrito por la gráfica anexa donde se puede apreciar que bajo mayor esfuerzo cortante el desarrollo de propiedades específicas, es decir, de la calidad del producto también aumenta si el tiempo de residencia se mantiene como una variable fija. Tomando en cuenta que a mayor velocidad del medio de molienda dentro de la cuba se generan zonas de mayor intensidad de esfuerzo cortante podemos concluir que aumentando la velocidad de los discos de molienda desde la flecha y obviamente desde el juego de poleas entre flecha y motor el esfuerzo cortante será mayor, sin embargo, esto debe ser calculado o experimentado ya que la generación de calor necesariamente aumentará y deberá ser removido del sistema para no potencializar anomalías desde el punto de vista de calidad, operatividad e incluso de seguridad.

En la gráfica siguiente se muestran dos curvas experimentales raíz de las cuales podemos concluir que si se aumenta el nivel de esfuerzo cortante las propiedades relevantes de calidad se obtienen en menor tiempo, lo anterior está relacionado con el trabajo u objetivo de esta tesis que veremos en adelante, es decir, eficientar los molinos de arena para evitar la compra de otros adicionales.

La segunda variable que influye en el nivel de esfuerzo cortante es el espacio entre cada unidad de medio de molienda, esto puede manejarse de dos formas, la primera consiste en aumentar la cantidad o carga de medio de molienda dentro de la cuba del molino, sin embargo, recordaremos que no es viable cargar a más del 90% del volumen disponible. Aumentando el volumen del medio de molienda en la cuba el sistema será forzado a reducir gradualmente el espacio entre las unidades del medio de molienda y evidentemente esto originará un mayor nivel de esfuerzo cortante para dispersar cualquier aglomerado de material a procesar. El aumentar la cantidad del medio de molienda también originará que el flujo de alimentación de proceso disminuya ya que de otra manera las probabilidades de generar packing en el molino son altas y finalmente si aumentamos la cantidad del medio de molienda obtendremos más generación de calor ya que existirán más puntos de esfuerzo cortante y además más intensos.

La segunda forma es sustituir la carga del medio de molienda por un volumen equivalente pero de un diámetro menor. Los resultados son parecidos a los generados en la opción anteriormente descrita, es decir, obtendremos más zonas de esfuerzo cortante y estas más intensivas, sin embargo, también obtendremos problemas potenciales como pueden ser la generación de calor y el fenómeno packing si el flujo de alimentación de proceso no se controla para evitarlo.

Por ello, reconfirmamos que esta opción no pudo ser controlada en gran medida para lograr el objetivo de eficientar los equipos.

#### 4.6 FLUJO DE PROCESO

El flujo al cual la dispersión es procesada se controla dependiendo del número de zonas de esfuerzo cortante y su intensidad en el interior de la cuba de molienda. El número de zonas se define por la cantidad de medio de molienda o carga. La actividad o intensidad del esfuerzo cortante de las zonas se determina por la velocidad de rotación de los discos de molienda.

Previamente hemos mencionado que el nivel de esfuerzo cortante puede ser incrementado aumentando la velocidad de rotación de los discos. Un incremento en la velocidad de rotación también incrementará el nivel de actividad en cada zona de esfuerzo cortante dando como resultado un incremento en el flujo de dispersión. También mencionamos que si reducimos los espacios entre cada una de las unidades del medio de molienda mediante el cambio de éste obtendríamos un aumento de esfuerzo en el interior del molino. Cualquier incremento en el número de zonas de esfuerzo también será evidentemente reflejado en el aumento del flujo de la dispersión. Incrementando el volumen del medio de molienda también originará el número de zonas de esfuerzo y con ello el flujo de dispersión, sin embargo, cambiando el medio de molienda por uno de menor diámetro pero manteniéndolo al mismo volumen las zonas de esfuerzo son incrementadas en mucho mayor grado y con ello también el flujo de dispersión.

Las variaciones de operación en cuanto al flujo de la dispersión son descritas en forma general en la siguiente gráfica donde podemos concluir que a mayor flujo de alimentación la calidad de esta se desarrolla mucho mejor que los procesos llevados a cabo a flujos menores. Adicionalmente, se muestra otro parámetro donde existe posibilidad de realizar la eficientización de los equipos, esto es, aumentando el número de discos de molienda en la cuba original.

#### 4.7 INTERACCION DE VARIABLES DE PROCESO

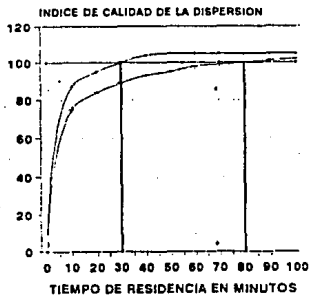
Si revisamos la información de los incisos anteriores y adicionalmente la de la figura anexa nos daremos cuenta que existen una serie de variables de proceso las cuales al menos en teoría pueden ser modificadas en la operación del proceso de la dispersión para modificar las características principales. Estas variables han sido definidas: revoluciones por minuto de los discos de molienda, cantidad y diámetro del medio de molienda. La selección del material del medio de molienda, esto es, circonio, vidrio o acero tiene un efecto muy limitado sobre la calidad de la dispersión excepto en términos de contaminación o degradación de color cuando usamos medio de molienda de acero, sin embargo, tiene un efecto considerable sobre el flujo de la dispersión el cual debe ser fijado sin generar packing ya que recordaremos que la gravedad específica en cada tipo de material de cada tipo de medio de molienda afectará directamente la probabilidad de generar packing y más enfáticamente cuando se pretendan manejar altos flujos en los procesos.

**RESUMIENDO**

- 1) La calidad inicial del producto debe ser lo más alta posible y es controlada por la composición, la intensidad y tiempo de agitación del producto.
- 2) La máxima calidad del producto se determina por la intensidad del esfuerzo cortante que se le aplique consistentemente en la cuba de molienda.
- 3) El flujo de la dispersión se determina por el número e intensidad de las zonas de esfuerzo cortante existente en la cuba de molienda.

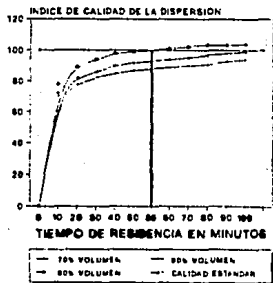
**Gráfica No. 8**

**DISCOS DE MOLIENTA  
EFECTOS DE LA VELOCIDAD DE ROTACION**



**Gráfica No. 9**

**MEDIO DE MOLIENTA  
EFECTOS DE LA CANTIDAD DE CARGA**



## CAPITULO 5

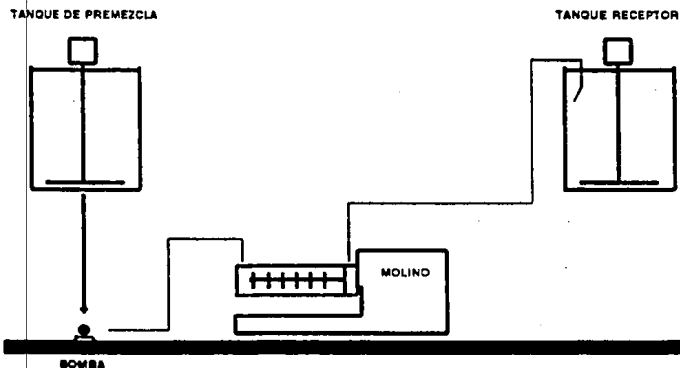
### 5.0 PROCESO

El diseño original del molino de arena fue desarrollado inicialmente para sustituir a los molinos de bolas en los cuales hasta entonces se procesaban las dispersiones para terminados automotrices, sin embargo, hoy en día este proceso es muy usado para llevar a cabo las dispersiones de repintado automotriz (fuera de armadoras). Estas dispersiones deben ser premezcladas previamente y bombeadas (como ya lo describimos con anterioridad) después al molino a flujos lentos con lo cual se consiguen las especificaciones adecuadas. Adicionalmente, se procesan bajo este sistema otras dispersiones las cuales requieren relativamente altas finuras de especificación tales como los primarios o (primers) siempre y cuando se lleve a cabo una premezcla para facilitar la humectación del producto. La característica de este proceso es que a partir de un tanque de premezcla el producto es humectado bajo agitación constante, posteriormente es procesado en el molino y finalmente es descargado a un tanque que no sea en el que se llevaron a cabo la carga, la mezcla y la humectación, después transfiere gradualmente toda la mezcla del producto a través del molino y una vez que el total del lote se encuentra en el otro tanque, entonces, se termina el proceso. Es necesario corroborar las propiedades finales a la descarga del molino una vez que el flujo de bombeo ha sido estabilizado con el objeto de conocer la calidad del producto antes de transferir todo el lote y así poder variar o ajustar el flujo o tomar alguna acción para que el proceso realmente se lleve a cabo en una sola pasada,

estas acciones pueden ser, ajuste del flujo de proceso, más tiempo de premezcla, etc.. A raíz de la formulación y el proceso piloto pueden definirse las condiciones iniciales de operación, sin embargo, el escalamiento no siempre es lineal, por ello es necesario conocer el comportamiento en planta y gradualmente redefinir condiciones de operación, a continuación se muestra el diagrama general de arreglo de tanque y molino para estos procesos.

Figura No. 11

## PROCESO: UNA PASADA

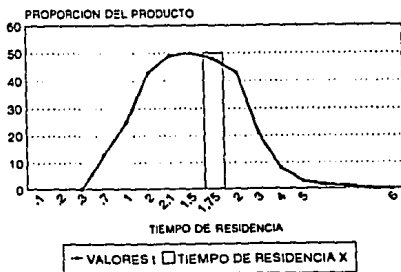




Por otro lado, en un molino, el producto y el medio de molienda están sometidos a una considerable agitación cuando la mezcla pasa a través del molino, como resultado, algunos segmentos del producto pasan más rápidamente por el molino con respecto a otros dentro de la misma mezcla, por ello, se registra una variación o distribución de la cantidad de tiempo (tiempo de residencia) consumida para cada uno de esos segmentos, tanto los que son sometidos al esfuerzo cortante más intenso como para aquellos que no han sido afectados ni en función de la intensidad ni del tiempo, sin embargo, en la mayoría de los casos la medición de una calidad estándar se debe registrar en función de un promedio del desarrollo de la calidad para cada dispersión. Esta distribución del tiempo de residencia para procesos o arreglos en una pasada se muestra en la gráfica anexa en función de la obtención estándar de una serie de dispersiones.

Gráfico No. 10

### DISTRIBUCION DEL TIEMPO DE RESIDENCIA. UNA PASADA



## 5.1 PROCESO: MULTIPASADAS

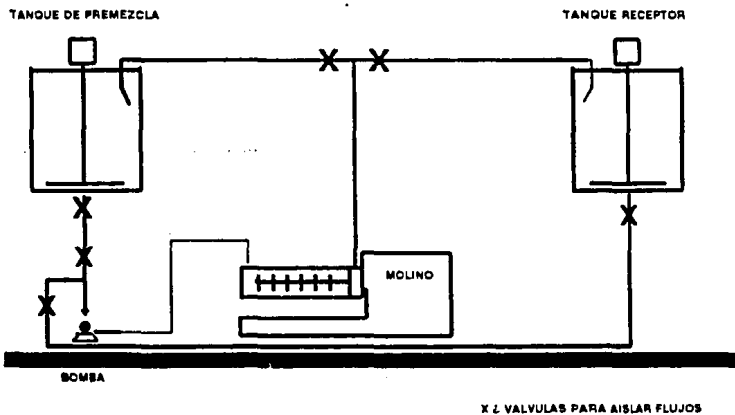
Este tipo de diseño fue desarrollado para procesar dispersiones que contienen pigmentos que por su naturaleza requieren más tiempo de proceso para conseguir las especificaciones requeridas, este proceso se lleva a cabo casi bajo el mismo arreglo de equipos con respecto al proceso anterior, sin embargo, es necesario habilitar las tuberías de manera que podamos alternar entre los dos tanques la descarga y la recepción del material. La diferencia radica principalmente en que esta operación debe aplicarse a aquellas dispersiones que por su naturaleza requieren menores finuras y por ello demandan más contactos con las zonas de esfuerzo cortante dentro del molino. La operación general consiste en premezclar en un tanque, bombear al molino y recibir en otro tanque el material para ser muestreado y así medir sus propiedades y conocerlas como las lecturas iniciales de la primera pasada, siempre y cuando el flujo de proceso ya haya sido definido, posteriormente y una vez que el lote completo esté en el recipiente receptor se bombea desde este último tanque el material manteniendo el flujo y se recibe esta vez en el recipiente inicial de premezcla, mientras el lote es procesado por segunda vez es necesario muestrear de nuevo para conocer las propiedades del producto una vez que ha sido procesado por el molino por segunda ocasión y así poder conocer la eficiencia del proceso entre la primera y la segunda pasada. Posteriormente se sigue el proceso de manera repetitiva hasta conseguir las especificaciones requeridas en determinada dispersión.

En este proceso se puede modificar el flujo de proceso de manera que a raíz de los resultados comparados entre cada pasada y apoyándose también en la experiencia de proceso de cada producto se puede maximizar la operación.

A continuación se muestra mediante un diagrama el arreglo general de tanques y molino.

Figura No. 12

## PROCESO: MULTIPASADAS



También en el caso de los arreglos de proceso en forma de multipasadas existe una distribución de la calidad de la dispersión en función del tiempo de residencia el impacto de llevar a cabo más pasadas para reducir la variación de la curva normal de manera que a mayor número de pasadas un mayor porcentaje de la mezcla haya estado sujeta al esfuerzo cortante provocado por el molino.

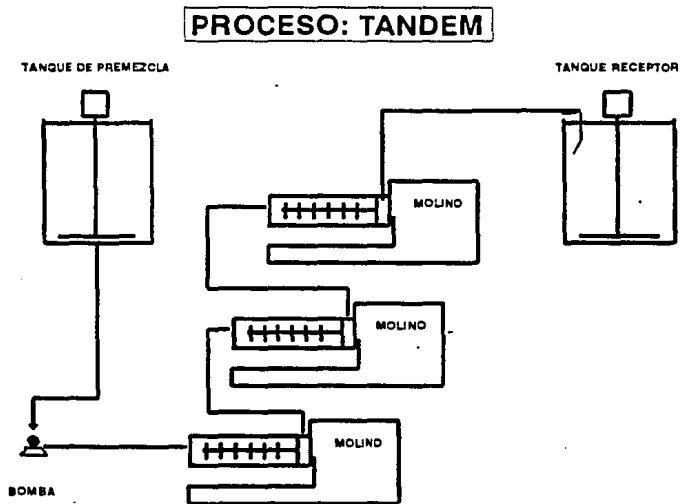
## 5.2 PROCESO TANDEM

En el párrafo anterior se describe el proceso multipasadas, dicho proceso es adicionalmente recomendable cuando el medio de molienda contenido en el molino es usado para una gama de dispersiones diferentes o la cantidad a procesar de cada lote sea pequeña.

Para procesar grandes volúmenes de material son procesados por medio del arreglo tandem. Este proceso es un especial proceso multipasadas. Este consta de un arreglo de 2 a 4 molinos en serie entre el tanque de premezcla y el tanque receptor. La ventaja de este arreglo es que el material premezclado es bombeado a través de cada molino sustituyendo así los ciclos que hemos definido como pasadas ya que la acción de cada molino desarrolla gradualmente la dispersión provocando también que sus propiedades se manifiesten a medida que el material se procesa en cada molino. Sin que este arreglo pretenda evitar posibles pasadas adicionales desde el tanque receptor hacia el de premezcla hasta conseguir las propiedades específicas; esta también es una alternativa adicional que puede usarse en arreglos de este tipo cuando el tipo de dispersión así lo requiera. Análogamente a los dos arreglos ya descritos es posible eficientar las operaciones en el tandem mediante la experiencia de cada producto bajo un

determinado flujo de proceso. A continuación se muestra el diagrama general de arreglo de tanques y molinos.

Figura No. 13



### 5.3 PROCESO: UN SOLO TANQUE (RECIRCULACION)

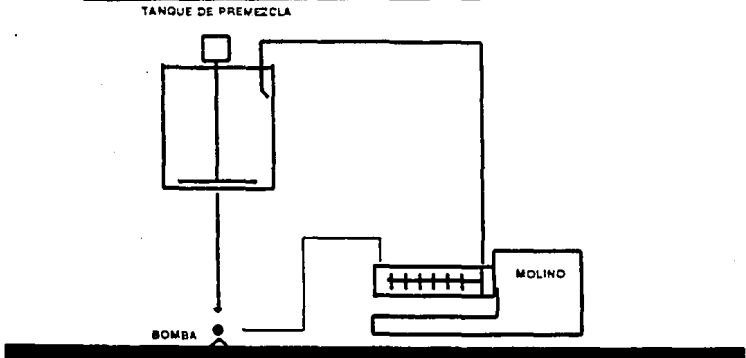
Una diferencia importante en el arreglo de los equipos en este sistema es que solo requiere un tanque de premezcla el cual es a la vez receptor una vez que el proceso de molienda ha comenzado. Este arreglo es especialmente útil cuando existe falta de equipos o de espacio, sin embargo, en general, es recomendado para aquellas dispersiones que necesiten largos ciclos de proceso por requerir más tiempo la acción del esfuerzo cortante para así conseguir las propiedades finales, este proceso debe ser muestreado cada 2 ó 3 horas para así conocer cual es el estado del producto ya que al tener un solo tanque como premezclador y receptor existe la posibilidad de que el material retornado del molino hacia el tanque sea mezclado y vuelto a moler y el resultado haga suponer que la totalidad del lote esta homogénea en cuanto a sus propiedades.

De igual forma en este arreglo es posible optimizar el proceso siempre y cuando éste lo permita de acuerdo al tipo de producto ya que por lo general los procesos llevados a cabo bajo este arreglo se llevan a cabo a altos flujos para asegurar que el volumen total del lote en el tanque pase al menos una vez por el molino.

A continuación se muestra en el diagrama el arreglo entre tanque y molino para llevar a cabo estos procesos.

Figura No. 14

**PROCESO: UN SOLO TANQUE (RECIRCULACION)**



**5.4 CONCLUSIONES SOBRE ARREGLOS**

Hemos descrito durante los anteriores capítulos algunas formas para eficientar la producción de las dispersiones automotrices llevadas a cabo en molinos de arena bajo cambios prácticos o prácticas operacionales que han demostrado su impacto positivo para lograrlo, sin embargo, es posible capitalizar más eficiencia de estos equipos si combinamos mejores prácticas como la adición de materiales de acuerdo a fórmulas, la agitación constante y adecuada al flujo óptimo con algunas modificaciones a molino que a partir de este momento serán el centro de la tesis.

## CAPITULO 6

### 6.0 DISEÑO DE LOS MOLINOS DE ARENA HORIZONTALES

El sentido y aplicación de este trabajo de tesis esta basado en los modelos de 15 y 45 litros (capacidades nominales de las cubas de molienda). Estos equipos son fabricados bajo la Compañía Premier Mill en los Estados Unidos y aunque existen otras capacidades tanto mayores como menores, el resultado puede ser análogo, sin embargo, no se contó con dichos equipos para corroborarlo durante el desarrollo de la tesis y por ello sólo se tomaron los de capacidad nominal de 15 y 45 litros.

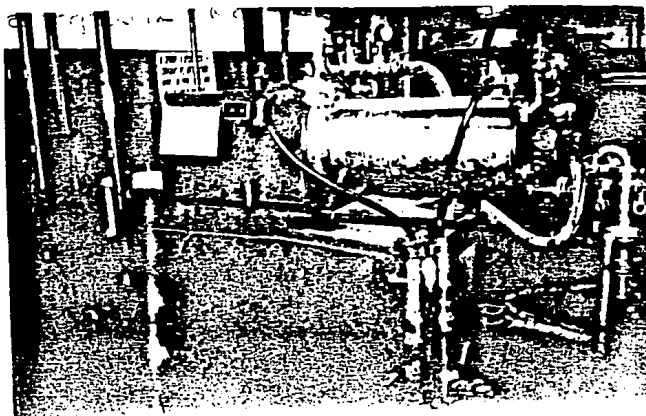
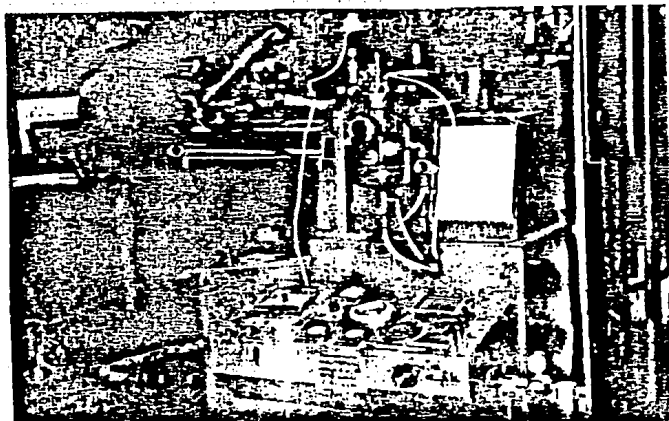
Hemos mencionado que los molinos de arena horizontales son fabricados en una gama amplia de capacidades nominales de acuerdo a la planta o laboratorios de desarrollo donde se requieran. También hemos mostrado algunos diagramas en los cuales se muestra el diseño general de los equipos que es aplicable en todos los tamaños variando para cada uno capacidades nominales, número y tamaño de los discos, tamaño del tamiz, número de revoluciones por minuto de los discos y finalmente cantidad del medio de molienda, es decir en general solo varían las dimensiones y no el diseño, sin embargo, en este documento se manejarán las partes principales involucradas en el cambio de proceso y directamente en la eficiencia del molino como tal y no es objeto el puntualizar enfáticamente algunos otros elementos como pueden ser sistemas de bombeo, capacidades, tamaños de motores etc..



### 6.1 DIAGRAMA GENERAL DE DISEÑO DEL MOLINO HORIZONTAL:

El diseño del molino horizontal es debidamente mostrado en las siguientes fotografías. La primera corresponde a un molino de 15 y la segunda a uno de 45 litros de capacidad nominal, ambas muestran el aspecto exterior.

Fotografía No. 4



## 6.2 DISCOS DE MOLIENDA

Hemos mencionado que los discos de mollienda son aquellos elementos que están montados a una flecha rotatoria la cual esta en el centro de la cuba y a su vez esta unidad a una transmisión de manera que se hace girar por medio de un juego de poleas entre la parte final de ésta y otra que está montada sobre el motor del molino el cual suministra el movimiento al sistema para que los discos arriba mencionados operen girando a altas velocidades dentro de la cuba, estos discos pueden manufacturarse de una serie de materiales los cuales deben ser compatibles con la operación, es decir, deben ser resistentes al ataque químico de los solventes así como soportar entre 40 y 60 C de temperatura durante algunos días de operación continua, sin embargo, la característica más relevante de estos discos debe ser que el material de construcción debe ser aquel que además de cumplir con las características citadas ofrezca una gran resistencia a la abrasión debido a que el material de proceso junto con el medio de mollienda provoca un gran desgaste sobre los cuerpos de estos discos, normalmente estos discos pueden manufacturarse de alloy para cumplir así con todas las especificaciones requeridas para operar sin problemas.

El número de discos de mollienda varia con respecto al tamaño de la cuba, esto es, con respecto al tamaño nominal del molino, por ejemplo, en el caso del molino de 15 litros, el fabricante diseña el equipo con 6 discos y en el caso del molino de 45 lts. lo suministra con 8. Un aspecto importante es mantener alternados los discos mediante separadores o espaciadores con el objeto de liberar el flujo generado entre cada par de discos para poder llevar a cabo el esfuerzo cortante en todo el tamaño del lote. Adicionalmente la colocación entre cada par debe ser

llevada a cabo cuidadosamente para asegurar que los perfiles de cada uno no sean alineados sino alternados y así se provoque la acción entre cada par de discos.

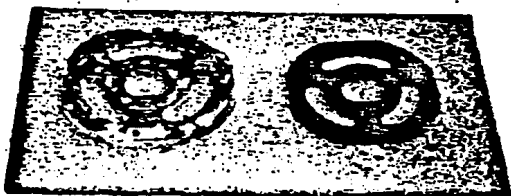
En la siguiente fotografía se aprecia el interior de un molino de 15 litros de capacidad, como se puede observar la cuba cilíndrica se desliza paralelamente al eje de rotación de discos para poder descubrirlos para efectos de mantenimiento y de limpieza o cambio de discos.

Fotografía No. 6



En la siguiente fotografía se muestra los discos desmontados de molinos de 45 y 15 litros respectivamente en los cuales se observan los orificios por donde se genera el flujo de molienda y también el central donde entra la flecha rotatoria.

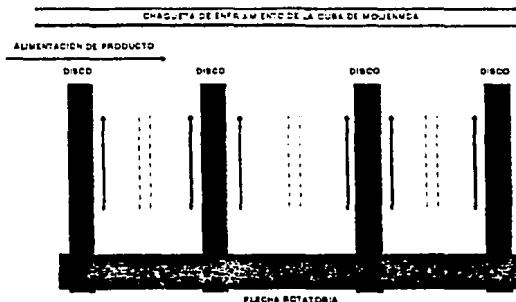
Fotografía No. 7



En el siguiente diagrama se muestra el perfil que guardan los discos una vez montados en la flecha del molino, como se puede apreciar cada par de discos realiza un trabajo de corrección de flujo.

Figura No. 15

**TRAYECTORIA DE FLUJOS DE DISPERSION ENTRE DISCOS**



### 6.3 ESPACIADORES ENTRE DISCOS

En el párrafo anterior mencionamos que cada uno de los discos debe ser colocado de acuerdo a una orientación que presenta cada uno en su propio diseño y además, es importante colocarlos distanciados entrecada uno mediante anillos separadores que deben tener como característica importante desde el punto de vista de diseño las mismas que las referentes a los discos ya que aunque no tienen una función de proceso si están inmersos en las zonas de más intenso esfuerzo cortante ya que éste se lleva a cabo basicamente entre cada par de discos y en su parte central, es decir, cerca de la flecha.

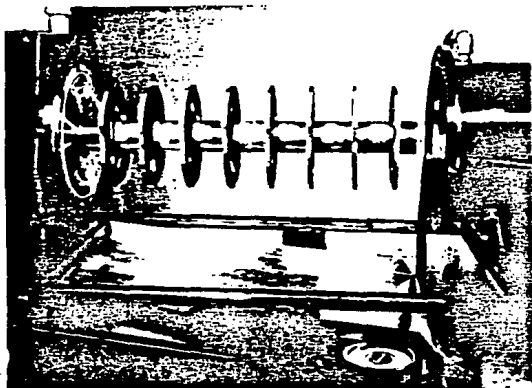
Adicionalmente, desde el punto de vista de diseño estos accesorios deben reducirse al mínimo en cuanto a su diámetro externo con el objeto de no restar volumen útil para esfuerzo cortante durante el proceso. El número de espaciadores requerido para cada equipo es función evidente del número de discos basada la siguiente relación, número de discos menos 1 (separadores =  $d-1$ ) y ésto se debe a que el último disco que es montado sobre la flecha rotatoria es asegurado mediante una tuerca.

En las siguientes fotografías se muestra primero la relación de tamaños de los discos y sus separadores. En la segunda se muestran instalados sobre la flecha los discos y los separadores respectivos de acuerdo a la relación: número de separadores igual a número de discos menos 1 ( $S=d-1$ ).

Fotografia No. 8



Fotografia No. 9



#### 6.4 FLECHA ROTATORIA

Este accesorio es un eje que es montado en el centro del diámetro de la cuba y la longitud debe cubrir alrededor del 90% de la longitud total de la cuba con el objeto de que el tamiz de descarga, los discos de molienda y cada uno de los espaciadores sean perfectamente montados en ella de manera que ésta gire a gran velocidad y transmita el movimiento desde el juego de poleas a los discos y separadores los cuales cuentan con un diámetro interior no circular con objeto de que los discos no queden quietos al momento de la operación ya que la carga de la dispersión y el medio de molienda ofrecen una resistencia al movimiento, sobre todo en el arranque del sistema. Esta flecha es construida normalmente de acero inoxidable 304 ya que en ningún momento estará expuesta a la abrasión puesto que los discos y separadores la cubren del contacto durante el proceso, sin embargo, es necesario que el material de construcción sea el descrito anteriormente ya que de esta manera presenta menos reactividad y riesgo de contaminación para el producto líquido.

En las fotografías anteriores ya fue mostrada discretamente y la que es la parte en la cual se instalan todos los mecanismos propios de molienda.

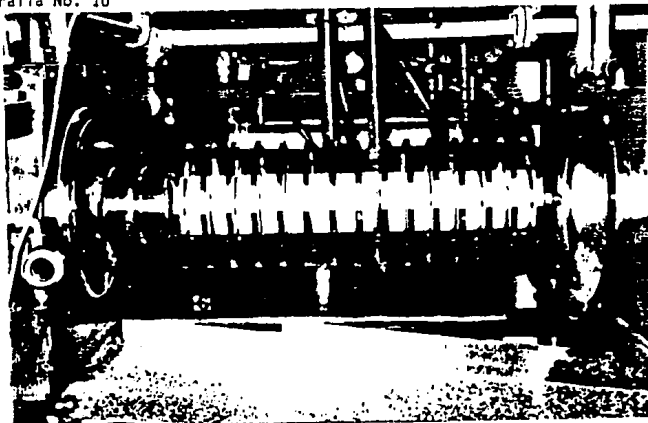
#### 6.5 TAMIZ DE DESCARGA

Este accesorio es suministrado unitariamente por el fabricante y debe ser construido en acero inoxidable ya que casi no está expuesto al esfuerzo cortante, y por ende tampoco a la abrasión durante el proceso. El tamiz de descarga es una especie de colador que pretende ser selectivo entre el medio de molienda y el

flujo de la dispersión y su función exacta es el no permitir que por el efecto packing del medio de molienda por alta viscosidad o flujo el medio de molienda sea descargado de la cuba permitiendo sólo la salida del líquido hacia el exterior del molino, el tamiz debe contar con un orificio central para poder ser colocado antes de cualquier disco y las rejillas selectivas deben tener una abertura máxima no mayor a .008 in o al promedio del diámetro del medio de molienda que normalmente se use, por ello es necesario mantener el tamaño del medio para evitar la pérdida de esta ya que esto genera problemas operativos y de costo como pueden ser: reposición de la carga del medio de molienda al molino, daños a bombas de desplazamiento positivo usadas para transferir la dispersión, calentamiento y presurización de la cuba de molienda y la potencial degradación del pigmento por efecto de la temperatura dentro del sistema.

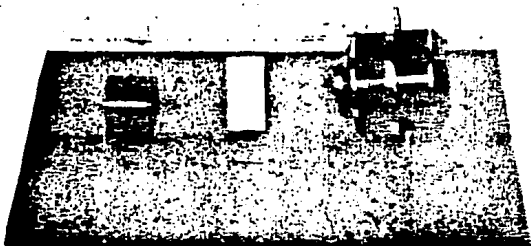
En las siguientes fotografías se muestran los tamices en sentido al flujo de proceso, de perfil y una vez instalado.

Fotografía No. 10

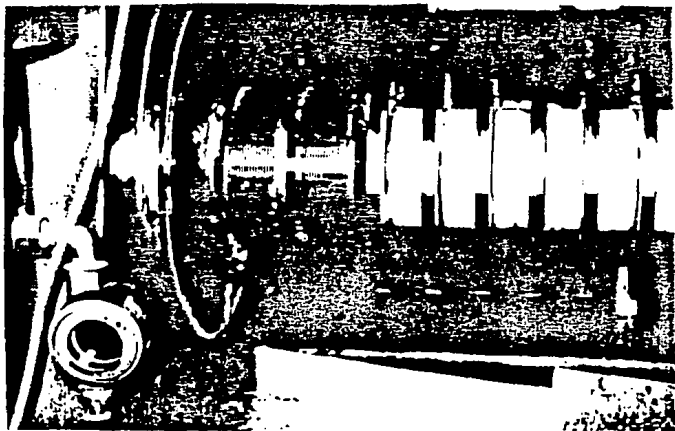




Fotografia No. 11



Fotografia No. 12

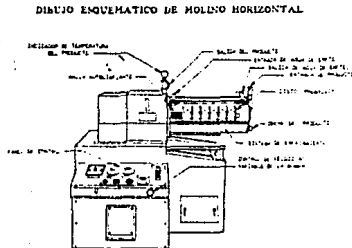


## 6.6 ALIMENTACION Y DESCARGA DEL MATERIAL DE PROCESO.

La alimentación del flujo de materiales, es decir, la mezcla a dispersar se introduce por una boquilla la cual esta colocada en uno de los extremos de la cuba, esta boquilla conduce el material al interior de la cuba de molienda en el extremo opuesto al tamiz de descarga y mediante el trabajo de bombeo y la rotación de los discos el material circula a lo largo de la cuba hasta llegar al extremo opuesto donde se encuentra el tamiz, una vez que el material ha llegado al tamiz el trabajo de bombeo provoca que el material sea colocado por las rejillas selectivas del tamiz y descargado al exterior de la cuba por una boquilla semejante a la usada para introducir el material. El flujo al cual el material es introducido a la cuba dependerá de la dispersión en cuanto a su viscosidad, el número de discos y el área que el tamiz exponga al flujo, así como a la propia capacidad del molino.

En el siguiente diagrama se muestra la alimentación y la descarga.

Figura No. 16



## 6.7 ALIMENTACION Y DESCARGA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO.

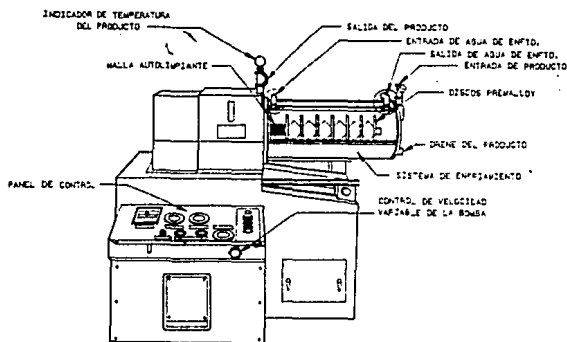
Como ya se ha mencionado el proceso de dispersión en un molino de arena es llevado a cabo básicamente mediante el esfuerzo cortante llevado a cabo dentro de la cuba, por ello, es necesaria la remoción del calor generado durante el proceso como consecuencia de la fricción entre medio de molienda, la mezcla de dispersión o producto y los elementos internos del molino, esta remoción se lleva a cabo mediante la transferencia de calor desde el interior de la cuba hasta el agua de enfriamiento que circula entre la pared externa e interna de la cuba, para ello es necesario mantener un flujo constante de agua de enfriamiento entre 12 y 14 litros por minuto para evitar que el sistema se caliente y pueda provocar problemas de calidad o seguridad durante el proceso como pueden ser, degradación de los pigmentos, pérdida de solventes y aumento de viscosidad en el sistema así como el riesgo de evaporación de solventes inflamables ya que aunque el sistema en la cuba es cerrado las emisiones alcanzan el exterior una vez que son descargadas de la cuba a los tanques del sistema o a los envases en los que se vacía la dispersión. El flujo de agua de enfriamiento requerido a partir de datos obtenidos de una gama de procesos diferentes deberá ser aquel que durante el proceso no permita que la temperatura del producto supere los 40 C durante el proceso debido a que muchos de los solventes y materiales usados se evaporan rápidamente a temperaturas superiores a los 40 grados C. El flujo de agua de enfriamiento debe circular a contracorriente, es decir, en sentido contrario al flujo de alimentación del producto, por ello la boquilla de entrada de agua de enfriamiento está colocada en un extremo de la cuba y cerca de la boquilla de descarga lateral, el flujo deberá circular por todo el interior de la cuba entre la pared exterior e interior de manera que constantemente el calor generado sea

removido del sistema mediante conducción en cualquier punto en que se genere. La descarga del flujo de agua de enfriamiento debe estar colocada en el extremo donde esta la boquilla de alimentación de material a la cuba.

En el siguiente diagrama se muestran las boquillas de entrada de agua de enfriamiento, salida y la chaqueta de enfriamiento (cooling jacket).

Figura No. 17

### DIBUJO ESQUEMATICO DE MOLINO HORIZONTAL



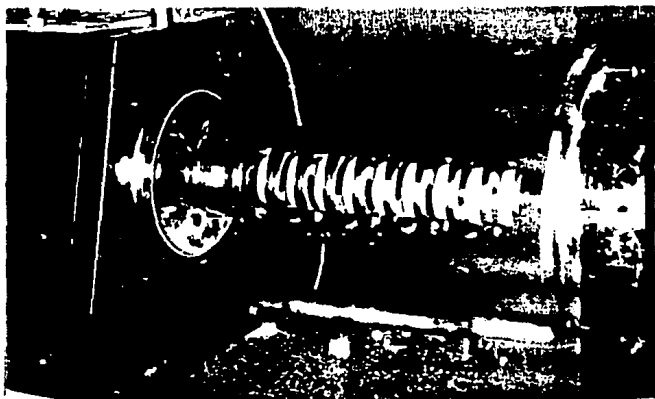
## 6.8 CUBA DE PROCESO

Este elemento es muy importante pues es aquel que limita del exterior del sistema de molienda, es un recipiente cilíndrico colocado de manera horizontal por el cual circula el agua de enfriamiento en una chaqueta interior entre la pared externa y la interna, el material puede ser de acero inoxidable 420 con el objeto de ser más resistente a la oxidación generada por el agua de enfriamiento, el interior debe ser recubierto con una capa de cromo duro con el objeto de reducir los efectos de la abrasión durante los procesos y así alargar la vida útil de la cuba. adicionalmente, la cuba funciona como la cámara de molienda ya que el material de proceso es conducido a lo largo de ésta y el medio de molienda ya que el material de proceso es conducido longitudinalmente a ésta y el medio de molienda se carga y permanece dentro de ella, además, recordemos que el juego de accesorios como discos, flecha, tamiz y separadores también están en el interior de este recipiente. El volumen de la cuba vacía relaciona al usuario con el modelo del molino existiendo capacidades nominales desde 5,15.30,45 y hasta 200 lts.

Un aspecto importante para el buen funcionamiento del molino es mantener libre de obstrucciones la chaqueta de enfriamiento ya que el agua de enfriamiento contiene una serie de minerales que se van depositando gradualmente dentro de la chaqueta generando incrustaciones y por ende la posibilidad de que el agua no circule al flujo requerido; para mantener la temperatura del proceso mediante la remoción del calor generado en el proceso dentro de los límites deseables y con ello la posibilidad de generar problemas durante las operaciones.

En el siguiente par de fotografías se muestran las cubas descritas; primero en posición de operación y posteriormente en posición de limpieza, mantenimiento, etc.,

F o t o g r a f í a N o. 13



## 6.9. CARGA DEL MEDIO DE MOLIENDA

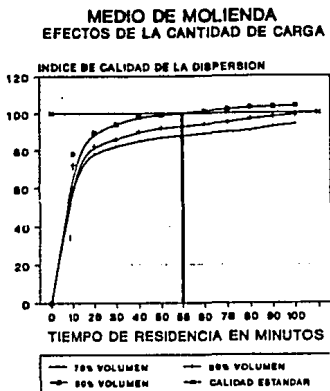
A lo largo de varios incisos de esta tesis hemos mencionado que la cantidad de medio de molienda cargado al interior de la cuba es muy importante desde el punto de vista de operación ya que un exceso provoca problemas de proceso y un faltante de ésta aumenta los ciclos de proceso restando evidentemente la eficiencia del equipo. La cantidad de medio de molienda que debe ser cargada a estos molinos se mantiene constante al porcentaje que hemos mencionado, es decir, entre un 80 y 90% del volumen libre después de que la flecha, los discos, separadores y el tamiz han sido instalados. Para el caso específico de el molino de arena HM-15 la cantidad de medio de molienda es función del volumen total de la cuba menos el ocupado por los accesorios arriba mencionados y sobre este resultado el volumen ocupado debe ser 90%, es decir, el volumen nominal son 15 litros, menos el que ocupan los accesorios internos obtenemos 11.6 litros reales y este número multiplicado por un 90% correspondiente a la carga de medio de molienda nos ofrece un volumen libre de 6.03 litros para flujo de material.

Para conocer mejor el comportamiento de los procesos en función del tipo de residencia podemos observar la siguiente gráfica que muestra los resultados obtenidos si la cantidad de medio de molienda es modificada en varios porcentajes de ocupación desde el 70, 80 y 90% del volumen ocupado por éste, después de que los accesorios están instalados y es evidente que los mejores resultados en función de eficiencia corresponden a la carga al 90% sin que este porcentaje provoque problemas operativos o de proceso.

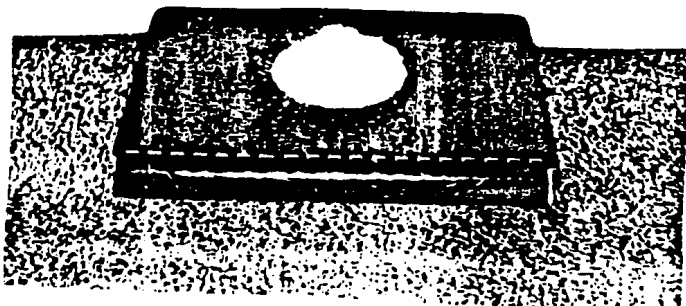
Adicionalmente en el segundo esquema se muestra una fotografía del medio de

molienda que pretende solo mostrarla como ejemplo representativo.

Gráfico No. 11



Fotografía No. 15





## **CAPITULO 7**

### **7.0 PRUEBAS PILOTO**

A partir de este momento empezaremos a entrar en el punto central de esta tesis el cual puede sumarse en la transformación de la configuración original de los molinos para reducir los ciclos de procesos de las dispersiones.

Para llevar a cabo las pruebas piloto se requirió evaluar los cambios en un molino prototipo que de preferencia fuera el de menor tamaño para minimizar el costo de la transformación pero teniendo en cuenta que a la vez dicho equipo tendría que ser lo suficientemente representativo para escalar los cambios a todos los demás equipos minimizando el riesgo de no poder reproducir los efectos debido a las dimensiones de equipos de mayor capacidad con el consiguiente gasto en el conjunto de transformaciones a todos los demás equipos, por ello las transformaciones mecánicas se llevaron a cabo inicialmente en un molino super mill modelo HM-15 litros de capacidad.

### **7.1 MODIFICACION AL MOLINO DE ARENA HORIZONTAL DE 15 LTS.**

A raíz de todos los antecedentes dados en los capítulos anteriores podemos resumir que las modificaciones que se pretenden a los molinos de arena horizontales consisten básicamente en la reducción del tamaño de los separadores (para poder colocar un número mayor de discos), un aumento en la superficie expuesta al flujo de dispersión procesado, mediante un tamiz de descarga más grande, un número mayor de discos de molienda (generar más puntos de esfuerzo)

y un aumento de velocidad de los discos desde la transmisión del motor (más intensidad por unidad de tiempo).

Con estos cambios pretendemos demostrar la reducción del ciclo de proceso de dispersiones típicas mediante la reducción del tiempo de residencia en el molino los cuales han sido estandarizados desde hace tiempo para cada producto y son bien conocidos, adicionalmente.

En terminos generales los cambios arriba mencionados pretenderán demostrar en base a ciertas relaciones teóricas y otras tantas prácticas la efectividad del proyecto para aumentar la productividad de la línea de producción de dispersiones sin tener que invertir grandes cantidades de dinero para comprar molinos adicionales que cubran una demanda ascendente.

## 7.2 CARGA DEL MEDIO DE MOLIENDA

Hemos mencionado que para lograr un punto máximo de zonas de esfuerzo sin que se genere carga térmica adicional y posibilidad de packing es necesario cargar el medio de molienda entre el 80 y 90% del volumen de la cuba una vez que los elementos están instalados, es decir, discos, flecha, separadores y tamiz, este principio deberá conservarse después de haberse modificado el equipo y por ello el espacio disponible en la cuba para el medio de molienda.

### 7.3 DISCOS DE MOLIENDA

Originalmente es vendido comercialmente por la Compañía PREMIER MILL con 6 discos de molienda que corresponden al modelo HM-15. Con objeto de capitalizar mayores puntos potenciales de esfuerzo cortante se montaron sobre la flecha (la cual no sufrió cambio alguno) 10 discos pero de un modelo de menor capacidad, es decir, del HM-5 los cuales tienen diámetros externos menores a los del HM-15 y así generar más puntos de esfuerzo por medio de la instalación de un número mayor de discos sin aumentar significativamente la generación de calor manteniendo la temperatura de operación alrededor de los 40°C. Las dimensiones de los nuevos discos son:

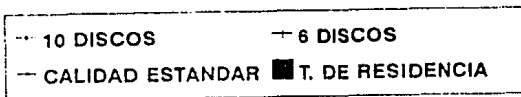
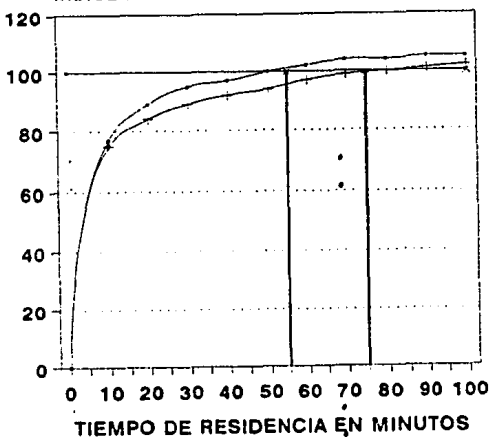
Diámetro mayor .....	17.30 cm
Diámetro menor .....	16.51 cm
Ancho o canto .....	1.00 cm, sin cambio

El impacto de haber colocado un número mayor de discos no es tan solo como tal, sino que evidentemente la superficie expuesta o disponible para generar esfuerzo cortante es mayor, es decir, el disco del molino HM-15 expone 164 cm<sup>2</sup> de superficie en la cara de cada disco, mientras que los nuevos discos a instalar en el molino muestran por cada uno una superficie mayor que es aproximadamente 228 cm<sup>2</sup>, esto se logra porque los discos del molino HM-15 son de un radio total mayor al de los HM-5, sin embargo, la superficie de cada disco entre diámetro interno y externo es mayor. El efecto de haber implementado un mayor número de discos se muestra en la siguiente gráfica la cual referida al tiempo de

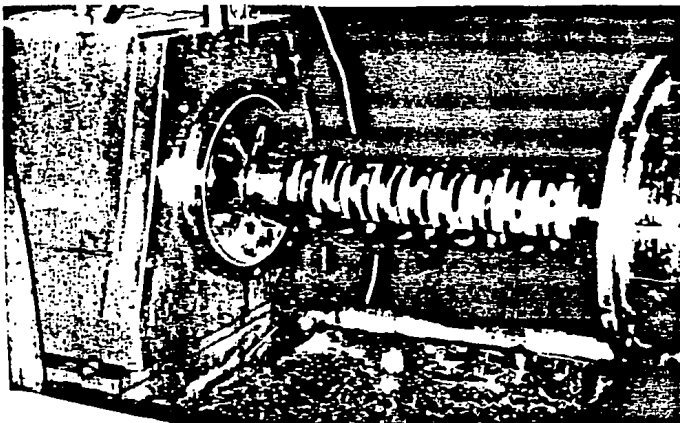
residencia ofrece bases para incluir que a mayor número de discos la calidad del producto se consigue en menor tiempo de residencia independientemente de la dispersión que se procese, es decir, en todas aquellas en las que se llevó a cabo el piloto con el número y tamaño de los discos así como necesariamente sus espaciadores respectivos. Las demás modificaciones que se proponen en esta tesis permanecieron inalteradas hasta este momento. Con respecto a los espaciadores podemos mencionar que el área expuesta de cada uno de ellos es evidentemente mucho menor a los originales ya que de otra forma no podría lograrse la instalación de un mayor número de discos si la flecha donde estos y los espaciadores tiene que mantener las dimensiones originales.

Gráfico No. 12

### DISCOS DE MOLIENDA EFECTOS DEL NUMERO DE DISCOS INDICE DE CALIDAD DE LA DISPERSION

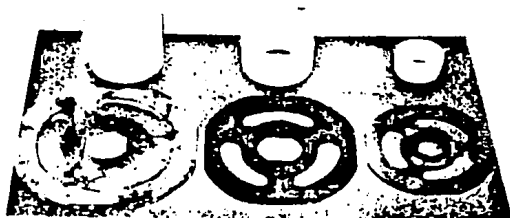


Fotografía No. 16



En la siguiente fotografía se muestran para mejor apreciación dos discos aislados, el primero es notablemente mayor.

Fotografía No. 17



Un beneficio importante a partir de la reducción del tamaño de los discos de molienda en los propósitos de la transformación de los molinos es el incrementar la distancia entre el canto de cada uno de ellos y la pared de la cuba, esto provoca una reducción en la abrasión del metal de la pared interna de la cuba.

Retornando las conclusiones sobre la gráfica de deducción del ciclo que muestra la diferencia en los procesos de dispersión llevados a cabo en dos arreglos mecánicos, es decir, datos de proceso con seis discos originales y el otro con diez nuevos, podemos concluir que el tiempo de residencia para una serie de dispersiones semejantes requiere de unos 76 minutos para poder conseguir una calidad estándar mientras que las dispersiones procesadas en un equipo modificado requieren de solo 53 minutos. Estos resultados muestran que la eficiencia del molino puede ser mayor mediante el aumento del área de esfuerzo cortante por cada unidad de volumen. Lo anterior podría suponer que si aumentamos aún más el número de discos podríamos conseguir aún mejores tiempos de residencia, sin embargo este supuesto aumenta drásticamente la demanda de enfriamiento cuando se lleva a la práctica y además provocar una gran interferencia con respecto al flujo de alimentación de material a la cuba debido a que este último es introducido al molino en forma perpendicular al flujo generado por la acción rotatoria de la serie de discos y necesariamente tendríamos que reducir mucho más la separación entre cada para de discos y esto interrumpiría el flujo de proceso resultando contraproducente.

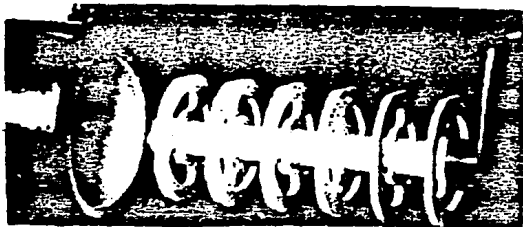
#### 7.4 ESPACIADORES ENTRE DISCOS

En el párrafo anterior mencionamos que se cambiaron el número y tamaño de discos para obtener mayores zonas de proceso, sin embargo, el fabricante ofrece el molino HM-15 con 5 separadores para cumplir con la relación entre número de discos y separadores, así, conservando la relación se diseñaron 9 separadores de menor tamaño ya que si la flecha rotatoria no fue modificada la longitud de esta debe alojar toda la serie de discos, por ello en el diseño de estos separadores se disminuyeron las dimensiones en cada uno de manera que sobre la flecha pudieran montarse los 10 nuevos discos y los correspondientes 9 separadores y adicionalmente el tamiz de descarga. Los separadores fueron fabricados por un maquinador y se tornearon a partir de un plástico llamado comercialmente Delrin\* el cual no sólo es muy resistente a la temperatura sino también a la abrasión generada en mayor grado a raíz de las modificaciones realizadas. Finalmente las dimensiones de cada anillo o separador se modificaron únicamente en función del ancho, es decir, en la longitud extrema a cada disco por lo que las dimensiones finales se establecieron en:

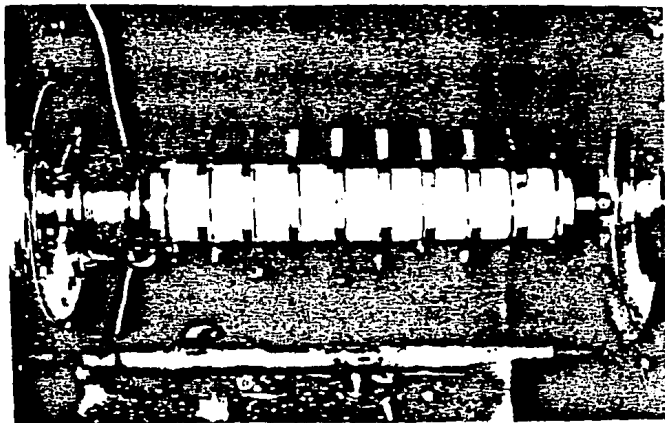
Diámetro interno .....	3.6 cm sin cambio
Diámetro externo .....	6.5 cm sin cambio
ancho .....	2.9 cm (antes 6.0)

En las siguientes fotografías se muestra primero el arreglo original con seis discos grandes y sus 5 separadores respectivos; en la segunda fotografía se muestra el cambio de número de discos a 10 y sus 9 separadores. Notese que la distancia entre cada disco ha disminuido notablemente mediante el nuevo diseño de los separadores.

Fotografia No. 18



Fotografia No. 19





## 7.5. REVOLUCIONES POR MINUTO DE LA FLECHA (RPMs)

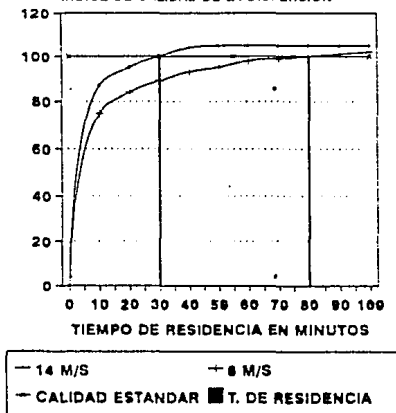
En capítulos anteriores se mostró que una variable importante para provocar más intensidad en las zonas existentes de esfuerzo cortante es la velocidad con la cual las partículas se mueven dentro de la cuba de molienda, adicionalmente al aumento de zonas de esfuerzo cortante, existe otro parámetro que es la intensidad del propio esfuerzo; por ello retomamos experimentalmente dicho principio y se cambiaron las poleas transmisoras de movimiento del motor y la propia de la flecha de manera que a cada revolución de la flecha del motor la del molino girará más veces y así se consiguieron velocidades tangenciales del orden de 14 m/s a diferencia de las originales del HM-15, es decir 8 m/s.

Análogamente a los resultados mostrados en función del aumento del área de proceso disponible para generar un esfuerzo cortante ahora mostraremos otro cambio importante en función del aumento de velocidad de la flecha rotatoria recordando que la serie de discos de molienda así como los espaciadores son instalados sobre ella.

Como ya lo hemos discutido previamente la velocidad con la cual gira la serie de discos define el nivel máximo de esfuerzo cortante en el molino. Con una velocidad rotatoria elevada, una alta intensidad en el esfuerzo cortante y por ello un nivel alto de calidad del producto se consigue en el proceso del molino, por ello un cambio en la velocidad de rotación de los discos afecta a la calidad de la dispersión y al flujo de alimentación mediante el cual la calidad estándar se consigue.

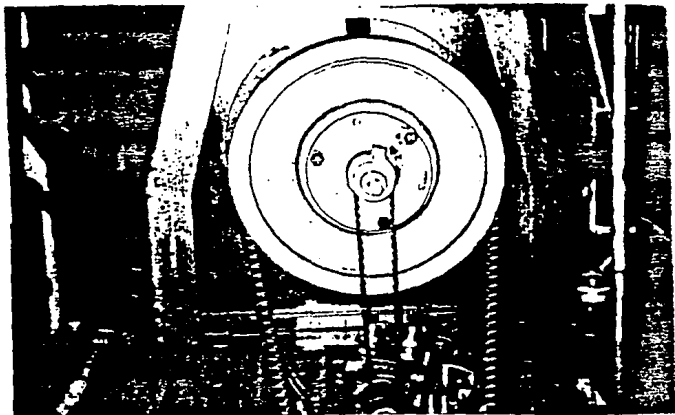
Normalmente los equipos de molienda son diseñados originalmente para trabajar a una velocidad del orden de 8 m/s, en la gráfica anexa se muestra el comportamiento experimental comparativo conseguido en el proceso de una serie de dispersiones típicas procesadas primero con el arreglo original del molino y posteriormente con el arreglo original tan solo variando la velocidad de rotación de 8 m/s a 14 m/s. Como se puede concluir este cambio también es favorable ya que la calidad estándar se llevó a cabo en el primer caso con tiempos de residencia de 80 minutos y en el segundo caso, es decir, con la modificación se logró en tiempos de residencia del orden de 29 minutos. De manera similar, el resultado positivo podría sugerir de nuevo que si aumentamos aún más la velocidad de rotación podríamos obtener mejores tiempos de residencia, los problemas que surgirían son prácticamente los mismos que se presentarían si excediéramos más aún la cantidad de discos de molienda.

Gráfico No. 13 **DISCOS DE MOLIENDA**  
**EFFECTOS DE LA VELOCIDAD DE ROTACION**  
**INDICE DE CALIDAD DE LA DISPERSION**



Adicionalmente se muestra en la siguiente fotografía el detalle de la transmisión modificada para aumentar la velocidad de eje y discos.

Fotografía No. 20



#### 7.6 TAMIZ DE DESCARGA

Este accesorio juega un papel muy importante suponiendo que todos los cambios descritos anteriormente orienten el proceso positivamente hacia la reducción del ciclo de proceso. No podría ser completo si no aumentáramos la superficie expuesta a la descarga del flujo de la dispersión y ésto provocaría necesariamente packing, calentamiento u otras desviaciones, por ello se colocó un tamiz de mucha mayor superficie para completar los cambios teóricos. Los demás elementos internos del molino no sufrieron cambio alguno. En la fotografía anexa se muestran los dos tamices, el izquierdo es aquel que es instalado en el molino

durante su fabricación, el segundo o derecho es el que se instaló para contribuir a los cambios ya señalados mediante una superficie mucho mayor, la cual estará expuesta al flujo de proceso. El único cambio llevado a cabo sobre este accesorio es su área superficial ya que el claro entre rejillas y sus dimensiones de instalación con respecto a la flecha son constantes entre ambos modelos.

La importancia del aumento del área expuesta al flujo es muy importante ya que debido a las modificaciones mencionadas el equipo está habilitado para manejar un mayor flujo de dispersión durante el paso por el molino y si la superficie de descarga no es lo suficientemente amplia para lograr esto la utilidad de los cambios quedarán anulados casi en su totalidad. Esta última modificación es complementaria para tener una concordancia entre los cambios más impactantes como fueron lo relacionado con el número y tamaño de discos y la velocidad de operación del molino.

Adicionalmente el impacto en las operaciones de proceso de dispersión llevados a cabo bajo flujos mayores se representan en la siguiente gráfica la cual expone en general dos comportamientos, el primero es aquel que es llevado a cabo en altos flujos de proceso, la tendencia que podemos concluir es que a medida que el flujo es mayor durante el proceso la calidad estándar de cualquier dispersión es conseguida gradualmente más rápidamente que aquella que es desarrollada en un molino operando a flujos de proceso menores.

## EFFECTOS EN CAMBIO EN FLUJO DE DISPERSION

Gráfico No. 14

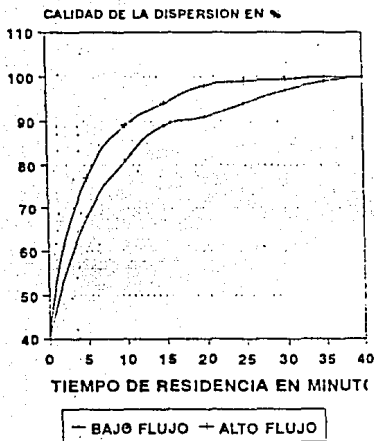
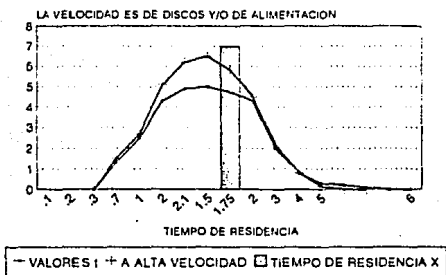


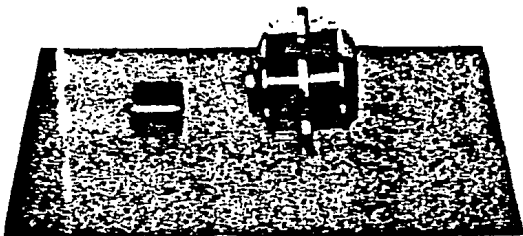
Gráfico No. 15

## DISTRIBUCION DEL TIEMPO DE RESIDENCIA EFECTO DE ALTA VELOCIDAD



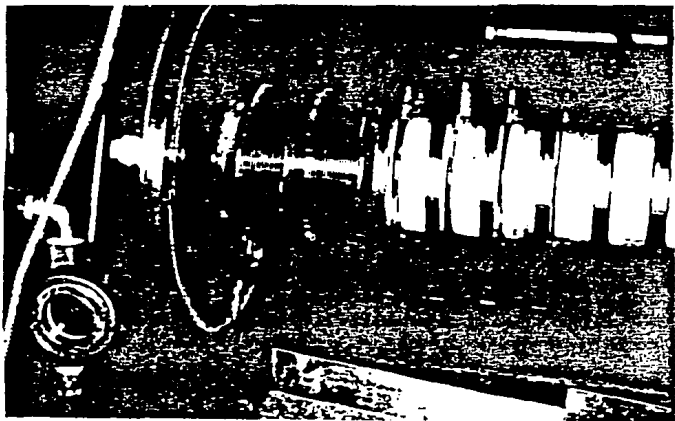
Comparación de tamices:

Fotografía No. 21



En la siguiente fotografía se muestra el nuevo tamiz instalado.

Fotografía No. 22



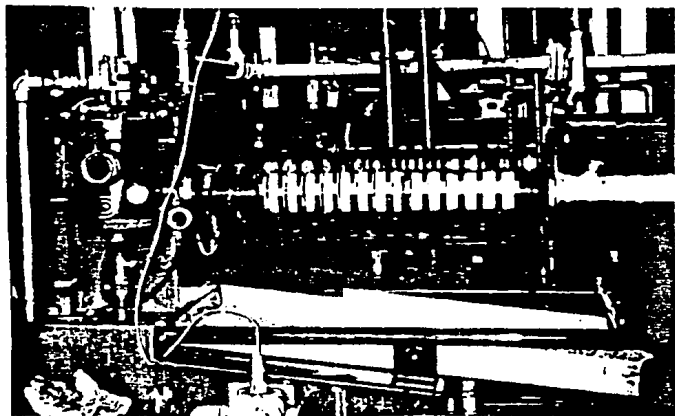
## 7.7 CUBA DE MOLIENDA

Esta parte del molino no fue modificada en forma muy impactante, la única modificación fue el haber recubierto doblemente el interior de ésta con cromo duro con el objeto de darle una mayor duración debido a que con los cambios llevados a cabo en función del número de discos y velocidad rotatoria, la abrasión también aumentó y fue necesario prevenir el desgaste de esta mediante dicho recubrimiento. Ninguna otra modificación fue hecha sobre este accesorio.

A continuación se muestran los arreglos citados en los capítulos anteriores pero en molinos escalados de 45 litros, tal y como están en operación.

Observese el doble tamiz, el número de discos instalados (originalmente 8) y los separadores.

Fotografía No. 23





## CAPITULO 8

### 8.0 RESULTADOS A PARTIR DE LAS MODIFICACIONES PILOTO EN EL MOLINO HM-15

Una vez terminada la transformación sobre el molino de arena horizontal HM-15 el cual está definido como el número 1 en la línea de molinos de la fábrica de pinturas Du Pont Tlalnepantla, se procedió a definir una serie de dispersiones que abarcaran una gama de colores, propiedades finales, materias primas etc., las cuales pudieran mostrar la operatividad de los cambios llevados a cabo sobre este equipo mediante los resultados estandarizados antes del cambio y justo después de él. Los códigos de las dispersiones se mantienen identificados como en la propia fábrica y los resultados comparativos son los siguientes:

Tabla No. 2

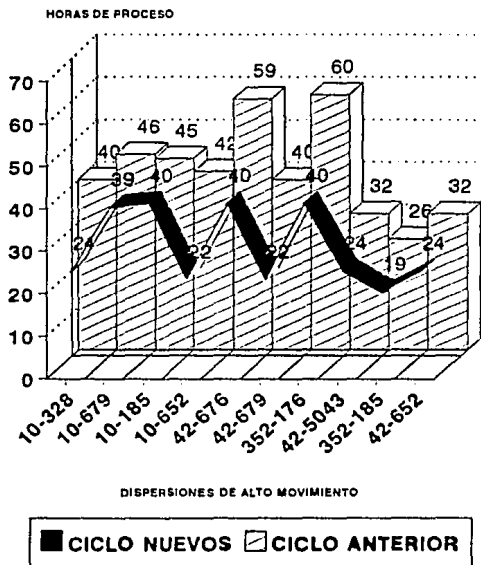
DISPERSION	TIEMPO DE RESIDENCIA		INCREMENTO
	ANTERIOR	NUEVO	
10-328	40	24	-40
10-679	46	39	-15
10-185	45	40	-11
10-652	42	27	-36
42-676	59	40	-32
42-679	40	27	-33
352-176	60	40	-33
42-5043	32	24	-26
352-185	20	19	-5
42-652	32	24	-26

Los códigos arriba mencionados representan un 70% de la producción de esta fábrica; después de los cambios hechos en el molino piloto modelo HM-15, lo que representa una expansión de capacidad de producción así como una oportunidad de responder más rápido a las demandas del mercado.

La siguiente gráfica muestra los resultados globales de la Planta.

Gráfica No. 16

## REDUCCION DE CICLOS DE PROCESO DISPERSIONES DE ALTO MOVIMIENTO DU PONT



CFV.RES-CICLOS

## 8.1 CONCLUSIONES

Partiendo de los resultados obtenidos en la Planta de Du Pont Pinturas Tlalnepantla podemos señalar que los cambios descritos durante la tesis confirman las bases teóricas y apoyan el sentido de la propia tesis, es decir, el evaluar experimentalmente los cambios en los molinos de arena horizontales para demostrar el potencial de reducir significativamente los ciclos de proceso de una variedad de dispersiones así como la posibilidad de reducir la cantidad actualmente empleada de pigmento en dichas dispersiones sin que se implique una disminución en la calidad o propiedades de las pinturas automotrices que con las dispersiones se producen.

Al obtener los nuevos resultados citados en la gráfica de la página 99, podemos apoyar que las modificaciones realizadas a los molinos de arena horizontales ofrecen una gran oportunidad para aumentar la capacidad instalada de producción de cada molino bajo una inversión poco significativa comparada con aquella que se requiere para aumentar la capacidad, invirtiendo en la compra e instalación de un molino. La diferencia económica entre una modificación es de unos \$4,000.00 DLLS., contra unos \$75,000.00 que cuesta actualmente un molino supermill horizontal de 30 litros o unos \$40,000.00 de 15 litros.

Como se puede observar, la diferencia es de casi 10 veces en cuanto a inversión mientras que en producción puede variar pero en forma general un molino nuevo no puede aumentar 20% la capacidad instalada de la planta, por ello se concluye que aún en términos de inversión es más conveniente realizar los cambios.

Evidencia de la conclusión anterior es que a casi un año de haberse realizado el primer cambio en el molino No. 1 de la Planta de Du Pont, hoy se han transformado 8 molinos más que son la totalidad de este tipo en dicha empresa y la capacidad de producción en términos reales ha aumentado un 16% y por ello se ha obtenido un gran ahorro ya que durante 1992 y 1993 se requirió trabajar aproximadamente 20 semanas sábados y domingos completos para cubrir la demanda del mercado independientemente que ésta ha crecido a razón de 9% para 1994.

Cabe mencionar que los principios de proceso de un molino de arena horizontal son los mismos que de uno vertical; por ello ahora estamos trabajando en modificaciones análogas a las presentadas en este documento pero ahora sobre los 5 molinos verticales tipo P-47 que actualmente se encuentran en proyecto y de los cuales seguramente se encontrarán resultados análogos a los descritos mediante la gráfica de la página 99.

Finalmente los trabajos realizados sobre los molinos horizontales de la Planta de Du Pont Pinturas, Tlalnepantla, han sido requeridos por la Vicepresidencia de Manufactura de Du Pont - México y por 7 Plantas de pintura automotriz que existen en Norteamérica para lo cual se organizaron dos eventos tecnológicos en los Estados Unidos.

Finalmente este proyecto fue considerado estratégico, por ello no se expresan experimentaciones relacionadas con la reducción de pigmento en las dispersiones estudiadas ya que esto se considera una ventaja competitiva exclusiva de Du Pont.

## BIBLIOGRAFIA

- Du Pont Company, E.I. Sand Grinding Process for dispersing pigments  
Wilmington, Del. 1961.
- Chicago Bolier Company, a primer of sand grinding, Chicago, I 11, 1961.
- Company Brochure, "Selecting Sand Mill Medias" Quackenbush Company,  
Palatine I 11, 1977.
- Progress Report 7 C (Revised), "Sand grinding of pigment colors", E.I. Du  
Pont Company, Pigments Division, Wilmington, Del..
- Company Brochure, "Supermill by Premier", Premier Mill Corporation, 1140  
Broadway, New York 10001.
- Patton C. Temple, "Paint flow and pigment dispersion", 2nd., edition,  
John Wiley and Sons, N. Yory, 1976.
- Du Pont Company, E.I. Dispersion Sysems. Theory - operation - training  
Wilmington, Del. 1979.
- Du pont Company, E.I. Dispersion process manuals. F. and F.P. division  
Wilmington, Del. 1989.

- Du Pont, S.A. de C.V., Estandar de Proceso de Molinos de Arena. Tlalnepantla, Edo. Mex., 1992.
- Schnaffer, Martin H., "Dispersion and Grinding" Unit 16, Federation series on coating technology, Federation of societies for paint technology, Philadelphia, Pa., 1970.
- Du Pont Company, E. I. Marshall Laboratories, annual report 1991, Philadelphia, Pa. 1991.
- BOYER, WILBUR, (CHAIRMAN) "Studies on a Dispersibility Test Using a Controlled Energy Sand Mill" HPT, 39, No. 514, 677 - 685, November (1976).
- Du Pont, S.A. de C.V., Curso de dispersiones procesadas en molinos de arena y en molinos de bolas, Tlalnepantla, Edo. Mex. 1986.
- Du Pont Company, E.I. technical training manual, Marshall Laboratory, Philadelphia Pa. 1992.