



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

63

“PREPARACION INDUSTRIAL DE
ESMALTES PARA VIDRIO”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A

RAUL RAMON MORA HERNANDEZ

M-19157

1980



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO ORIGINALMENTE:

PRESIDENTE : QUIM. MARTHA RODRIGUEZ PEREZ
VOCAL : ING. JORGE MARTINEZ MONTES
SECRETARIO : ING. ENRIQUE BRAVO MEDINA
1er. SUPLENTE : ING. BERTHA CONTRERAS
2do. SUPLENTE : QUIM. MERCEDES MEIJUIERO MOROSINI

SITIO EN DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:

DIVERSAS INDUSTRIAS CERAMICAS Y SIMILARES

NOMBRE DEL SUSTENTANTE : RAUL RAMON MORA HERNANDEZ

FIRMA SUSTENTANTE :



NOMBRE DEL ASESOR : ING. ENRIQUE BRAVO MEDINA

FIRMA ASESOR :



P R O L O G O

El presente trabajo se desarrolló en base al pronunciado crecimiento que ha mostrado la decoración de vidrio con esmaltes vitreos en México en -- los últimos años. No obstante, este gran crecimiento, ha carecido de su ficientes bases teóricas. No existe información actualizada y adaptada a las condiciones comunes de operación de nuestra industria. Se cuenta con muy pocos libros, revistas y artículos extranjeros que tratan superficialmente de cerámica y en una mínima parte de los principios básicos de los esmaltes vitreos para vidrio, haciendo siempre mención a tecnología extranjera, la cual es muchas veces, poco accesible a nivel nacional. El proceso del esmaltado exige maquinarias muy costosas y especializadas que hacen que sea exclusivo de las grandes industrias. Pocas veces un artesano empírico ó principiante puede competir en el mercado si no tiene un procedimiento de decoración adecuado y más aún, si no conoce los fundamentos básicos de la decoración y preparación de esmaltes vitreos.

El objetivo de este estudio es el de dar a conocer los principios generales de este tipo de decoración empezando por el concepto de vidrio, sus propiedades físicas y químicas, tipos de vidrios, materias primas para su preparación, la función de cada una de ellas, el equipo y procedimientos empleados en la industria, métodos de aplicación, maduración y control, así como los principales defectos y problemas durante el proceso de esmaltado de vidrio, refiriéndonos concretamente a la decoración de envases de vidrio.

ANTECEDENTES

En el año de 1958 se empezó, prácticamente, la producción de esmaltes para decorar vidrio. En este año se instaló la primer planta productora en -- México y la importación de esmaltes fué considerablemente disminuída. Actualmente esta misma compañía produce aproximadamente el 90% del consumo nacional y otras dos muy pequeñas el 10% restante.

El consumo anual de esmaltes vitreos para el año de 1978 fué de 1'350,000 kgs., teniendo un valor comercial de 70 a 250 pesos por kilogramo según -- las características propias y el uso final de ellos. La distribución de los esmaltes de acuerdo a su consumo es el siguiente:

Tabla 1.1 *	<u>Esmaltes</u>	<u>Consumo %</u>	<u>Precio (Pesos por Kgs)</u>
	Blancos	60	70
	Rojos, y azules esp.	20	250
	Otros	20	160

Según estos datos las ventas anuales promedio para 1978 fueron de -----
167'400,000.- pesos.

Por otro lado, los mayores consumidores de esmaltes vitreos son los productores de refrescos envasados, siguiendo los productores de cerveza en botella y por último los fabricantes de perfumes y cosméticos en general.

Los primeros de ellos consumen el 85% del total nacional, por lo que su crecimiento da una firme idea del crecimiento de las industrias productoras de esmaltes, dado a que para etiquetar envases de refresco no existe algo mejor que la decoración vítrea por su gran resistencia química, su gran durabili--dad (hasta 20 lavados alcalinos) y sobre todo por su bajo costo.

La producción de envases para refrescos en los últimos 5 años es la siguiente:

Tabla 1.2 *

Año	No. envases (en millones)
1974	494.3
1975	555.3
1976	588.7
1977	652.0
1978	717.2

En esta tabla se puede observar un crecimiento muy uniforme y para solamente 5 años se tiene una tasa de crecimiento del 45.1% lo que indica una industria sumamente próspera.

* Datos obtenidos en la Dirección General de la Secretaría de Programación y Presupuesto.

I N T R O D U C C I O N

El principio de la decoración de objetos de vidrio con esmaltes vitreos, es el de hacer fundir un vidrio generalmente coloreado (esmalte) sobre un vidrio cualquiera (base), por medio de un tratamiento térmico adecuado.

Desde el punto de vista anterior, un esmalte se puede entender como un vidrio ajustado a un punto de fusión determinado.

A la temperatura en la que un esmalte funde completamente se le conoce como punto de maduración y tiene la característica de que a ésta temperatura el vidrio base empieza su ablandamiento, propiciando la integración física de ambos. Una vez ocurrida la maduración se tiene una sola unidad vitrea inseparable por medios físicos o químicos comunes.

El secreto de una buena decoración consiste en seleccionar un esmalte apropiado a la base, y en controlar correctamente los factores principales que afectan al proceso. Es muy importante hacer notar que para cada tipo de base existe teóricamente un sólo tipo de esmalte, la relación entre tiempo y temperatura de calentamiento juega un papel muy importante en el acabado final. Un mal control puede traer consigo una mala superficie, escurrimiento, empañamiento, cambio y oscurecimiento del tono y mala opacidad entre otros defectos.

Si suponemos condiciones de operación estándar, la composición de un esmalte va a ser el factor más importante que va a determinar las características del decorado. Es por esto que es conveniente conocer exactamente la composición de la base, así como las limitaciones térmicas del objeto, con el fin de poder preparar o seleccionar un esmalte que funcione de acuerdo a lo deseado.

CAPITULO 1

El Vidrio como Base de un Esmalte

1.1 Definición de Vidrio :

En razón del gran número de productos designados generalmente con el nombre de vidrios, y de la complejidad del estado vitreo, es muy difícil dar una definición que comprenda todas las variedades.

Modernamente se considera que el vidrio es una solución sólida en sobrefusión, es decir, una materia fundida fuertemente enfriada que aparece solidificada a la temperatura ambiente, debido a que la resistencia opuesta por el frotamiento interior de sus moléculas a ésta temperatura es tan grande, que el corrimiento mutuo es imposible.

En términos prácticos, se considera al vidrio como una asociación muy compleja de sílice y de un silicato alcalino con uno o varios silicatos terrrosos o metálicos.

1.2 Tipos de Vidrio :

En base a la definición, el vidrio posee las mismas propiedades ópticas que las soluciones líquidas como son la reflexión, refracción y dispersión, pero las propiedades principales de un buen vidrio usual son transparencia, brillo, sonoridad y dureza. Así como la fusibilidad depende en gran parte del contenido de sílice, las propiedades citadas dependen, principalmente, de la naturaleza de las bases. Según éstas, cabe también dividir los vidrios usuales en cuatro grupos, con las siguientes propiedades generales:

1.2.A Vidrio Cálxico-sódico.

Llamado también vidrio francés o vidrio para ventanas, es transparente - aún en placas gruesas, de color casi siempre verde azulado y fusibilidad media; es el más duro de los vidrios ordinarios y poco sonoro.

1.2.B Vidrio Cálxico-potásico.

Llamado en el comercio vidrio de Bohemia o medio cristal, incoloro, difícilmente fusible, no tan duro como el primero y con buena sonoridad.

1.2.C Vidrio Plúmbico potásico.

Conocido casi siempre en el comercio con los nombres de cristal de plomo o pesado, y vidrio sonoro, es todavía más perfectamente incoloro que el precedente, fácilmente fusible, poco duro, pero notable por su brillo y sonoridad, y especialmente por su elevado índice de refracción.

1.2.D Vidrio Alúminico cálcico alcalino.

Conocido como vidrio ordinario para botellas, casi siempre fuertemente coloreado desde el amarillo rojizo hasta el pardo oscuro, o verde claro hasta verde oscuro, fusible con bastante dificultad, duro y resistente, sin sonoridad.

1.3 Propiedades Químicas:

1.3.A La acción de la humedad:

El enemigo más peligroso de la transparencia y brillo de los vidrios es la humedad; después de largo tiempo el vidrio puede perder su brillo y desaparece el pulimiento de cristal, los vidrios, primitivamente incoloros y transparentes, se vuelven irisados y presentan a la luz del sol todos los colores del arco iris o se vuelven turbios y opacos a causa de -

la película que los cubre. Los buenos vidrios resisten durante siglos sin experimentar tales transformaciones, pero en las clases malas aparecen rápidamente después de pocos años. Para evitar tales defectos es imprescindible verificar las proporciones de la fórmula empleada, y observar los mayores cuidados en la preparación. Los objetos de vidrio obtenidos con la experiencia actual, llenan las pretensiones más exigentes; no así los vidrios antiguos, que a causa del desconocimiento de las proporciones para hacerlos fácilmente fusibles eran preparados con una cantidad excesiva de álcali.

1.3.B La acción del agua.

La acción del agua es tal que primeramente disuelve el álcali del vidrio en forma de hidróxido, y éste, por un proceso secundario de descomposición hidrolítica, provoca, de una parte, la disolución de sílice y, de otra, la hidratación del vidrio restante. El hecho de que primeramente se disuelva el álcali hace que la atacabilidad de los vidrios por disolución de los óxidos en el agua sea tanto mayor cuanto mayor es el contenido de compuestos solubles en el agua y cuanto mayor es, a su vez, la solubilidad de éstos en el agua. Este importante descubrimiento ha sido comprobado por el hecho de que los vidrios de barita son más fácilmente atacables que los del cal y que los de alúmina y especialmente los de plomo y zinc son inatacables. Esto es especialmente importante y digno de atención en la fusión de las nuevas e importantes clases de vidrios ópticos y térmicos especiales.

1.3.C La acción de los hidróxidos alcalinos.

Las soluciones de los hidróxidos alcalinos lo disuelven con mucha mayor

energía que el agua, actuando con energía decreciente según el orden -- NaOH, KOH, NH_4OH y $\text{Ba}(\text{OH})_2$, notablemente creciente al aumentar la temperatura y la concentración, mientras que a la temperatura ordinaria, las lejías concentradas disuelven con menos energía que las diluídas.

1.3.D La acción de los carbonatos alcalinos.

Los carbonatos alcalinos actúan de muy diversa manera, pero la atacabilidad disminuye esencialmente por adición de pequeñas cantidades de alúmina (2-3%).

1.3.E La acción de las sales.

Las sales actúan de muy diversa manera, y los descompone de una manera - especial el hidrofosfato sódico.

1.3.F La acción de los ácidos.

Los ácidos, con excepción del fluorhídrico, que disuelve al vidrio, atacan en todos los casos más debilmente que el agua, independientemente de su concentración y clase.

1.3.G La acción de la luz solar.

Por la acción directa de la luz solar actuando por largo tiempo, se producen alteraciones en el vidrio, observadas especialmente en los antiguos vidrios para ventana, y se reconocen especialmente por una fuerte coloración violeta. Esta se consideraba antes como una transformación del óxido manganeso en mangánico. Después que se hubieron descubierto coloraciones iguales o semejantes en el vidrio, debidas a las radiaciones -- catódicas o del radio, existió la tendencia, sobre la sal común azul, a considerar la coloración como debida a sodio finamente dividido. Modernamente se ha vuelto a la interpretación antigua.

1.4 Propiedades Físicas.

1.4.A Dureza.

La dureza del vidrio crece, en general, con la proporción de sílice y es disminuída casi siempre por el óxido de plomo. La capa superficial externa, formada al solidificarse el vidrio, es siempre más dura que el interior.

1.4.B Conductividad.

La conductibilidad del vidrio, tanto para el calor como para la electricidad, es muy pequeña. Los vidrios ricos en álcali, a causa sin duda de la facilidad con que absorben agua, son menos aislantes que los pobres en álcali. Al aumentar la temperatura, aumenta más y más la conductibilidad eléctrica y ya antes de ser perceptible el ablandamiento y en estado de fusión, es tan notable, que en tales circunstancias debe considerarse el vidrio como buen conductor.

1.4.C Permeabilidad

La permeabilidad para los gases es casi nula en el vidrio, aún a presiones de 126 Atm., no atraviesan las paredes de los recipientes cantidades ponderables de anhídrido carbónico o hidrógeno.

1.4.D Resistencia a la Tracción.

La resistencia a la tracción y a la compresión es muy considerable, la resistencia es mayor a la presión externa que a la interna; se ha demostrado que la resistencia a la presión interna, especialmente en los tubos, está condicionada por un cierto espesor de paredes que no debe exceder de un máximo y un mínimo determinados; así tubos con un espesor de paredes de 1,3 a 1,9 mm resisten presiones de hasta 200 Atm.

1.4.E Elasticidad y Flexibilidad.

La elasticidad y flexibilidad del vidrio dependen de su espesor. El vidrio se considera ordinariamente como quebradizo, pero esta propiedad disminuye muy rápidamente al disminuir el espesor, y en hojitas o placas muy delgadas, el vidrio se distingue por su elasticidad, y estirado en hilos finos es tan flexible que es posible hilarlo (lana de vidrio). Un vidrio de determinada clase es tanto más quebradizo, cuanto más rápidamente ha sido enfriado.

1.4.F Peso Específico.

El peso específico oscila entre 2.4 y 2.6 g/cm^3 en los vidrios cálcico--alcalinos, sube a 3-3.8 en los de plomo, y los de talio asumen la elevada densidad de 5.6. Además de la composición influye también en la densidad de los vidrios la manera de ser enfriados, así es que el p. esp. es tanto más elevado cuanto más lento ha sido el enfriamiento.

1.5 Generalidades:

El vidrio no tiene propiamente puntos de fusión y solidificación precisos, y se solidifica por enfriamiento normal en forma amorfa. Por calentamiento se ablanda y aumentando la temperatura toma gradualmente el estado líquido. Por enfriamiento el vidrio en estado líquido, adquiere viscosidad y ésta es suficiente para que no se produzca la cristalización; bajando más la temperatura, aumenta la viscosidad con mucha rapidez y es tan grande a la temperatura ordinaria, que en el vidrio, ahora en estado sólido, no es posible ni con el tiempo observar cristalización alguna.

Los silicatos vitreos no son en manera alguna compuestos químicos de -- constitución determinada. Contienen ciertamente sales sílice, dotadas en grado elevado de la propiedad de disolverse mutuamente en estado de fusión, y de solidificarse en estado de mezcla homogénea; se ha observado que los óxidos libres se disuelven en el vidrio, y aún se pueden disolver en él mismo substancias completamente heterogéneas sin que se alteren sus propiedades de una manera esencial.

Como en la mayor parte de compuestos químicos y mezclas, las cualidades peculiares de un vidrio dependen evidentemente de la naturaleza y cantidad relativa de los elementos que lo componen.

La primera condición conocida para la obtención del vidrio sería que la sílice debe estar combinada a dos óxidos por lo menos, de los cuales el uno es la cal y el otro un álcali; generalizando, en el vidrio debe estar contenido un compuesto de sílice con un óxido monovalente, junto -- con otro compuesto de sílice con un óxido divalente. La cantidad relativa de éstos compuestos puede oscilar entre límites muy amplios sin -- que la masa fundida se solidifique de otra manera que en estado amorfo. Pero las exigencias actuales, en cuanto a la fusibilidad y solidez, resistencia a la influencia del aire atmosférico y a los reactivos químicos, sólo se cumplen cuando los componentes empleados se encuentran en cantidades que oscilan entre ciertos límites muy estrechos.

Deben considerarse como componentes esenciales de los vidrios ordinarios; la sosa o la potasa, la cal o el óxido de plomo y la sílice, en las proporciones normales siguientes:

Tabla 1.3	Na ₂ O	CaO	6 SiO ₂	
	12,9	11,6	75,5	100 %
	K ₂ O			
	18,3	10,9	70,8	100 %
		PbO		
	13,3	32,7	53,4	100 %

En los vidrios se encuentran casi siempre óxido ferrico ú óxido mangánico, acompañantes de las materias primas.

Si se somete a la acción del calor una mezcla apropiada de las materias indicadas, ésta funde poco a poco. Naturalmente, no se desarrolla el proceso de la manera sencilla, propia de la fusión de una sola substancia, sino de manera compleja, siguiendo la ley de disminución de la temperatura de fusión; esta es menor en la fusión de una mezcla de varias materias que cuando se trata de una sola, pues se produce una mezcla fluída a una temperatura, llamada punto eutéctico, el proceso de fusión avanza hasta producir una solución mutua completa de los diversos componentes.

Para obtener vidrio con esta masa fundida es de importancia la duración del enfriamiento. Es necesario el enfriamiento rápido para alcanzar el ultraenfriamiento necesario y evitar la cristalización o desvitrificación. Entonces se producen tensiones en el interior de los objetos de vidrio, que hacen imposible su utilización sin un tratamiento previo. La desvitrificación, consiste en la cristalización de algunos componentes del vidrio, los cuales se presentan, en parte, como agregados redondeados de agujas, en parte como cristales aislados, o en la formación de una masa completamente opaca, cristalina, pétreo, sólida y poco quebradiza. En la fusión

de nuestros vidrios ordinarios, sólo raramente, y en circunstancias especiales, aparece la cristalización. La desvitrificación aparece sólo en los restos que se encuentran en los recipientes de fusión o que han corrido hacia la solera de un horno puesto fuera de trabajo, y por ésta razón se han enfriado lentamente. Como decorado se producen a veces, para lo cual, los objetos de vidrio completamente acabados se calientan de nuevo hasta que comienza el ablandamiento, y se someten luego a un enfriamiento lento. Durante largo tiempo se había creído poder proyectar alguna luz sobre la naturaleza del vidrio, estableciendo la composición de estos compuestos cristalizados, lo cual se ensayó repetidamente, Pero la composición del vidrio obtenido era igual como esencialmente diferente, de manera que no se consiguió aclaración alguna, o en efecto apenas era posible lograrla.

Por enfriamiento rápido del vidrio fluído se producen tensiones en el mismo, compresiones y extensiones que, por la causa más pequeña, cambio brusco de temperatura, o también espontáneamente, sin causa externa alguna, pueden conducir a la destrucción de los objetos por desmoronamiento. Estas fuerzas son tanto mayores cuanto más rápidamente se ha verificado el enfriamiento.

Estos estados de tensión se evitan o disminuyen hasta un mínimo inofensivo por medio de un enfriamiento regular. Para los objetos usuales ordinarios, en los cuales la fragilidad debe reducirse a un mínimo, basta el enfriamiento lento como se hacía ya antiguamente en los hornos usuales.

Si se imagina una esfera de vidrio descompuesta en capas delgadas y sometida a un enfriamiento rápido, sucede progresivamente lo siguiente:

- 1.- La capa externa se solidifica.
- 2.- La segunda capa se solidifica, pero no sin trabas y no sin ejercer influencia sobre la corteza sólida. En consecuencia, la capa superficial es comprimida por el vidrio que se le adhiere y contrae por dentro, de lo que resulta una fuerte tensión de presión. Solidificada la segunda capa, experimenta, por parte de la resistencia de la primera, un obstáculo para su contracción completa, y así queda con tensión de tracción.
- 3.- Debajo de la segunda cáscara, al principio todavía en tensión, se contrae la tercera, que le comunica por lo tanto una tensión de presión, que equilibra a la tracción, de suerte que ahora queda solidificada con una pequeña tensión de presión. En cambio la tercera cáscara asume la tensión de tracción.
- 4.- Debajo de la tercera cáscara, se contrae la inmediata y su contracción llega a contrarrestar precisamente la tensión de tracción de la capa superior y aun se solidifica con tensión de tracción.
- 5.- La quinta cáscara que ahora se va enfriando ya no llega a compensar la tensión de tracción. En la cuarta capa queda tracción y la quinta se solidifica bajo tracción. Cada una de las siguientes cáscaras realiza esto mismo, de suerte que a partir de la mitad deben originarse capas - cada vez más fuertemente distendidas.

El resultado de todo esto es que la esfera de vidrio enfriada rápidamente está sometida a una fuerte tensión tangencial y su corteza aparece fuertemente comprimida; el núcleo está sometido a esfuerzos de tracción, y entre ambos se encuentra una capa neutra. Con la contracción se produce una trac

ción en sentido radial desde el interior hacia el exterior. En la dirección de los radios de la esfera existen necesariamente tensiones, de modo que en último término deben existir en cada punto de la masa de vidrio dos tensiones principales, perpendiculares entre sí.

Las capas sometidas a la compresión son resistentes a los esfuerzos mecánicos y a los cambios de temperatura, mientras que las capas sometidas a esfuerzos de extensión son extraordinariamente sensibles, especialmente en las lesiones externas. De la misma manera se comportan todos los objetos de vidrio enfriados a cualquier velocidad, pero irregularmente. El enfriamiento de los objetos se verifica de manera diversa e irregular durante el acabado de los mismos, y las piezas acabadas comportándose como si estuviesen formadas por diferentes clases de vidrio, son extraordinariamente sensibles y quebradizas.

El coeficiente de dilatación, en general, es pequeño y diferente según varían la composición y el enfriamiento; es mayor cuando éste es rápido y menor cuando es lento, diferencia que desaparece cada vez más al disminuir la magnitud de ese coeficiente. Esta disminución puede ser influida de una manera esencial: se eleva con la introducción de álcalis y disminuye con la de ácido bórico.

1.6 Algunos Aspectos sobre la Fabricación del Vidrio.

La mezcla de substancias en las proporciones antes indicadas se llama la pasta de vidrio. Para los vidrios ordinarios la mezcla se verifica a mano sencillamente con palas; para vidrios mejores debe verificarse con gran cuidado, y para ello se emplean máquinas mezcladoras especiales. Se acostumbra añadir residuos vidrio a la pasta acabada, los cuales se reparten por la superficie. Estos residuos consisten en vidrio roto y otros por los

crisoles agrietados que se reunen en la solera del horno. Esta adición se realiza para iniciar y facilitar la fusión. Naturalmente, para el vidrio blanco fino, deben escogerse cuidadosamente los residuos. La pasta de vidrio se introduce entonces en recipientes especiales, crisoles o cubas, donde se somete a la fusión. En ésta se distinguen dos fases: la fusión de mezcla y la fusión definitiva.

Como que la mezcla seca ocupa un espacio considerablemente mayor que el vidrio fundido; no se puede introducir en los crisoles de una sola vez, sino por partes, cuidando de no introducir más, hasta que la porción precedente ha fundido por completo. No tomando esta precaución aparece la llamada petrificación que se produce cuando la mezcla no descompuesta, concrecionada sólo superficialmente, queda en el vidrio dividida en pequeños trozos. Se ha observado el hecho de que los granitos que flotan en torno de la parte ya fundida, interiormente son pulverulentos y completamente secos, y desprenden anhídrido carbónico con el ácido clorhídrico, lo cual revela la presencia de carbonato no descompuesto. En esta primera fase se desprenden notables cantidades de gases, pero la masa fundida está muy lejos de haber llegado al estado de fluidez, razón por la cual se aumenta la temperatura y comienza la fusión definitiva, y el desprendimiento de gases aumenta considerablemente. Con el fin de hacer completo ese desprendimiento y obtener un vidrio exento de burbujas, debe aumentarse hasta el máximo la temperatura del horno, de manera que la masa fundida sea perfectamente flúida.

En los hornos antiguos no se podía lograr esto, y por tal razón los vidrios antiguos tienen muchas burbujas. Al final el desarrollo de gases llega a su término y el vidrio es completamente límpido. Cuando se emplea sulfato sódico, sobrenada en la masa la llamada hiel de vidrio, que consiste esencialmente en sulfato no descompuesto y yeso, la cual se espuma, lo mismo que las impurezas que se han disuelto del crisol o han caído de la cubierta del horno. La masa fundida, ya clara, tiene todavía composición y peso específico diferentes a diversas profundidades, lo cual es causa de la formación de ondas o estrías en las piezas acabadas. A fin de evitar este defecto del buen aspecto de las piezas, es necesaria una agitación mecánica eficaz de la masa, la cual se consigue por medio de un enérgico desprendimiento artificial de gases. En lugar del arsénico, frecuentemente empleado antes con este objeto, se consigue bien el mismo resultado introduciendo algunas patatas hasta el fondo del crisol por medio de una barra de hierro bruñido.

El tiempo necesario para la fusión varía, con la cantidad y clase del vidrio fundido, entre 12 y 30 horas. Este vidrio acabado de purificar es excesivamente fluído para ser trabajado, excepto el caso en que se vaya a proceder por colada, y debe enfriarse disminuyendo la temperatura del horno hasta haber adquirido la viscosidad suficiente para poderlo extraer de los crisoles. Es de gran importancia mantener alejadas del lugar de extracción las menores cantidades de impurezas flotantes. En los crisoles se verifica esto por medio de anillos de chamota (fig.1) y en las cubas por medio de navcillas (fig.2). Estos dispositivos obligan al vidrio a entrar por abajo o seguir un trayecto ondulado, realizándose así una entremezcla reiterada.



Figura 1

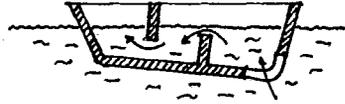


Figura 2

Los crisoles (fig.3) son o bien sencillos, abiertos y algo cónicos, de una altura de 60 a 80 cm. y una capacidad de 400 a -- 800 kg. de vidrio fundido, o -- bien cubiertos por una cúpula -- con uno de los lados en forma -- de mufla de tamaño variable se-- gún las necesidades, que sirven

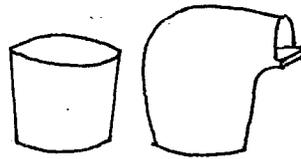


Figura 3

para fundir los vidrios fácilmente reductibles, especialmente los vidrios de plomo. La preparación de los crisoles debe realizarse con un cuidado extraordinario para que puedan resistir a la presión y a la corrosión química del vidrio fundido a temperatura elevada. Se moldea a mano con una arcilla refractaria especial (arcilla para crisoles de Grünstadt) hecha magra con chamota, se desecan muy cuidadosamente con extraordinaria lentitud y finalmente se calientan al rojo muy lentamente en un horno de recocido y en este estado se introducen en el horno de fusión incandescente por medio de una horquilla conductible. La fabricación mecánica por medio de

presas, ensayada antes, no ha dado buenos resultados, mientras que los crisoles obtenidos por los nuevos procedimientos - fluidificación de la masa arcillosa por medio de álcalis - se introducen cada vez más.

Hornos de Fusión.- Los hornos más antiguos eran muy sencillos y estaban dispuestos para ser calentados con carbón de madera; a este se siguió más tarde el uso de la hulla con hogares de parrilla, cuyo funcionamiento era muy dispensioso. Estos hornos no pudieron aproximarse gran cosa al ideal, que era la obtención de vidrio en poco espacio y en un tiempo reducido. La introducción de los hornos regenerativos de gas, permitió cumplir con estas condiciones y facilitó el desarrollo del arte de fundir vidrio.

La figura 4 representa un horno de esta clase, cuyos crisoles "h", descansan sobre banquetas. Los cimientos y las paredes laterales se construyen con material refractario, la cubierta de ladrillos dinas y las banquetas casi siempre con arenisca. Estas se han tallado de manera que formen declive hacia el exterior, a fin de conducir el vidrio que puede caer de los crisoles (vidrio de solera) hacia las paredes del horno, más frías y mucho menos atacables, cuando no se construyen cavidades especiales para recogerlo.

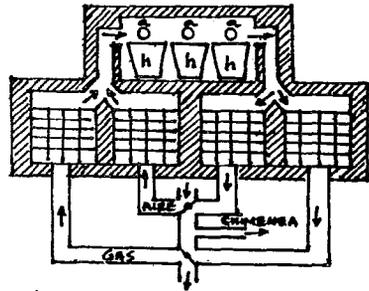


Figura 4

En las paredes de uno de los lados se encuentran las aberturas para la introducción del aire y del gas, y del otro las aberturas de trabajo "a", -- que sirven para sacar el vidrio de los crisoles. Para poder introducir y

retirar éstos, se han provisto grandes aberturas que despues se tapían, a fin de poder cambiar algo de lugar los crisoles durante el trabajo, - cuando esto es necesario, existen aberturas especiales también tapiadas.

Esta clase de hornos, indispensables para las buenas clases de vidrio, - solo permite la fabricación intermitente de objetos, ya que éste, se divide en tres fases: fusión, depuración y elaboración. La pérdida de -- tiempo que esto acarrea y el rápido deterioro de los hornos debido a los cambios de temperatura necesarios para el propio trabajo, han sido eludi dos por Siemens con su horno de cuba, para la fabricación de objetos a - granel, cuya representación se ve en la figura 5.

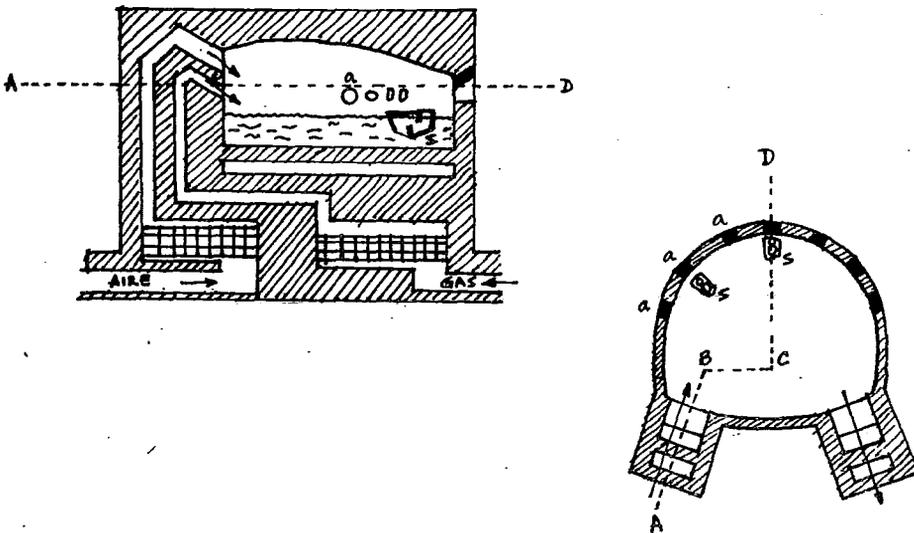


Figura 5

La dificultad de construir un recipiente único duradero tan grande para la fusión, de arcilla con piedras separadas, ha sido eludida enfriando las paredes y el fondo con canales de aire especiales; la pequeña cantidad de vidrio que pueda atravesar, se solidifica rápidamente y forma un calafateado suficiente. Hasta el ataque de la cuba es esencialmente más lento, pues fuera de la superficie de la masa fundida, ninguna reacción especial puede tener el vidrio consistente sobre las paredes enfriadas. Por medio de dos tabiques intermedios se divide también la cuba en tres secciones, de manera que es posible fundir en cada una de ellas una clase especial de vidrio.

Con este horno es posible trabajar de una manera continua, pues se pueden introducir nuevas porciones de pasta fresca por una abertura situada frente a las de trabajo, en la cantidad correspondiente a la masa de vidrio reiterada por éstas últimas, y la circulación de la llama está regulada de manera que la parte central sea mas caliente, mientras que la correspondiente a las aberturas de entrada y de trabajo es mucho menor; así las tres etapas necesarias, fusión, depuración y transformación en una masa viscosa, se verifican en el mismo espacio.

El horno de cuba superficial es una disposición moderna, intermedia entre las dos descritas, en el cual se trabaja como en un horno de crisoles y tiene la ventaja de que en lugar de muchos de éstos, contiene un solo recipiente de fusión.

Acción de los Decolorantes y Depuradores.- El ácido arsenioso y el salitre son oxidantes y por esta razón se emplean exclusivamente cuando se trabaja

con sulfato. Se añaden en trozos al vidrio fundido a fin de decolorarlo oxidando los sulfuros o el carbón contenido todavía, los cuales darían lugar a un color pardo.

Mientras que por reducción del salitre no se produce ninguna substancia nociva, el ácido arsenioso se transforma en su mayor parte en arsénico elemental, como tal volátil, que puede ser extraordinariamente peligroso a causa de su acción tóxica. El ácido arsenioso, empleado antes frecuentemente como depurador, para producir la mezcla mecánica de la masa fundida por medio del desprendimiento de vapores de ácidos, igualmente peligrosos, se emplea hoy solamente en casos aislados. Aunque actualmente no se admite la posibilidad de que el ácido arsenioso se combine químicamente con los elementos que componen el vidrio porque es totalmente volátil, sin embargo, una pequeña parte del mismo queda en la masa, de manera que no es raro encontrar en el vidrio algunas cienmilésimas y a veces algunas milésimas partes de arsénico. Mucho más extendido que el ácido arsenioso, y conocido también de los antiguos, es el uso del manganeso, designado en la industria con el nombre de jabón de vidrieros. No solo actúa como oxidante sobre el carbón y los sulfuros, sino también como decolorante. Se sabe que el elemento esencial del color de los vidrios ordinarios es el hierro. Pero es una cuestión repetidamente discutida, y no resuelta aún con seguridad, es que grado de oxidación se encuentra el hierro en el vidrio, y que coloraciones produce. Se cree poder admitir que el color verde de botella ordinario es debido al óxido de hierro, pues éste presenta un color azul débil, agradable a la vista y al óxido puro, según su cantidad produce tonos variables del amarillo al pardo. El color feo de los vidrios

no decorados es debido a la mezcla de los colores propios del hierro en todos sus grados de oxidación. El color debido a pequeñas cantidades de hierro hasta 0.1% es destruido por medio del manganeso, experiencia antigua de donde procede el nombre de jabón de vidrieros.

Los vidrios exentos de hierro se colorean en color violeta por el manganeso, y ese tinte, en atmósfera reductora se transforma en rosa débil, color propio seguramente del silicato manganeso. Por el contrario, es difícil resolver que grado de oxidación es causa del color violeta. La acción del manganeso, sobre los vidrios coloreados por hierro, no se admite hoy apenas como un fenómeno químico, como se admitía antes, sino que se considera como un efecto óptico.

El vidrio coloreado por el manganeso tiene un exíguo poder de absorción sobre los distintos colores del espectro, bastante regular sobre todos ellos, aunque algo menor para el rojo y violeta y más enérgico para el verde. Por el contrario el vidrio coloreado por el hierro tiene una gran transparencia para el amarillo y el azul verdoso y menor para el rojo y el violeta, así es que en cierta manera su comportamiento es contrario del de los vidrios de manganeso.

Haciendo pasar un rayo de luz por dos capas de vidrio superpuestas, una de las cuales está coloreada por el hierro y la otra por el manganeso, el color que ha atravesado la primera es, naturalmente, absorbido por la segunda, y se obtiene una luz incolora pero más débil y con tendencia al gris, pues la doble absorción es causa de la disminución de la cantidad o intensidad de la luz. Esta decoloración, llamada substractiva, es opti

camente incompleta y se emplea para la preparación de vidrios grises. Por el contrario, la formación de luz blanca por medio de los colores complementarios, llamada decoloración aditiva, se verifica sin pérdida esencial de luz y por esta razón es ópticamente completa. Esto último, según las curvas de absorción obtenidas, aparece en los vidrios decolorados con selenio o sales del ácido selenioso, procedimiento introducido modernamente con buenos resultados, aunque necesita todavía de experiencia; tales vidrios no solo son completamente incoloros, sino que tienen, además, un brillo cristalino sorprendentemente puro.

En la acción del óxido de níquel, empleado ya desde hace mucho tiempo en lugar del manganeso, probablemente están representadas ambas formas de decoloración. El efecto, es mejor que con el manganeso, pero el vidrio resultante presenta un color agrisado. Este tono agrisado puede ser muy intenso cuando se mezclan manganeso y carbonato de cobre al óxido de níquel. Tales vidrios se usan algunas veces para anteojos protectores, aunque son poco apropiados para ello.

A las sales de neodimio que contienen cerio, recomendadas modernamente, las cuales comunican igualmente color rosa al vidrio, se les atribuyen también ventajas especiales; su acción óptica no está bien establecida todavía.

CAPITULO II

PREPARACION DEL ESMALTE

2.1 Definición.-

Se llaman esmaltes a los recubrimientos vítreos obtenidos sobre un cuerpo, con el propósito de mejorar su aspecto y decoración. Un esmalte se puede entender como un vidrio ajustado a un punto de fusión que puede ser o no coloreado.

2.2 Principales Materias Primas.-

2.2.A Sílica (SiO_2)

Fuente: Feldespato, arena, sílice y arcilla.

La sílica es uno de los constituyentes más importantes de los esmaltes y deberá ser ajustada para regular la temperatura de fusión del mismo. Variando los constituyentes de un esmalte y balanceándolos contra el contenido de sílica, se puede controlar la temperatura de maduración del mismo muy cercanamente. Incrementando la sílica a expensas del ácido bórico, el esmalte se hace más duro, más brillante y más durable; se dice que sustituyendo sílica por ácido bórico disminuye el coeficiente de expansión. Por consecuencia, el ácido bórico y la sílica pueden variarse uno con respecto al otro, hasta obtener un grado de adaptación óptimo entre cuerpo y esmalte.

Aumentando el contenido de sílica en un esmalte se tendrá :

- 1.- Aumento en la temperatura de fusión.
- 2.- Mayor viscosidad.
- 3.- Aumento en la resistencia en el ataque químico.
- 4.- Disminución en el coeficiente de expansión.

5.- Se incrementa la dureza del esmalte.

6.- Se aumenta el brillo, hasta que con más altos porcentajes se producen texturas mates debido al incremento de dureza en el esmalte.

7.- Aumenta la tendencia a la devitrificación.

2.2.B Oxido Bórico (B_2O_3)

Fuente: Bórax, ácido bórico y rasorita.

El óxido bórico es un constituyente importante de los esmaltes, debido a que produce mezclas más fluidas, formando al mismo tiempo un vidrio casi tan bueno como es el de sílice.

Cuando se usa en grandes cantidades, disminuye la resistencia al ataque de los ácidos e inclusive del agua. Es muy buen fundente, reduce la viscosidad entre ciertos límites y promueve alto brillo. Los contenidos altos de óxido bórico reducen la resistencia mecánica y aumentan la solubilidad acortando el rango de quemado y causando deslaves en los colores.

Los esmaltes con alto contenido de ácido bórico, normalmente no son recomendables a ser horneados a fuego directo en ciclos largos.

2.2.C Alúmina (Al_2O_3)

Fuente: Feldespato, criolita y alúmina hidratada y calcinada.

La alúmina se puede combinar con sílice y óxidos básicos y es ampliamente usada para prevenir la devitrificación. En los esmaltes brillantes la relación de alúmina-sílice, varía usualmente de 1:6 a 1:10, mientras que en los esmaltes mates la relación es de 1:3 a 1:4.

Se considera que el aumento de alúmina es una de las formas para obtener superficies mates. En esmaltes brillantes, el contenido de alúmina regula

el grado de fluidez de la masa fundida (incrementando la alúmina se incrementa la viscosidad) y dá la estabilidad necesaria a la temperatura requerida para la maduración. Tiene gran efecto en la durabilidad, mayor que cualquier otro óxido, pues aumenta la dureza, baja la expansión térmica y agrega resistencia y brillo al esmalte.

2.2.D Oxido de Sodio (Na_2O)

Fuente: Feldespato, bórax, carbonato de sodio y nitrato de sodio.

El óxido de sodio es, en la mayoría de las veces, más fundente que el óxido de potasio y se usa principalmente en esmaltes de baja temperatura, donde se requiere su alto poder de fusión. El sodio tiene un alto coeficiente de expansión y puede causar cuarteo. Disminuye la resistencia a la tensión y la elasticidad, en comparación con otras bases comunmente usadas.

2.2.E Oxido de Calcio (CaO)

Fuente: Carbonato de Calcio, mármol, piedra caliza y dolomita.

El óxido de calcio es el principal fundente en esmaltes de media y alta temperatura. Sin embargo, no es muy efectivo a bajas temperaturas (abajo de 400°C) ya que reduce la viscosidad de los esmaltes con alto contenido de sílica, aunque si se hacen demasiado fluidos, tienden a devitrificar produciendo un acabado mate. Disminuye ligeramente el coeficiente de expansión, en comparación con los álcalis.

Promueve la adherencia del esmalte con el cuerpo, ya que reacciona con él. Contribuye a dar estabilidad y dureza al esmalte, cuando se usa en cantidades apropiadas.

2.2.F Oxido de Plomo (PbO)

Fuente: Litargirio, minio y carbonato de plomo.

El plomo reacciona fácilmente con la sílica para formar silicatos de plomo, que son vidrios estables que tienen alto brillo, debido a su alto índice de refracción. Tiene relativamente alto coeficiente de expansión, comparado con los álcalis. Disminuye la viscosidad de la masa fundida y proporciona ayuda, para evitar la devitrificación. Los esmaltes a base de plomo son fáciles de usar, ya que debido a su amplio rango de maduración, cualquier irregularidad en el proceso, no altera tanto las características finales, como lo haría un esmalte sin plomo. Cuando se usa una frita de plomo en forma de silicato, éste actúa con una fuerte acción fundente. Es relativamente insoluble en agua y presenta un amplio rango de quemado.

El uso de compuestos de plomo en los esmaltes tiene las siguientes desventajas:

- 1.- Es venenoso en varias de sus formas.
- 2.- Utilizado en forma impropia en esmaltes y en artículos de forma doméstica, puede ser disuelto por jugos de frutas y ácidos débiles.
- 3.- Se volatiliza fácilmente durante el quemado, provocando pérdida de brillo.
- 4.- Disminuye el brillo del esmalte cuando se expone por largo tiempo a los gases comúnmente presentes en la atmósfera.
- 5.- La resistencia a la abrasión disminuye conforme aumenta el contenido de plomo.
- 6.- Es fácilmente susceptible a reducción, si existe tal atmósfera en el horno.

2.2.G Oxido de Potasio (K_2O)

Fuente: Feldespato, carbonato y nitrato de potasio.

El Oxido de potasio se usa frecuentemente como fundente, incluso en el lugar del sodio, ya que produce un esmalte más brillante y con mayor rango de quemado. Tiende a aumentar el coeficiente de expansión y puede ocasionar cuarteos, si se usa en grandes cantidades.

2.2.H Oxido de Bario (BaO)

Fuente: Carbonato de Bario.

El bario es utilizado en formulaciones libres de plomo como fundente; adicionado en cantidades pequeñas aumenta el brillo y la resistencia mecánica.

2.2.I Oxido de Magnesio (MgO)

Fuente: Carbonato de magnesio y dolomita.

El magnesio actúa como refractario hasta relativamente altas temperaturas, sin embargo, una mezcla de calcio y magnesio, como es la dolomita, no es tan refractaria como el magnesio solo. A altas temperaturas, empieza a ser un fundente activo, aumentando la fluidez del esmalte y bajando la expansión térmica. Se usa como constituyente en algunos de los esmaltes mates de baja temperatura, tiende a reducir el cuarteo y puede ser perjudicial para algunos colores bajo esmalte.

2.2.J Oxido de Zinc. (ZnO)

El zinc se usa en muchos esmaltes como fundente y para prevenir el cuarteo. En cantidades moderadas, el zinc aumenta la elasticidad, extiende el rango de maduración y mejora el brillo de los colores bajo barniz, especialmente los rosas y cafés de cromo. Produce cierta opacidad y blancura cuando el contenido de calcio es bajo, cuando se aumenta el contenido de zinc en grandes cantidades, se producen esmaltes mates.

2.2.K Arcillas.

Se incluye bajo esta denominación los principales aditivos que se añaden a las fritas en el proceso de molienda, persiguiendo con ello un doble - objetivo:

- a) Modificar la composición del esmalte dándole las características más convenientes para la fabricación a que se destina.
- b) Obtener de la suspensión las cualidades físicas adecuadas para facilitar su aplicación.

2.2.L Feldespato.

Los feldespatos se pueden utilizar en la preparación de esmaltes para piso, del tipo porcelana sanitaria y algunos de azulejo con temperaturas de quemado superiores a los 1000 °C. Sus ventajas respecto a otras arcillas y cao- lines es el contenido en fundentes alcalinos que reblandecen el esmalte. - Los feldespatos potásicos disminuyen la fluidez del esmalte respecto a los sódicos.

2.3. PROCESO DE FABRICACION

En el proceso de fabricación de esmaltes para vidrio, podemos considerar - que se parte de materias primas ya ajustadas a las especificaciones de pu- reza, finura, tamaño de partícula, humedad, etc.

Este proceso de fabricación se resume de la siguiente manera:

- A) Mézcla de materias primas.
- B) Fundición.
- C) Chock térmico.
- D) Secado (en caso de que el chock térmico se realice con agua fría o cual- quier otro medio acuoso).

- E) Molienda.
- F) Secado.
- G) Micropulverizado.

2.3.A Mezcla de Materias Primas.-

La mezcla de materias primas en el proceso de fabricación de esmaltes para vidrio, es muy importante, ya que una buena mezcla permite llegar más fácil y rápidamente a una buena fundición.

Si los materiales no están perfectamente mezclados, o bien si presentan trozos de material húmedo, puede darse el caso de que la fundición se lleve a cabo a temperaturas muy altas que causarían la evaporación de alguno de los componentes y lógicamente el cambio en la composición del esmalte final.

2.3.B Fundición.-

La temperatura de fusión de un esmalte está sujeta a la cantidad de materias fundentes y a la temperatura de fusión de las mismas.

Los principales fundentes en esmaltes para vidrio son el plomo, boro, sodio y potasio. Comúnmente el que es usado en mayor proporción es el plomo (aproximadamente un 55% en un esmalte), pero se debe tener la precaución de no tener un exceso en cualquier esmalte porque se caería en composiciones con mucho plomo soluble, las cuales resultan sumamente tóxicas.

Teniendo en cuenta que las principales materias primas en un esmalte son sílice, alúmina, plomo y boro, la temperatura de fusión varía considerablemente según las proporciones de materiales refractarios (sílice, alúmina) y de materiales fundentes (plomo y boro), pero esta temperatura oscila entre 1500 y 2000 grados Centígrados.

COMPONENTES DE UN ESMALTE	FUENTES	FUNCIONES PRINCIPALES
SILICE	ARENA, SILICA, ARCILLA Y FELDESPATO.	PROPORCIONA CUERPO Y DUREZA AL ESMALTE
PLOMO	LITARGIRIO, MINIO Y CARBONATO DE PLOMO	DA FLUIDEZ BAJANDO EL PUNTO DE FUSION DE LA MEZCLA (FUNDENTE)
BORO	BORAX, ACIDO BORICO Y RAZORITA.	DA RESISTENCIA AL ATAQUE QUIMICO
ALUMINA	FELDESPATO, CRIOLITA	REGULA EL GRADO DE FLUIDEZ Y REGULA EL BRILLO
SODIO	FELDESPATO, BORAX, CARBONATO Y NITRATO DE SODIO.	ES FUNDENTE PARA ESMALTES DE BAJA TEMPERATURA
CALCIO	MARMOL, PIEDRA CALIZA DOLOMITA Y CARBONATO DE CALCIO.	ES FUNDENTE PARA ESMALTES DE MEDIA Y ALTA TEMPERATURA
POTASIO	FELDESPATO, CARBONATO Y NITRATO DE POTASIO	TIENE LAS MISMAS FUNCIONES QUE EL SODIO
CADMIO	CARBONATO DE CADMIO	ESTABILIZA Y PROPICIA EL DESARROLLO DE TODOS LOS PIGMENTOS, PRINCIPALMENTE LOS ROJOS Y AMARILLOS.

A este conjunto de materias primas, las cuales se han sometido a una fundición, se le conoce con el nombre de FRITA.

2.3.C Chock Térmico.-

Existen dos formas de efectuar el chock térmico, sumergir a la frita recién fundida en una corriente de agua fría, o bien, hacerla pasar por unos rodillos para formar una película delgada de frita que al contacto con una corriente de aire se despedace ó cuartee.

En el primer caso se obtiene a la frita en aspecto granular y en el segundo en forma de escamas.

En el caso primero se obtiene a la frita húmeda y fría, por lo que es necesario hacerla pasar por un proceso de secado antes de almacenarla.

En el segundo caso se obtiene la frita seca pero caliente, por lo que se deja enfriar ligeramente a la intemperie, se embolsa y almacena.

Esta frita es solo un paso intermedio en el proceso de fabricación de esmaltes para vidrio, que puede ser usada mezclada con otras para lograr esmaltes de muy variados tipos.

2.3.D Secado.-

Cuando la frita se produce vía chock térmico con agua fría, es necesario un proceso de secado el cual se lleva a cabo generalmente en un secador u horno rotatorio.

2.3.E Molienda.-

La molienda de materiales secos se puede llevar a cabo en húmedo o en seco según el material de que se trate, pero si se quiere obtener una molienda con un pequeño diámetro de partícula, se recomienda hacerlo por vía húmeda,

excepto cuando se van a moler materiales con una gran cantidad de sales solubles, las cuales se perderían al descargar el molino.

En este paso se deben agregar ciertas adiciones que ayuden a moler y a mantener los sólidos en suspensión electrostáticamente, así como en ciertos casos, el pigmento con el cual se va a colorear dicha frita.

Esta frita granular o en escamas al ser molida, debe quedar cuando menos con una finura de cero residuos en malla 325 ASTM, y con un diámetro de partícula promedio de 1.5 a 2.5 micras, pues de otra forma se tienen problemas en cuanto al poder cubriente del esmalte sobre la base.

Una frita molida que contiene ciertas adiciones, puede ser considerada un ESMALTE.

2.3.F Secado.-

En caso de efectuar la molienda por vía húmeda, se debe realizar un secado del material molido. Este se descarga directamente del molino a unos recipientes en forma de charolas para introducirse así a un secador el cual opera a unos 200 grados Centígrados para hacer más rápido el secado.

En la molienda se pueden hacer algunas adiciones que sirven para no permitir el endurecimiento excesivo del esmalte.

2.3.G Micropulverizado.-

No obstante que el secado es controlado para no obtener esmaltes muy duros, las sales solubles del mismo al secar producen cierta cristalización que causa costras en la superficie del esmalte. Por esta razón es conveniente que después del secado se micropulvericen estos productos con el fin de obtener un polvo de buen aspecto y de composición homogénea.

Aquí encontramos ya el esmalte en polvo terminado, listo para aplicarse sobre una base con ayuda de un vehículo apropiado. El producto en estas condiciones se vende a un sinnúmero de decoradores y artesanos.

CAPITULO III

EQUIPO USADO EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN

3.1 Mezclado.-

El mezclado ha sido uno de los más difíciles problemas de las operaciones unitarias en Ingeniería Química. Tanto es así, que no se ha desarrollado aún ninguna fórmula para calcular la rapidez o grado de mezclado para ciertas condiciones dadas.

El hecho es que la mezcla de materiales se sigue realizando casi empíricamente, dado a que hay una gran cantidad de sustancias que pueden ser mezcladas, el número de mezcladores que se ha desarrollado es también enorme y debido también a factores no calculables como corrientes parásitas en un mezclador.

En el diseño de mezcladores como ya se dijo, se deben tomar muy en cuenta los elementos a mezclar, pero también las características del equipo. Una acertada combinación de ambas cosas puede dar mezclas muy buenas.

Los mezcladores pueden ser agrupados como :

- A) mezcladores de flujo
- B) mezcladores de brazos o palas
- C) mezcladores de hélice
- D) mezcladores de turbina o centrífugos
- E) otros mezcladores.

De los anteriores mezcladores los cuatro primeros son casi exclusivos para líquidos o bien mezclas de líquidos con sólidos; es decir, que la mezcla de sólidos se realiza en mezcladores de "varios tipos" para los cuales existen teorías muy variadas. Entre éstos tenemos :

a) MEZCLADOR DE BARRIL:

Es simple pero muy usado. Consiste en un cilindro montado en una flecha horizontal que gira. Al girar provoca que el polvo a mezclar suba junto con las paredes del cilindro y después por atracción de la gravedad caiga causando su mezcla. Este tipo de mezclador es el mas usado para polvos.

Existen varias modificaciones al diseño anterior: el molino puede estar montado sobre la flecha oblicuamente para poder variar en ciertos casos la velocidad de mezclado. Algunos otros mezcladores pueden tener baffles y paletas.

Otra modificación que es muy usada, es tener girando el cilindro en una dirección, e internamente una serie de paletas girando en dirección opuesta. Igualmente se puede introducir al cilindro unas cuantas bolas de porcelana usadas para molinos de bolas, para causar una mayor turbulencia.

b) MEZCLADOR DE LISTONES

También conocido como mezclador de doble hélice, es un tipo de mezclador ampliamente usado para mezclar harinas, talco, feldespatos, etc. Usualmente opera a velocidades moderadas de aproximadamente 20 - 40 R.P.M.

Está formado por un cilindro de acero hueco dentro del cual operan varias paletas verticales y dos listones helicoidales. Uno de ellos gira hacia un lado y el otro en sentido opuesto, de tal forma que el polvo es movido de adelante hacia atrás y a la inversa dentro del cilindro y también cae verticalmente al ser levantado por los listones.

Los listones son más o menos delgados porque la mezcla de sólidos requiere el deslizamiento de las hojas entre sí para evitar corrientes parásitas para prevenir el aglomeramiento del material y mantener una potencia razonable.

La superficie interior del mezclador debe estar finamente pulida para evitar problemas en el trabajo de descarga y de limpieza.

Son muy usados para mezclar una infinidad de materiales en forma de harinas para la industria de la cerámica, así como para mezclar pastas no muy pesadas.

c) MEZCLADORES DE DOBLE CONO:

Se pueden considerar como una variación definitiva del de barril. Es usado para una rápida mezcla de sólidos exclusivamente. Consiste de un anillo cilíndrico del cual salen dos conos y todo montado sobre una flecha de acero. El interior debe estar pulido y libre de obstrucciones para su fácil limpieza.

Durante la rotación, los sólidos van cambiando bruscamente de lugar de un cono a otro.

A diferencia del mezclador de barril, aquí nunca dos partículas toman caminos paralelos y a esto se debe la rápida mezcla. Las velocidades de mezclado son muy rápidas, generalmente 10 minutos resultan suficientes para homogenizar casi cualquier tipo de materiales.

Ambos mezcladores poseen compuertas de descarga, pero debido a que el mezclador de doble cono no tiene asperezas, su descarga es más eficiente y rápida.

d) MEZCLADORES TIPO HONGO:

Consiste en un esferoide aplanado en sus polos y por uno de ellos se conecta al sistema motriz por medio de una flecha sobre la cual está montado oblicuamente.

En su interior tiene de 3 a 8 bolas de metal pesado y de 3 a 6 pulgadas de diámetro, cuya función es romper los aglomerados y producir una mezcla más íntima.

Este tipo de mezclador es ampliamente usado en la mezcla de productos farmacéuticos, botánicos y orgánicos.

Al igual que el mezclador de dos conos su interior está pulido por lo que es fácilmente limpiado y descargado.

Existen otros muchos mezcladores de sólidos, pero podemos considerarlos como una modificación de los anteriormente mencionados.

3.2. FUNDICION O FRITADO

Existe un gran número de hornos en donde se puede llevar a cabo la fundición o fritado de las materias primas, sin embargo, todos ellos se pueden clasificar simplemente en hornos continuos e intermitentes, los cuales a su vez dan lugar a muchos tipos de hornos según su uso, su medio de calentamiento, etc.

En la industria del vidrio los hornos más usados son :

a) Hornos Rotatorios Continuos ó intermitentes: Consisten en una cámara cilíndrica construida con tabique refractario de alta alúmina, que giran muy lentamente (aproximadamente 10 revoluciones por minuto) y que son calentados generalmente con gas natural por uno de sus extre

mos. En estos hornos rotatorios se facilita y complementa el mezclado de materias primas y en muchos casos es innecesario este paso inicial. Los hornos contínuos se encuentran ligeramente desnivelados - de tal forma que por el lado más alto es alimentado y por el extremo descargado. El grado de inclinación depende de la velocidad de descarga o bien del tiempo de residencia de la frita dentro del horno.

Los hornos estacionarios se encuentran perfectamente nivelados y como su nombre lo indica trabajan por lotes intermitentemente.

b) Hornos de caja contínuos o intermitentes: Están formados por una cámara comúnmente cúbica construída igualmente con material refractario que dan la idea de ser un gran crisol montado sobre una estructura. Los quemadores se encuentran distribuidos a lo largo del horno o por abajo del mismo usando pisos falsos. Dependiendo de la inclinación de este último se va a obtener una operación contínua o intermitente. Estos hornos son los más usados a nivel artesanal por ser simples en su operación y mantenimiento y por requerir de una inversión inicial muy baja.

Más adelante en el Capítulo IV se tratará más profundamente la clasificación y operación de estos hornos.

Independientemente del tipo de horno usado, es necesario enfriar (a la descarga) a la frita recién preparada, lo que se logra sumergiéndola en agua fría con lo que se consigue además su quebramiento; ó bien, haciéndola pasar por unos rodillos que hacen láminas muy delgadas de frita caliente, que al contacto con el aire logra el mismo efecto. Es obvio que para el primer caso se hace indispensable el uso de un secador adicional al proceso.

3.3. MOLIENDA

El principal objetivo de la molienda es agrandar la superficie de contacto de los sólidos con el fin de lograr un incremento en la velocidad de reacción, desde el punto de vista químico; desde el punto de vista físico, el objetivo es cambiar las propiedades del material en cuanto a solubilidad, refracción, interacción de dos sólidos, homogenización, velocidad de fusión, etc. Estos objetivos se logran mediante la trituración inicial del sólido a pequeñas piezas y luego moliendo éstas hasta formar un polvo muy fino.

Selección del equipo.-

La selección del equipo a usar depende normalmente de tres factores:

- 1) Propiedades físicas del material a molerse.
- 2) Tamaño de partícula de la carga a alimentar y del producto.
- 3) Tonelaje total requerido.

1) Propiedades físicas del material a molerse:

La selección del equipo está fuertemente afectada por:

- a) Dureza del material. El concepto de dureza es muy relativo pero teniendo en cuenta la clasificación mineralógica de los materiales, - (va del 1 al 10, correspondiendo el 1 al talco y el 10 al diamante), un material es duro si está cuando menos en el número 5 de la clasificación y es blando si está entre el 1 y el 4.
- b) Estructura mecánica del material.- Si el material es de estructura fibrosa no puede triturarse o molerse por presión o esfuerzo cortante, sino que debe desgarrarse, en este caso se utilizará un desintegrador y no un molino

c) Humedad.- La humedad tiene una influencia importante en la molienda. Si el contenido de humedad del material está entre 4 - 30%, el material se vuelve pastoso y pegajoso (muy difícil de moler en esas condiciones), pero si el contenido de humedad excede a 50%, el material es muy fluído y en tales circunstancias el agua puede usarse para fa facilitar la molienda, aunque a mayores proporciones puede tener efectos contraproducentes.

2) Tamaño de partícula de la carga y del producto:

La finura gobierna la selección de las máquinas ya sea desde el punto de vista de la carga alimentada o del producto deseado.

Algunas máquinas solo operan con material grueso, mientras que otras solo pueden operar con material fino. Ciertos molinos dan un producto de gran uniformidad, es decir, que todas las partículas se aproximan a un tamaño determinado, mientras otras dan lugar a productos cuya variación en el tamaño de partícula es considerable.

3) Tonelaje procesado requerido :

El tonelaje es un factor de suma importancia para determinar el balance económico entre los cargos fijos (interés, depreciación e impuestos) y -- los costos de operación (mano de obra, energía y mantenimiento).

Tipos de Molinos.

3.3.A Molino de Bolas :

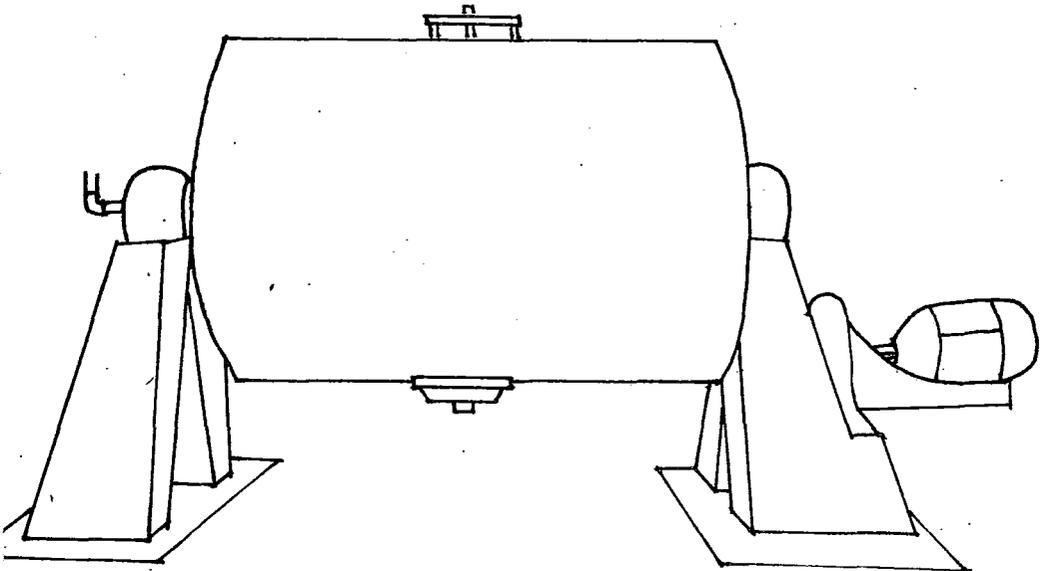
Está compuesto por un gran tambor giratorio o cilindro forrado de acero que permite que las bolas de acero-cromo, acero-manganeso ó cerámica, caigan y rueden unas sobre otras despedazando así el material a moler.

Es un tipo de molino muy popular debido a la simplicidad de su construcción, facilidad de operación ausencia de partes fragiles y bajo costo de mantenimiento.

Comunmente se soportan y giran en muñones axiales huecos, a través de los cuales se alimenta el material al cilindro y del cual se descarga el producto, aunque también puede usarse para operación intermitente. Estos molinos están caracterizados por el hecho de que su longitud es muy corta en comparación con el diámetro.

Generalmente se usa para molienda en medio húmedo.

Las bolas de tamaño natural introducidas se desgastan gradualmente y luego desaparecen junto con el producto, por lo que se debe tener la precaución de añadir mas bolas de tamaño grande con el fin de compensar este desgaste. En caso de no hacerlo así, se da lugar a malas moliendas y por consiguiente desperdicio de potencia.



Molino de Bolas

Figura 3.1

3.3.B Molino de Hardinge :

La única característica del molino de bolas cónico Hardinge, es la acción provocada por la forma de la cámara giratoria en cuanto a la ordenación de bolas de mayor tamaño tomen cierta posición en el diámetro largo del molino. Hacia la terminal de descarga del molino, el diámetro se vuelve más pequeño, encontrándose en éste lugar las bolas mas pequeñas o gastadas.-- El material alimentado se tritura inicialmente con las bolas mayores y a medida que viaja a lo largo del cono, es triturado gradualmente por bolas más pequeñas hasta que se descarga por el lado opuesto del molino.

Estos molinos pueden operarse en medio húmedo o seco, aunque el primer medio resulta más conveniente en el ahorro de energía.

En general la molienda en medio húmedo se aplica bastante para los minerales, debido a la posibilidad de usar clasificadores de bajo costo y de usar agua como transportador, aunque por otro lado la eliminación subsecuente de agua puede encarecer el proceso por vía húmeda. De cualquier forma, la molienda por vía húmeda no puede aplicarse a material soluble en agua, materiales hidroscópicos, etc.

El molino Hardinge a pesar de ser más eficiente que el molino de bolas, no es muy usado porque presenta algunos problemas de construcción por lo que resulta generalmente más caro.

3.3.C Molinos Tubulares :

Existe hasta cierto punto poca diferencia entre los molinos tubulares y los molinos de bolas. En general, el molino tubular puede considerarse como un molino que relativamente es largo con respecto al diámetro en contraste con el molino de bolas.

La construcción, el método de ajuste y control, son iguales en ambos tipos de molinos.

La diferencia está en sus aplicaciones: el molino de bolas es adecuado para la molienda a producto fino, granulación y pulverización relativamente gruesa (tal que el 95 - 98% pase a través de malla 50 ó 60), mientras que los molinos tubulares se utilizan para la pulverización a grado aún más fino.

3.3.D Molinos de Guijarros :

Estos son simplemente derivaciones del molino de bolas en la que la carga de bolas ha sido sustituida por roca dura o gujarros. Ya que los molinos de gujarro se emplean, principalmente, cuando la contaminación del producto con hierro se desea evitar, la cámara se recubre normalmente con porcelana, pedernal o piedra de molino y no existen barras de retención. Los molinos de gujarros se usan frecuentemente en operación intermitente para moler material a producto de mayor finura y uniformidad en comparación con la descarga usual del molino de bolas. Los molinos de gujarros se utilizan en la manufactura del talco, arena para vidrio laminado, feldespato molido para porcelana, etc.

3.3.E Molinos de Varillas :

Estos molinos difieren de los molinos de bolas o del tubular en el uso de varillas de acero con alto contenido de carbono como medio de molienda. La longitud de cada varilla es cerca de 12 veces el diámetro para balancear la tendencia de las varillas a cruzarse o doblarse. Las varillas tienen generalmente de 2 a 3 pulgadas de diámetro. En mayor grado que en los molinos de bolas, la acción de molienda consiste del efecto de rodamiento, ocurriendo con relativa poca intensidad la molienda por impacto de una varilla con otra. En consecuencia el molino de varillas muele peor materiales duros o resistentes

que el molino de bolas. Estos molinos están muy limitados en cuanto a su aplicación, ya que solo pueden moler sólidos que sean susceptibles al -- desmenuzados y el tamaño de la alimentación debe ser menor a 1 pulgada. -- Generalmente estos molinos no son propios para la molienda de producto -- fino pero son muy útiles para mezclar masas pegajosas, ya que el peso de las varillas es suficiente para separarlas de la suspensión.

Sus ventajas consisten en suministrar productos muy uniformes, menor consumo de energía que los molinos de bolas, menor desgaste, menor ruptura del medio de molienda y del recubrimiento, así como el bajo costo de las varillas comparadas con las bolas.

3.3.F Molinos de Rozamiento:

Consisten en dos piedras aplanadas girando una sobre otra. La parte central de las superficies aplanadas es cóncava, mientras que la orilla exterior es aplanada. La orilla exterior se conoce como "cara de trabajo" y es la superficie en donde se realiza la molienda.

Con el objeto de facilitar el efecto de la molienda se labran muescas radiales desde una posición cercana al centro hasta la orilla exterior de la piedra, desplegándose estas muescas superficiales en forma de abanico a lo largo de la superficie.

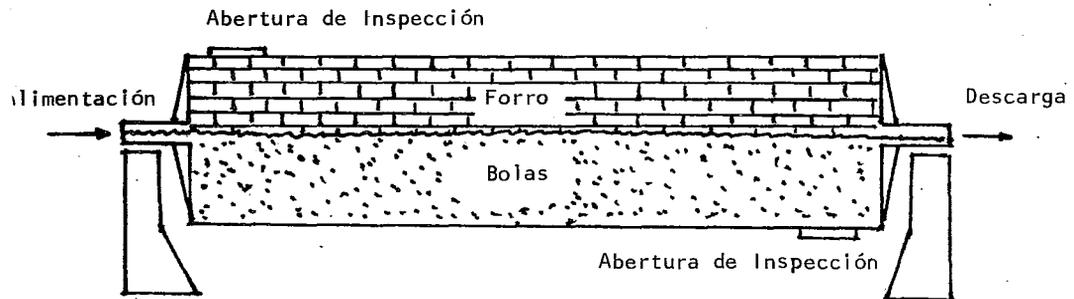
La profundidad de estas muescas está regulada por la finura requerida por el producto. El efecto que regula la molienda es en este caso el rozamiento o el frotamiento del material con las piedras.

Estos molinos encuentran un uso considerable en la industria de las pinturas donde se requiere que la molienda se realice hasta un estado de subdivisión muy fino, además de combinar al mismo tiempo la acción del mezclado con la de rozamiento.

El grado de finura del producto que se obtiene con estos molinos está regulado por la velocidad de alimentación (centro de la piedra), por el desgaste de las superficies de trabajo (profundidad de las muescas) y por la distancia entre las dos piedras de molienda. El producto se descarga hacia afuera por la misma fuerza centrífuga.

Cuando se desea trabajar materiales abrasivos en estos molinos, las piedras se substituyen por roca de esmeril.

Estos molinos tienen capacidad relativamente baja y su consumo de energía por tonelada de descarga es muy alto.



MOLINO TUBULAR CONTINUO

Figura 3.2

3.3.G Molino De Raymond:

Este molino, ha tenido gran éxito principalmente a causa del hecho de que los detalles mecánicos han sido resueltos convenientemente, debido a que constituye una unidad de molienda completa y con motivo del éxito de su - separador de aire. El material se alimenta por el conducto S (ver fig.3.3) y se suministra al molino a velocidad uniforme con el sistema de alimenta- ción F. Se tritura entre los rodillos R y el anillo de molienda anular B. Los rodillos R están unidos a una estrella, la cual se hace girar con un - eje movido en su parte inferior por un engranaje cónico, y la fuerza centrí- fuga provoca que los rodillos sean impulsados hacia afuera y trituren el ma- terial contra el anillo anular estacionario B. Estos molinos se construyen con dos a cinco rodillos, dependiendo esto de la capacidad requerida en el molino. El material que cae de entre el rodillo y el anillo es tomado por - un rascador y se lleva nuevamente al campo del efecto de trituración. Por el pasadizo G se deja entrar aire que recoge el material finalmente dividi- do y lo transporta al domo ligeramente cónico que encierra a los rodillos y sus ejes. Aquí la velocidad del aire disminuye un poco, permitiendo que el material grueso vuelva a caer entre los rodillos y los anillos, mientras que el material fino es transportado por medio de un ventilador al colector don- de entra tangencialmente a la parte superior de éste. El movimiento tangen- cial, junto con la disminución de la velocidad, debida al aumento de la sec- ción transversal, permite la separación del material finamente dividido que cae por un plano inclinado hacia el fondo del colector. El aire, una vez li- bre de polvo, se regresa a la base del molino, donde nuevamente recoge el - material finamente dividido, y el ciclo se repite.

El sistema de alimentación del molino de rodillos de Raymond, consiste de una tolva bajo la cual se encuentra un rodillo corrugado. La velocidad de este rodillo corrugado puede cambiarse gradualmente dentro de un amplio - intervalo, por medio de una serie de pruebas dentadas con trinquete. La - operación del molino se regula efectivamente ajustando este sistema de a - limentación y el de las compuertas del separador.

Siendo una máquina de alta velocidad, este molino no es satisfactorio para la molienda de material duro y abrasivo, pero para muchos otros, tales como el litopón, la roca fosfatada, las baritas, la piedra caliza, etc., es de suma conveniencia. No puede operar con materiales húmedos o con aquellos - que se reblandecen con el calor. Por ejemplo, el asfalto o el alquitrán -- duro no pueden molerse en este molino sin antes recircular el aire y además pasar todo el aire a través de los filtros de bolsa para polvo. Es uno de los mejores pulverizadores de producto fino que se han construido y puede - operar con material de diámetro cercano a 1/4 plg., obteniéndose el material que pasa totalmente al tamiz de 200 mallas. El molino de cinco rodillos, que requiere de 50 hp. para mover el mismo molino y de 40 hp. para operar el ven - tilador, es capaz de producir 5 ton. por hr. de material molido, de tal for - ma que el 90 % pase al tamiz de 200 mallas.

A menos de que el material que se triture sea abrasivo, el costo de manteni - miento de estos molinos es bajo, no obstante que trabajan a alta velocidad - y se utilizan para molienda de producto fino; además, el costo de la poten - cia es relativamente bajo considerando la amplitud del grado de finura den - tro del cual operan.

ESPECIFICACIONES MOLINOS DE BOLAS

CAPACITY OF MILLS

Size of Mill	Operating Capacity											50% Charge of		3 3/4% Charge of Steel Balls (lbs.)
	With 50% Pebble or Porox Ball Charge											Pebbles (lbs.)	Porox Balls (lbs.)	
	Based on Pounds of Dry Sand (at 100 lbs. per cu. ft.)						Gallons		Steel Ball Charge (gallons)					
	Total Volume without Balls or Pebbles (gallons)			Burrstone Lined			Porox Lined			Unlined				
15"x21"	9.8	16	33	54	11	6	11	59	274					
21"x28"	27	40	90	135	16	26	28	162	358					
24"x36"	43	68	145	228	23	48	53	253	542					
26"x36"	78	124	262	391	45	52	87	574	1242					
30"x40"	140	153	206	469	51	84	92	144	921	2837				
36"x40"	200	216	281	667	72	939	120	129	1935	1298	3879			
40"x50"	346	368	455	1155	121	1521	207	221	319	2210	6781			
46"x36"	302	323	407	1009	1079	1359	181	194	285	2018	1942	5610		
46"x46"	400	425	523	1336	1420	1747	240	255	366	2673	2556	7214		
50"x40"	442	469	573	1477	1568	1922	265	281	403	2954	2822	7963		
50"x60"	689	725	863	2302	2423	2983	413	435	604	4603	4361	11904		
60"x50"	839	880	1032	2805	2942	3449	504	528	722	5610	5296	14240		
60"x80"	1383	1440	1639	4624	4815	5478	830	864	1147	9248	8666	22619		
60"x100"	1748	1816	2035	5843	6071	6800	1049	1090	1424	11687	10927	28079		
80"x80"	2576	2661	2945	8409	8895	9844	1543	1597	2062	17218	16011	40648		
80"x100"	3246	3346	3643	10851	11184	12175	1948	2008	2550	21701	20132	50273		
80"x120"	3913	4028	4371	13078	13463	14610	2348	2417	3060	26155	24234	60328		
96"x80"	3684	3793	4149	12311	12677	13866	2210	2275	2934	24623	22818	57255		
96"x100"	4645	4772	5163	15323	15848	17255	2787	2863	3614	28458	26488	71249		
96"x120"	5601	5746	6195	18722	19204	20706	3361	3447	4307	37443	34566	85499		

*Capacities of Arclite lined approximately the same as Porox lined.

DIMENSIONS OF MILLS

Mill Size	Shell Interior		Height of Mill	Clearance Under Cylinder To Bottom of Stand	Floor Space Required Motor Drive
	Diameter	Length			
15" x 21"	15"	21 1/2"	3 3/4"	1 3/4"	2 5/8" x 4 8"
21" x 28"	20 3/4"	28 1/2"	4 3/4"	1 3/4"	2 9/8" x 5 10"
24" x 36"	23 3/4"	30"	4 5/8"	1 5/8"	3 4/8" x 7 0 3/4"
26" x 36"	25 1/2"	36"	5 1/4"	1 9/8"	3 10 1/2" x 7 10 1/2"
30" x 40"	28 1 1/2"	30 1/2"	5 10 1/4"	1 9/8"	4 2 1/2" x 9 0"
36" x 40"	35 1/2"	40"	6 4 1/4"	1 9/8"	4 8 3/4" x 8 10 1/2"
40" x 50"	38 1 1/2"	50"	7 2"	2 0"	5 2" x 10 8"
46" x 40"	45 5/8"	40"	7 10 3/8"	2 1 1/4"	5 8 3/4" x 9 5 1/2"
46" x 46"	45 5/8"	50"	7 10 3/8"	2 1 1/4"	5 8 3/4" x 10 4 1/2"
50" x 40"	48 1 1/2"	40"	8 10"	2 8"	6 5" x 9 10"
50" x 50"	48 1 1/2"	50"	8 10"	2 8"	6 5" x 11 1"
50" x 60"	48 1 1/2"	60"	8 10"	2 8"	6 5" x 12 1"
60" x 50"	51 1 1/2"	50"	10 1 1/2"	2 6 3/4"	7 6 3/4" x 11 7 3/4"
60" x 60"	51 1 1/2"	60"	10 1 1/2"	2 6 3/4"	7 6 3/4" x 13 7 3/4"
60" x 80"	51 1/2"	80"	10 1 1/2"	2 6 3/4"	7 6 3/4" x 15 7 3/4"
60" x 100"	51 1/2"	100"	10 1 1/2"	2 6 3/4"	7 6 3/4" x 17 7 3/4"
80" x 60"	71 1"	60"	*	*	12 6" x 16 0"
80" x 80"	71 1"	80"	*	*	12 6" x 18 0"
80" x 100"	71 1/2"	100"	*	*	12 6" x 20 0"
80" x 120"	71 1/2"	120"	*	*	12 6" x 22 0"
96" x 80"	94 1/2"	80"	*	*	13 6" x 18 0"
96" x 100"	94 1/2"	100"	*	*	13 6" x 20 0"
96" x 120"	94 1/2"	120"	*	*	13 6" x 22 0"

*According to Piers

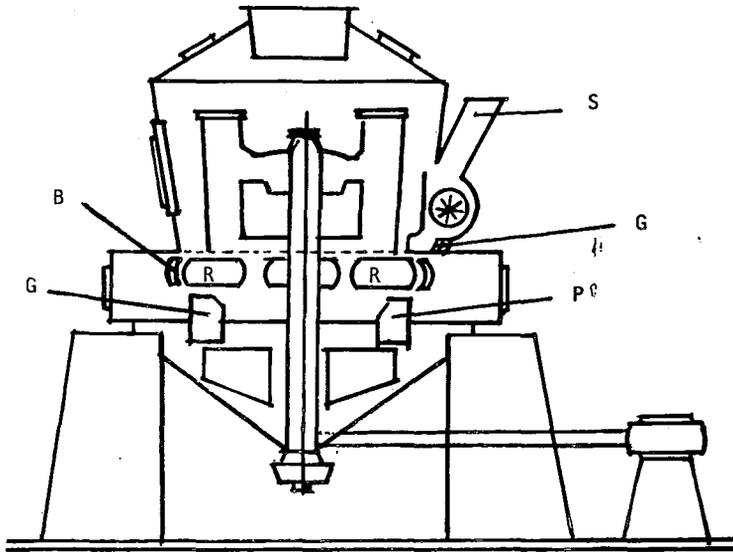
ENGINEERING FACTORS OF MILLS

Size of Mill	*H.P. Required				R.P.M.				Main Bearing		
	Lined		Unlined		Drive		Mill		Dia.	Length	Gear Ratio
	Porox	Arclite	Lined	Unlined	Lined	Unlined	Lined	Unlined			
15" x 21"	1/2	1/2	1/2	260	230	45	40	2"	4"	5.842	
21" x 28"	1	1	1	230	190	36	30	2"	4"	6.216	
24" x 36"	1	1 1/2	2	230	190	33	27	4"	6"	7.059	
26" x 36"	1	1 1/2	2	230	190	31	26	4"	5"	7.411	
30" x 40"	1	1 1/2	2	230	190	27	22	8"	6"	8.588	
36" x 40"	1 1/2	2	3	230	190	27	22	8"	6"	8.588	
40" x 50"	2	3	5	190	155	24	20	10"	8"	8.000	
46" x 36"	2 1/2	3	5	190	155	23	19	10"	8"	8.118	
46" x 46"	2 1/2	3	5	190	155	23	19	10"	8"	8.118	
46" x 50"	3	4	7	190	155	23	19	10"	8"	8.118	
50" x 40"	3	4	7	155	125	22	18	12"	10"	7.158	
50" x 50"	3	4	7	155	125	22	18	12"	10"	7.158	
50" x 60"	4	5	9	155	125	21	17	14"	12"	7.58	
60" x 50"	5	7	12	155	125	21	17	14"	12"	7.58	
60" x 60"	6	8	14	155	125	21	17	14"	12"	7.58	
60" x 80"	10	15	25	155	125	17	14	28"	20"	9.176	
60" x 100"	15	25	40	155	125	17	14	28"	20"	9.176	
80" x 60"	20	30	50	155	125	17	14	28"	20"	9.176	
80" x 80"	30	40	75	155	125	17	14	28"	20"	9.176	
80" x 100"	40	50	100	155	125	17	14	28"	20"	9.176	
80" x 120"	75	100	150	155	125	17	14	28"	20"	9.176	
96" x 80"	100	125	175	155	125	15	12	28"	20"	10.154	
96" x 100"	125	150	200	155	125	15	12	28"	20"	10.154	
96" x 120"	175	225	275	155	125	15	12	28"	20"	10.154	

Lined - 50% Pebble Charge - Wet Grinding for average only. Unlined - 33 1/3% Ball Charge - Wet Grinding for average only. Note: Above H.P. only approximate and will vary in accordance with viscosity, speed and charge of mill.

NET WT. OF LINED MILLS ARRANGED FOR DIRECT GEARMOTOR DRIVE -- BALL CHARGE NOT INCLUDED

Size of Mill	Porox Lined 50-60%		Arclite Lined 50-60%		Burrstone Lined 50-60%		Chromanganese Steel Ball Mills 3 3/4-30%	
	Type B	Type DJ	Type D	Type DJ	Type D	Type DJ	Type D	Type DJ
15" x 21"	979	1026	949	1096			879	926
21" x 28"	1294	1393	1404	1503			1144	1243
24" x 36"	2275	2566	2505	2796	2757	3048	1675	1966
2 1/2" x 3 1/2"	3810	4181	4130	4501	4503	4876	2812	3183
3" x 4"	4903	5314	5373	5984	5996	6207	3903	4515
3 1/2" x 4"	5979	6674	6700	7395	6947	7642	5230	5925
4" x 5"	8380	9169	9265	10251	9860	10866	6985	7971
5" x 4"	10669	11650	11509	12490	12328	13109	9739	10720
5" x 6"	12500	13960	13445	14935	14455	15915	11790	12255
6" x 5"	18318	20039	19648	21369	20708	22429	15718	17439
6" x 6"	19161	21218	20977	22827	21813	23869	16321	18377
6" x 8"	21842	22527	22284	24993	23308	26017	17314	20223
6" x 10"	21642	25023	23772	27153	25737	29118	18142	21523



MOLINO DE RAYMOND

Figura 3.3

3.4. SECADO.-

El término secado implica la transferencia de un líquido procedente de un sólido húmedo a una fase gaseosa no saturada.

En el proceso de secado los sólidos ejercen una gran influencia. El estudio del secado y los cálculos del tamaño requerido para el secador deben de tomar en consideración un cúmulo de problemas de áreas como mecánica de fluidos, química de superficies, estructura de sólidos y transferencias.

En muchos casos, estos fenómenos fisicoquímicos son tan complicados, y además no están aún completamente comprendidos, que el diseño cuantitativo de los secadores es prácticamente imposible.

Muchos de los secadores en diferentes industrias, son calculados empíricamente, por ejemplo en el secado de materiales fibrosos, el líquido en el interior de la estructura fibrosa permanece bastante dudoso.

Algunos materiales al secar, producen una membrana dura, parcialmente seca alrededor del material húmedo que impide a la humedad escapar totalmente.

El vapor producido hincha al cuerpo ocasionando la ruptura y explosión del cuerpo. Por lo tanto, las partículas secas son en realidad una mezcla de esferas huecas y fragmentos de esferas.

El tiempo de secado depende en gran parte del tamaño de los cuerpos húmedos: a menor tamaño, menor tiempo de secado.

TIPOS DE SECADORES

3.4.A Secadores de Charolas.-

Este tipo es el más sencillo de todos. No es otra cosa más que una cámara, en la cual se coloca el material que se va a secar sobre charolas distribuidas en soportes.

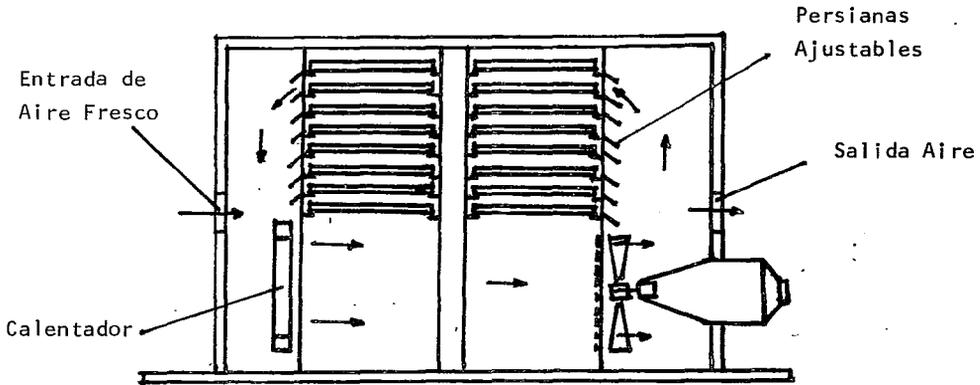
Es una unidad de secado intermitente para pequeña capacidad. El número de platos puede variar muy ampliamente, pudiendo tener el fondo perforado ó inclusive ser de malla, con lo cual el aire circula a través del material.

Solo en el caso de que el sólido esté prácticamente suspendido en fase líquida no se puede tener este tipo de sistema.

Las condiciones de secado se controlan en forma sencilla y fácil, por lo cual este tipo de secador está particularmente indicado para pruebas piloto.

Como es de notarse, las condiciones dentro del secador no son las mismas en cualquier punto del mismo, por lo que algunas charolas secan más rápido que otras. Esto no tiene importancia con materiales que no son termolábiles (por

ejemplo esmaltes para vidrio), pero en materiales que sí lo son, las charolas deben intercambiarse para evitar estos defectos de operación. Estos problemas se solucionan en parte colocandó diferentes entradas de aire caliente en diversos puntos del secador y abrirlas y cerrarlas alternadamente hasta encontrar el equilibrio térmico en todo el secador. Para este propósito se debe colocar en el secador un ventilador para homogenizar la temperatura del interior. Una manera muy común de calentar el aire en este tipo de secadores es la electricidad pero también lo son los gases de combustión.



Secador de Charolas

Figura 3.4

3.4,B Secadores de Túnel y Transportadores.-

Los secadores de charolas pueden convertirse en un equipo de operación continua moviendo los sólidos húmedos a través de la cámara secadora. Esto puede hacerse transportando la carga sobre una banda transportadora o sobre unos rodillos según sea el caso.

3.4.C Secadores Rotatorios.-

Los materiales en polvo que fluyen libremente, son muy difíciles de mantener sobre una banda transportadora metálica o de cualquier otra índole. Estos materiales pueden secarse en un aparato de tipo rotatorio, en donde los sólidos se secan en forma continua pasando por el centro de un tambor rotatorio, en tanto que el aire se hace pasar a través del polvo que sube por el tambor y cae en forma de cascada. Este movimiento del polvo en el secador es ayudado por deflectores internos.

El aire en este caso puede ser calentado por medios eléctricos con vapor sobrecalentado ó se pueden usar gases calientes de combustión.

Puesto que está expuesta en el secador rotatorio una superficie sólida - mucho mayor que la que se encuentra en los secadores de túnel o de charolas, la proporción de secado será también mas elevada. La alta proporción es solamente una ventaja si se puede conservar el aire no saturado.

Estos secadores presentan muchas ventajas con respecto a los secadores de túnel y charolas, (velocidad de secado y eficiencia) pero tienen el inconveniente de ser más caros (al menos en la inversión inicial) y de presentar problemas más complejos de limpieza y mantenimiento del mismo.

3.4.D Secadores de Tambor.-

Las pastas y los lodos pueden secarse en forma continua mediante secadores de tambor, siempre y cuando, el producto seco no sea lo suficientemente duro como para que se pueda rayar la superficie del tambor. Por esto, este tipo de secadores son particularmente útiles para secar derivados orgánicos. Estos secadores dan vuelta en forma de cilindros horizontales calculados con vapor en su interior. El lodo que se va a secar se extiende sobre la superficie exterior del secador, pegandose a él. Cuando el lodo ha recorri

do tres cuartas partes de una rotación, se retira de la superficie mediante una cuchilla ó lámina.

La rotación normal va de 1 a 10 r.p.m., pero es muy importante controlar también la temperatura superficial del tambor y el espesor de la capa de pasta.

Existen también secadores de tambor doble en donde la pasta se alimenta a través de los dos tambores y el espesor de la capa se controla con el espacio que existe entre los tambores.

Para estos secadores se tienen muchos problemas en cuanto a la obtención de una hoja homogénea y continua del material sobre el rodillo y su adherencia.

En el caso de esmalte húmedo no se puede usar este tipo de secadores porque el material presenta propiedades sumamente abrasivas.

3.4.E Secadores Mediante Aspersión ó de Espreas.-

Este tipo de secadores se ha diseñado para procesar lodos y soluciones para velocidades de producción relativamente altas, a diferencia de los secadores anteriormente descritos.

El producto se obtiene en forma de pequeñas esferitas que son razonablemente uniformes en tamaño y relativamente libres de polvo.

Estos secadores son recomendables en la producción de sólidos no muy duros ó muy abrasivos. (Los esmaltes vítreos son considerablemente abrasivos y duros).

La operación consiste en bombear el lodo hasta una esprea ó un disco rotatorio atomizador que rocía la carga en forma de gotitas muy finas. Estas gotitas están sometidas a una corriente de aire caliente que puede fluir en paralelo o contracorriente en relación con las gotitas que caen; ó bien, un arre-

glo de ambos. Una vez secado, el sólido se separa del aire mediante gravedad. El aire de salida transporta las partes más finas del producto fuera de la cámara de secado, pasando a través de separadores de tipo ciclón e inclusive filtros de bolsas antes de salir a la atmósfera, evitando esta contaminación.

Cualquier unidad de secado mediante aspersión tiene como una de sus partes fundamentales: el suministro de la carga y el sistema de atomización, el sistema de producción y de soplado del gas caliente, una cámara de secado, un sistema de separación de gases y de sólidos y finalmente un sistema para la descarga del producto. El diseño de cada uno de los sistemas depende de los materiales que se estén secando.

Posee los inconvenientes de ser relativamente caro en la inversión inicial y su limpieza interior es más complicada que en un secador de charolas o tipo túnel.

Los secadores de disco centrífugo son una modificación del secador de espreas, pero están provistos de un disco centrífugo que al girar provoca el rompimiento del líquido formando un cono hueco que posteriormente se rompe en pequeñas gotitas.

3.5. MICROPULVERIZADO

En años recientes se han desarrollado comercialmente molinos de martillos que trabajan como pulverizadores de producto fino. Por ejemplo el "Mikro - Pulverizer" opera a velocidades tan altas como 4600 r.p.m., está caracterizado por su instalación simple, operación en circuito abierto, facilidad de limpieza, control estrecho del tamaño de partícula y operación eficiente tanto en seco como en húmedo, además es capaz de pulverizar hasta un estado de subdivisión extremadamente fino.

Lo mismo que otras máquinas de alta velocidad, estos molinos no pueden utilizarse para moler materiales abrasivos ó muy duros.

Para conseguir éste propósito también se puede usar un "Micronizer". Este consiste en alimentar chorros de aire a alta presión tangencialmente a la alimentación del material a pulverizar a una cámara cilíndrica corta. El movimiento tangencial mantiene la alimentación girando alrededor de la -- circunferencia del cilindro, excepto las partículas cuyo tamaño es tan pequeño que la fuerza interna sobrepase a la fuerza centrífuga de la partícula.

Cuando el chorro de aire choca con esta masa de alimentación suspendida - que gira, la turbulencia resultante da lugar a que las partículas se rompan entre sí, existiendo relativamente poca molienda a causa de las paredes del cilindro. Las partículas pequeñas son arrastradas al centro del - cilindro ya que tienen movimiento giratorio, el cual se utiliza para mandarl^{as} al separador de aire adjunto antes de que desaparezca este movimiento.

El molino se alimenta con carga que preferentemente tenga tamaño de partícula menor a 50 mallas.

Parece ser que el desgaste es afectado más notablemente por el tamaño de - partícula de alimentación que por el grado de abrasión del material.

En la preparación de esmaltes vítreos para vidrio, el proceso de micropulverizado se usa exclusivamente para deshacer cristales suaves de diferentes sales, que son producto de materias primas impuras, o bien, de sales que -- son propias de la reacción de fabricación de un pigmento inorgánico. Por esta razón un pequeño molino de martillos es capaz de pulverizar y homogenizar el producto final.

CAPITULO No. IV

METODOS DE APLICACION

Hasta aquí se ha considerado solamente la preparación de un esmalte a fuego para ser aplicado sobre un vidrio base, es decir, solo se ha referido a la preparación de un borosilicato metálico finamente molido que puede ser coloreado ó no y que está ajustado a un cierto punto de fusión.

Este borosilicato en polvo con estas características ya cumple con la definición de un esmalte vitreo para vidrio, sin embargo prácticamente, no posee una aplicación directa en la industria de la decoración, pues la forma de aplicación y quemado del mismo encierra el secreto de un buen decorado. Por esta razón un esmalte en polvo no puede ser comparado con otros sin conocer previamente las cualidades del vehículo usado para aplicar dicho esmalte así como sus condiciones de maduración o quemado.

La aplicación adecuada de un esmalte es un problema muy serio porque como en toda operación, se debe encontrar un balance entre la calidad y el bajo precio. De esta misma forma el problema en la aplicación de un esmalte se ve fuertemente afectada por la calidad-precio del vehículo particularmente. A mayor cantidad de resinas, mayor calidad pero mayor precio.

Los métodos de aplicación de un esmalte varían según el tipo de decorado y el objeto a decorar, sin embargo, el principio es el mismo en todos los casos: Hacer una pasta formada por esmalte en polvo dispersado en un vehículo, que es líquida a las condiciones de aplicación.

Un vehículo cualesquiera debe reunir las siguientes características mínimas - deseables :

4.1 Características Mínimas Deseables de un Vehículo :

- a) Buen Transporte : La principal característica de un buen vehículo es la facilidad del transporte del esmalte hacia la superficie del objeto a decorar. La pasta formada por el esmalte en polvo y el vehículo debe poseer la suficiente fluidez y a la vez la suficiente consistencia para ser aceptablemente trabajable.

- b) Buena Adherencia : El vehículo es el único componente capaz de pegar y sostener al esmalte en la superficie de los objetos mientras se alcanza la temperatura de ablandamiento de la base, por esta razón debemos tomar mucho en cuenta que el vehículo esté calculado de tal forma que conserve sus propiedades de adhesión hasta el ablandamiento.

- c) Secado Optimo : El secado ideal es aquel que sucede inmediatamente después de haber aplicado la pasta (pero no antes o durante la operación). El secado es función de la temperatura ambiente, por lo que existe un vehículo especial para cada condición de operación.

- d) Buena Transparencia : Frecuentemente los vehículos poseen cierta opacidad y cierta tonalidad, de tal suerte que cuando se que man dejan residuos coloridos que afectan desfavora-

blemente al decorado. Es muy importante que el vehículo ya que ha cumplido sus funciones, se quemé totalmente dejando la mínima cantidad de residuos, lo cual está en función de la pureza de los componentes.

- e) **Rendimiento Aceptable:** Generalmente una pasta para aplicar lleva 8 partes de esmalte en polvo por 2 partes de vehículo. Desde el punto de vista comercial estas 2 partes de vehículo tiene un mayor precio por unidad de masa que el esmalte. Por esto es necesario encontrar un vehículo apropiado para cada esmalte, de tal forma que con una pequeña cantidad del primero, se pueda dispersar y aplicar una gran cantidad de polvo. Con esto se da lugar a capas más gruesas y con buena opacidad aunque a veces con un bajo rendimiento. Es necesario trabajar encontrando un equilibrio adecuado entre opacidad y rendimiento variando principalmente las condiciones de aplicación.
- f) **Alta Compatibilidad :** No debe haber reacciones entre el vehículo y el esmalte a menos que se busque algún efecto en especial, lo cual no es muy frecuente.

4.2 Tipos de Aplicación :

Industrialmente existen sólo 2 tipos:

- Por aspersión y
- Por serigrafía.

4.2.A Aplicación por Aspersión:

Esta técnica de aplicación es muy usada en la decoración de candiles, pantallas para lámparas, botellas decorativas, etc.

La forma de aplicación es similar a la aplicación de pintura sobre automóviles. Consiste en dispersar una cantidad de esmalte en polvo en una cantidad de vehículo acuoso.

El vehículo hídrico está formado por las siguientes partes:

- a) Agua purificada en su mayor proporción (aproximadamente en un 85-90%), el cual sirve para dar fluidez a la pasta.
- b) Resinas solubles en agua en un 5-10%, que funcionan dando adherencia entre el esmalte y el objeto a decorar. Estas resinas pueden ser derivadas de la celulosa.
- c) Agentes secantes cuya proporción varía muchísimo dependiendo de la temperatura y humedad ambientes. Entre estos tenemos al tinher, aguarrás, -- alcohol, etc.

La proporción vehículo-polvo también es muy variable de acuerdo con las condiciones de operación y el producto final deseado, pero usualmente es de -- 100 partes de esmalte por cada 80 partes de vehículo acuoso.

Para lograr esta suspensión muchas veces es necesario moler estos compuestos en molinos de bolas por unos 30 minutos para darles una mayor homogeneidad.

El esmalte dispersado en su apropiado vehículo, se aplica sobre el objeto a - decorar con ayuda de una pistola de aspersión a una presión de 60 lb/in² y se debe controlar perfectamente la cantidad de aire y de la fase líquida.

Generalmente la proporción de aire en la aplicación, debe ser muy grande con respecto al líquido con el fin de que apenas se aplique el esmalte sobre la pieza, seque rápidamente, evitando escurrimientos (esta variable complementa el efecto producido por el agente secante del vehículo). La distancia entre la boquilla de la pistola de aspersión y el objeto debe ser de 40 - 50 cm.

El espesor de la aplicación juega un papel muy importante en el acabado final, pues una capa delgada de esmalte puede tener poca opacidad (se transparenta), mientras que una muy gruesa puede, además de cambiar el tono de la aplicación y encarecer el producto, causar superficies hervidas o bien escurridas.

En plantas decoradas grandes, se cuenta con unidades de aplicación totalmente automáticas que evitan muchos de los problemas mencionados, pero existen casos especiales en que la forma y naturaleza del objeto requiere de un tipo de aplicación manual.

Como anteriormente se comentó, un esmalte para vidrio posee una gran cantidad de plomo, razón por la cual es muy difícil mantenerlo en suspensión por mucho tiempo, teniendo que agitar en el transcurso de la aplicación. Si un esmalte se deja asentado por mucho tiempo, se puede cementar fácilmente con ayuda de la cantidad de sales que contiene.

4.2.B Aplicación Fría por Serigrafía:

La serigrafía es una técnica muy antigua de aplicación de tintas y colorantes sobre telas, usando un sistema de estarcido.

Debido a que el material empleado en la decoración (esmaltes), está casi desprovisto de plasticidad, debe sostenerse en un medio conveniente que permita su fácil aplicación. Es común combinar el esmalte en aceite espeso ó en una mezcla de aceite esencial, dispersandolos en un equipo adecuado.

Un vehículo aceitoso para aplicar por serigrafía está compuesto por las siguientes partes :

1. Aceites Ligeros controlados en un 80 - 85 %.

Estos aceites son la base del vehículo pueden ser del tipo del aceite de pino con una densidad de 0.9 - 1.1 g/c.c. En estos aceites es deseable que posean una alta viscosidad, sin embargo, casi todos los proveedores los surten con una baja viscosidad (ligeramente mayor que la del agua) debido a su mala calidad.

2. Resinas orgánicas en un 10 - 15 %

Estas resinas existen en una gran variedad, breas, celulosa, etc. La única característica que deben tener es una alta viscosidad pero también se debe buscar que sean lo más puras posibles. Este compuesto es el que va a determinar la consistencia y trabajabilidad propia del vehículo, -- luego entonces, es una parte muy importante pero también muy cara.

3. Agentes secantes en una proporción muy variable.

Estos agentes van a regular el tiempo de secado del vehículo, pero dependen fuertemente de las condiciones ambientales y de operación.

Un vehículo así formado se dispersa con el esmalte en polvo en un mezclador

de alta potencia para tratar de homogeneizar la mezcla, pero este objetivo no se logra sino hasta pasar ésta por un molino de rodillos. En el molino de rodillos se incorpora perfectamente el vehículo al polvo formando una - pasta de composición uniforme y además se deshacen todo tipo de gránulos. La proporción esmalte-vehículo es regularmente de 80 - 20%. Esta pasta puede aplicarse sobre un objeto con ayuda de una malla de estarcido y un razeo o aplicador de hule. Estas mallas para estarcido son del número 60 ATSM y pueden conseguirse fácilmente, aunque también se pueden fabricar con ayuda de un equipo de fotografía y una solución especial para estas pantallas.

Este método de aplicación en frío es muy poco usado, pues ya que se ha aplicado el esmalte sobre el objeto base, se tiene que dejar secar por un largo tiempo a la temperatura ambiente o bien usar un secador para acelerar este proceso, limitando la impresión rápida de una 2a. o 3a. etiqueta de esmalte. Industrialmente solo se usa cuando se quiere etiquetar una única vez a una - botella o vaso.

4.2.C Aplicación en caliente por Serigrafía, es mejor conocida como Aplicación - Termoplástica :

Este tipo de aplicación es la más usada en la industria de la decoración de vidrio, botellas, vasos, etc. y cada vez va tomando más y más fuerza en la mencionada industria.

Es básicamente el mismo tipo de aplicación que por serigrafía pero difiere en cuanto a que aquí se tiene un vehículo que es sólido a temperatura ambiente y que se debe aplicar por lo tanto en caliente usando una malla de estarcido también caliente.

El vehículo termoplástico está formado principalmente por :

1. Ceras y parafinas de bajo punto de fusión (60-80°C).

Estas ceras deben poseer la característica de ser puras, de tener un punto de fusión perfectamente determinado y constante, de dar una muy buena adherencia y sobre todo el de ser baratas, ya que en este tipo de vehículos van a formar la mayor proporción (90-95%).

También es importante que las ceras utilizadas no posean consigo una gran cantidad de alcoholes terpénicos y esterés de bajo punto de fusión que con cualquier calentamiento se evaporan alterando la composición del vehículo.

2. Al igual que los anteriores vehículos, es necesario tener un agente regulador de la viscosidad, que puede ser una resina orgánica (brea) en muy bajas proporciones.

La viscosidad de la pasta formada por el vehículo y el esmalte en polvo va a determinar el rendimiento del producto: Para una alta viscosidad, se van a obtener aplicaciones más gruesas, más bonitas pero menos rendidoras, por esta razón se debe controlar exactamente la proporción vehículo-polvo y la viscosidad del vehículo mismo.

Estos vehículos termoplásticos son muy usados porque permiten la obtención de decorados de 2 ó más colores, es decir, se aplica primero un fondo (generalmente blanco) que seca instantaneamente sobre el objeto dado la naturaleza del vehículo; inmediatamente se vuelve a aplicar un decorado de un

color cualquiera sobre este fondo ya solidificado y hasta se puede repetir esta última operación una o dos veces más, obteniendo etiquetas muy lucidas y llamativas (botellas Pepsi-Cola, etc.).

Se acostumbra usar vehículos de diferentes puntos de fusión para varias impresiones: la impresión primera con un vehículo de punto de fusión relativamente alto y las siguientes de punto de fusión menor para que no se levante la impresión al aplicar las siguientes.

CAPITULO No. V

MADURACION DEL ESMALTE

La maduración es la operación más crítica en el proceso de la decoración de productos cerámicos. Si no se maneja correctamente, la carga entera puede -- arruinarse, incluyendo el horno. El calentamiento representa mucho más que - la aplicación de calor a los objetos. Es el medio de vitrificar un esmalte.

En los hornos para cerámica, es necesario proporcionar mucho calor a temperatu ras muy altas, pero sin que los objetos esten expuestos a la flama, El calen- tamiento de los objetos resulta una combinación de radiación, conducción y di- fusión del calor. Por radiación el calor se transfiere por ondas, por conduc- ción el calor se transfiere de las partes calientes de un objeto a las partes más frescas y por difusión el calor se transfiere por el movimiento del aire ca liente y los gases que al hacer contacto con los objetos entregan su calor por conducción.

Es de desearse que todos los objetos dentro de un horno se calienten en forma - uniforme a fin de obtener una alta calidad de maduración, sin embargo, en la -- práctica no sucede así: este defecto de quemado se puede corregir en gran parte en el diseño del horno considerando la localización de los quemadores, de los - ductos de calor, los protectores de flama, el uso de tiros forzados ó induci-- dos, etc.

Existen 3 métodos usuales para disminuír la heterogeneidad en la temperatura in terna de un horno :

- a) Se puede construir una caja refractaria en la cual se colocan los objetos y ésta se coloca dentro de un horno. La flama envuelve la caja, pero no toca los objetos. A esta caja se le llama MUFLA y el horno que se utiliza es -- llamado horno de mufla.
- b) Para hornos de caja o contínuos, se pueden colocar protectores de flama, -- (especialmente los que se calientan con leña o carbón) construidos con tabi que a prueba de fuego. Este se construye entre el fuego y los objetos. Con duce la corriente de calor y los gases hacia arriba después de lo cual son atraídos hacia abajo a través de las pilas de objetos, por la fuerza del - tiro.
- c) Se puede instalar un ventilador en el interior del horno para que homogenice la temperatura y la concentración de gases de combustión. Obviamente este - efecto es mejor para cuando se necesita una atmosfera oxidante.

5.1 Carga del Horno:

Los detalles de la carga varían con el tipo de horno y la clase de obje-- tos de que se trate, pero pueden aplicarse las instrucciones generales.

1. Los objetos deben agruparse por altura más o menos uniforme de modo que se desperdicie el mínimo de espacio del horno. Esta selección se puede hacer mejor fuera del horno.

2. Cuando tienen que cargarse formas diversas surtidas, es aconsejable co-- locar las piezas pesadas y gruesas en la parte más caliente del horno.

3. Se debe procurar no colocar objetos pegados a las paredes del horno, principalmente cuando las piezas tienen grandes superficies planas.
4. Debe existir el suficiente espacio libre entre las paredes del horno y las piezas para favorecer la circulación del aire.
5. Si se van a quemar objetos esmaltados que están formados a su vez por diferentes piezas, estas se deben quemar en su lugar. De este modo - las partes recibirán el calor parejo.
6. Nunca deben colocarse un objeto encima de otro, sobre todo si el de arriba es más pesado que el de abajo, pues se presentarán problemas - de roturas y deformaciones.

Para evitar en parte los problemas de colocación de los objetos dentro del horno, existe una gran variedad de "peines" (soportes) refractarios que se adaptan a cualquier necesidad.

5.2 Etapas en el Calentamiento:

El esmalte para vidrio que se aplica sobre un objeto es una mezcla de polvo y vehículo en donde el polvo es completamente de naturaleza inorgánica, mientras el vehículo de naturaleza orgánica. Antes de someter esta mezcla a maduración es necesario pasarla por una etapa de secado o de precalentado, dependiendo de las características del horno que se use, es decir, si se usa un horno continuo no es necesario un secado previo, ya que la zona de precalentamiento hace estas veces.

En la maduración de un esmalte para vidrio se pueden considerar cinco etapas en el ciclo completo de cocción y enfriado de los objetos :

5.2.A Evaporación de compuestos orgánicos ligeros y agua

Dependiendo del vehículo con el que se haya aplicado el esmalte (termoplástico, aceitoso ó acuoso), la cantidad de material evaporado varía considerablemente. Cerca de los 80 °C se ha completado la evaporación de los mismos. Las substancias evaporadas serán alcoholes, esterés, aceites de bajo punto de fusión, etc., sin afectar aún a las resinas o breas. - Cerca de los 100 °C se produce la evaporación del agua libre que posee todavía el esmalte. Normalmente no excede a 0.3 %.

Esta evaporación se debe llevar a cabo muy lentamente, a fin de no perjudicar la superficie del decorado con una evaporación violenta; es necesario dejar salir los vapores paulatinamente y dar el tiempo suficiente para que viajen a través del esmalte mismo.

5.2.B Deshidratación y Quemado de Materia Orgánica.

Una cocción continuada más allá del período de evaporación del agua y - compuestos orgánicos ligeros, trae consigo la eliminación del agua química que contienen las arcillas y demás compuestos del vehículo.

Esta evaporación es completa cuando se alcanzan temperaturas de 500 °C. Para este tiempo también sucede la combustión de las resinas orgánicas que comunmente llevan los vehículos. Después de este efecto los compuestos inorgánicos no pueden ser suavizados otra vez con agua y es por esto que este calentamiento deja a los esmaltes momentaneamente porosos. Precisamente a esta temperatura el esmalte en polvo se queda sin soporte (sin vehículo) y es aquí cuando el vidrio base empieza su etapa de ablandamiento, sosteniendo por sí soio el esmalte en polvo.

5.2.C Oxidación.

En este período se presenta la oxidación del carbón de las arcillas que ocurre casi simultáneamente con la deshidratación. Cuando el material volátil se ha quemado, los combustibles que quedan son principalmente azufre y carbón. En esta etapa se tienen todos los componentes del esmalte en forma de óxidos (de sílice, de plomo, de boro, etc.) y ya no existen carbonatos, sulfatos u otros.

5.2.D Vitrificación.

Un ligero incremento continuo del calor produce la fusión de los ingredientes del esmalte y su consecuente vitrificación. Siempre es recomendable un período de temperatura constante a la temperatura máxima. Esto garantiza una penetración o integración del esmalte a la superficie del objeto. Generalmente el tiempo que se mantiene un esmalte a temperatura óptima es de 5 a 10 minutos, o sea un objeto esmaltado tardará esos minutos en atravesar la zona de fuego en un horno continuo. Este tiempo es relativamente corto con respecto al tiempo total que las piezas están dentro del horno, pues en el precalentamiento su estancia es de aproximadamente de $\frac{1}{2}$ hora. La temperatura de vitrificación óptima para un esmalte varía según sus características, pero oscila entre 500 - 650°C. Temperaturas mayores a éstas son muy raras dado a que para los vidrios base comunes su punto de ablandamiento es de 650 - 700°C.

5.2.E Enfriado.

El enfriado completa el ciclo de maduración y es importante controlar exactamente su velocidad, la cual varía de acuerdo con el tipo de horno y la cantidad de carga. En este caso se considera que la velocidad de enfriamiento debe ser igual a la velocidad de calentamiento, pero en general, el enfriamiento es más rápido que el calentamiento. Muchas veces el calentamiento

está en función de la capacidad del horno, de ahí que sea más o menos lento, sin embargo, el enfriamiento puede ser favorecido al principio por una corriente de aire frío (de 650 a 450 °C) sin tener ruptura en las piezas decoradas, pero de ahí en adelante se debe controlar muy lentamente. (anteriormente se creía que el enfriamiento debía ser desde el principio lento).

Para lograr este enfriamiento rápido es necesario estudiar el comportamiento del vidrio base y del esmalte con la temperatura. Si se tiene perfectamente definido el coeficiente de dilatación de ambos, se pueden acelerar el proceso de calentamiento y enfriamiento de estos decorados. Cabe recordar que este coeficiente se puede más o menos controlar alterando las proporciones de boro de las composiciones vítreas.

5.3. Medición de la Temperatura.

Un defecto muy común en la maduración de un esmalte, es la discrepancia de la temperatura real y la temperatura deseada en un horno cualquiera. Para un control efectivo de la temperatura de calentamiento se necesitan también medios efectivos y exactos de medición. El alfarero primitivo confiaba en su habilidad para reconocer la temperatura por el color dentro de la cámara de combustión pero obviamente se lograban muy malos quemados de las piezas. Ahora los 2 medios más comunes para medir la temperatura son: conos pirométricos y sistemas eléctricos pirométricos.

5.3.A Conos Pirométricos.

Un cono pirométrico es una pirámide pequeña y delgada de arcilla y otros materiales cerámicos, mezclados en forma tal que se suavizan y deforman cuando llegan a una temperatura determinada. Los conos se usan para indicar el punto de calentamiento deseado. Los primeros conos que se desarrollaron fueron alemanes marca Seger pero los más comunes son los Orton.

Las series de conos Orton incluyen 61 números distintos que van desde el 022 en el extremo más bajo, hasta el 42 que es el más alto. Vease la Carta de Equivalentes de Temperaturas de Conos.

Su uso es simple. Los conos se fijan en placas de arcilla refractaria dentro del horno y se inclinan a un ángulo de 8° a la vertical. Comúnmente se fijan 3 conos en la placa; el que indica la temperatura de maduramiento deseado se coloca en medio, y los otros dos indican las temperaturas -- próximas máxima y mínima.

Se leen de acuerdo con la carátula de un reloj. Ver figura # 5.1.

Cuando dé su señal completa de calor, la punta estará inclinada señalando la posición 6 del reloj, Es conveniente tener un cono que doble antes de la temperatura óptima, porque así se da un aviso previo al operador del momento de cerrar el fuego del horno. Esto último es especialmente importante en el calentamiento de esmaltes, pues la diferencia de un solo cono de temperatura puede hacer una gran diferencia en el acabado final.

Este método de control es muy barato y más o menos preciso, pero su uso queda limitado para hornos de caja, muflas y hornos intermitentes. Hay que notar que la deflexión del cono así como la maduración de un esmalte se ven afectadas por la velocidad de calentamiento. Las especificaciones de los conos Orton por ejemplo, dicen claramente que el elemento indicará exactamente la temperatura si se calienta a las siguientes velocidades:

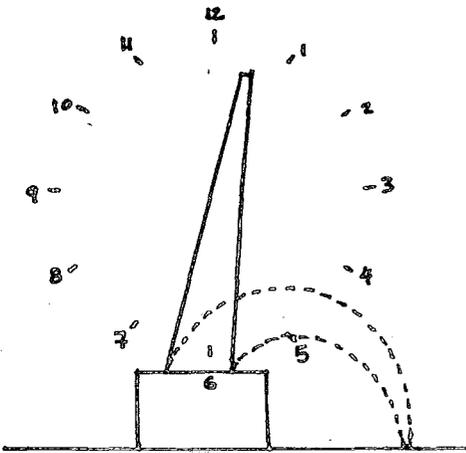
60° C/Hr. para Conos del 022 al Cono 12

150° C/Hr. para Conos del 13 al Cono 37

600° C/Hr. para Conos del 38 al Cono 42

conos orton

°C	°F	Velocidad de Calentamiento		°C	°F	20°C/h 150°C/h		°C	°F	20°C/h 150°C/h	
		20°C/h	150°C/h			20°C/h	150°C/h			20°C/h	150°C/h
585	1085	022		875	1607	011	012	1150	2102		
590	1094			880	1616			1160	2120		1
595	1103	021		890	1634	010		1165	2129	4	2
600	1112			895	1643		010	1170	2138		3
605	1121		022	900	1652			1180	2156	5	
610	1130			905	1661		011	1190	2174	6	4
615	1139		021	910	1670			1200	2192		
620	1148			920	1688			1205	2201		5
625	1157	020		930	1706	09	09	1210	2210	7	
630	1166	019		935	1715			1215	2219		
640	1184			940	1724			1220	2228		
650	1202		020	945	1733	08		1225	2237	8	
660	1220		019	950	1742		08	1230	2246		6
670	1238	018		960	1760			1240	2264		
680	1256			970	1778			1250	2282	9	7
690	1274			975	1787	07		1260	2300	10	8
700	1292			980	1796			1270	2318		
710	1310			990	1814		07	1280	2336		
720	1328	017	018	1000	1832			1285	2345	11	9
730	1346			1005	1841	06		1290	2354		
735	1355	016		1010	1850			1300	2372		
740	1364			1015	1859		06	1305	2381		10
750	1382			1020	1868			1310	2390	12	
760	1400			1030	1886	05		1320	2408		
770	1418	015	017	1040	1904		05	1325	2417		11
780	1436			1050	1922	04		1330	2426		
790	1454			1060	1940		04	1335	2435		12
795	1463	014	016	1070	1958			1340	2444		
800	1472			1080	1976	03		1350	2462	13	13
805	1481		015	1090	1994			1360	2480		
810	1490			1095	2003	02		1370	2498		
815	1499			1100	2012			1380	2516		
820	1508			1110	2030	01		1390	2534	14	
825	1517	013		1115	2039		03	1400	2552		14
830	1526		014	1120	2048			1410	2570	15	
835	1535			1125	2057	1	02	1420	2588		
840	1544	012		1130	2066			1430	2606		
850	1562			1135	2075	2		1435	2615		15
855	1571			1140	2084			1440	2624		
860	1580		013	1145	2093	3	01	1450	2642	16	



Cono Pirométrico

Figura 5.1

Cuando el cono está colocado de -- esta forma, la punta entre el 12 y el 1, su lectura total la dará --- cuando marque 6, pero se puede pa- rar el calentamiento en el 2, 3, 4 ó 5 según se desee.

La deformación del cono se ve afectada también por la atmósfera del horno. Cuando prevalece una atmósfera reductora durante el calentamiento, los conos se cubrirán de carbón. Esto los hace rígidos retardando su deformación y afectando su exactitud. Un cono carbonizado se identifica por la falta de brillo y la presencia de bordes agudos en forma de dientes de sierra. Una atmósfera sulfurosa tiende a hinchar el cono en la base y arrugar su super- ficie.

Conos autógenos.

Solo en el caso de quemar objetos de arcilla o barro se pueden hacer conos del mismo material con que están hechas las piezas. Estos conos se calibran comparando con otros conos pirométricos y de esta forma se pueden contar con conos autógenos muy baratos y exactos.

5.3.B Sistemas Eléctricos Pirométricos

El pirómetro es un instrumento usado para medir temperaturas más altas que las alcanzadas por el mercurio y los termómetros de vidrio. Por medio de un termopar se produce una corriente eléctrica que se mide y se convierte en grados para su lectura. El termopar consiste en un par de alambres gruesos de metales diferentes que se sueldan por uno de los extremos. Los extremos libres se conectan al aparato medidor. El extremo caliente o soldado se inserta desde afuera a la cámara de calentamiento. Cuando se calientan los alambres, se produce una corriente y cuanto mayor sea el calor, mayor será el voltaje. La selección de los 2 metales del termopar depende de las temperaturas que se desean alcanzar. Las aleaciones de cromo-cromoaluminio se usan para temperaturas de 1250°C máximo. Para temperaturas más altas se usan aleaciones de platino.

Pirómetro Óptico.

Funciona por medio de un aparato telescópico que compara el color dentro del horno con una carta estándar de colores, haciendo de este modo las lecturas de la temperatura.

Estos sistemas de medición de la temperatura tienen que estar situados en diversos puntos de un horno con el fin de encontrar en realidad la temperatura interior, sin embargo, en el caso de los conos pirométricos, la posición de los mismos está restringida a un pequeño espacio, pues el horno tiene unos pequeños agujeros especiales para vigilar dichos conos y solo en ese lugar se pueden observar. En el caso particular de los hornos continuos el único sistema efectivo para la medición de la temperatura es el colocar termopares viajeros a lo largo del mismo.

5.4. Tipos de Hornos Usados.

Los hornos pueden clasificarse de acuerdo con su estructura, uso, combustible u otras características, pero para nuestros fines todos los hornos se clasifican por su encendido en periodicos o contínuos.

5.4.A Hornos Periódicos:

Los hornos periódicos se cargan, encienden, enfrían y descargan completando ciclos es decir, su operación es intermitente. Los hornos periodicos se hacen en tamaños y capacidades que varían desde el pequeño horno de tipo de prueba para laboratorio hasta grandes hornos de tabique de tipo industrial. Se adaptan especialmente a encendidos ocasionales y a las instalaciones donde el costo bajo inicial, es la condición primordial.

5.4.B Hornos Contínuos :

En los hornos contínuos, los objetos que van a quemarse, se mueven en un transportador desde la zona de carga, al través de la zona de calentamiento y enfriado siendo finalmente descargados. Los objetos se cargan y descargan simultáneamente. Los hornos contínuos son prácticos solo para cuando se trata de una gran producción. El costo inicial de estos hornos es muy alto, pero el costo de calentamiento por unidad de objetos, es menor que en los hornos periodicos porque se desperdicia menos calor en el ciclo de calentamiento enfriamiento. El aire caliente se usa para secar esmaltes u otros objetos del proceso.

Existen otros hornos que son los que presentan una especie de combinación entre el horno periodico y el continuo y son los llamados hornos de transferencia. Aquí los objetos se cargan en carros y al entrar al horno cada carro lleno de carga permanece en una determinada zona por un tiempo calculado

previamente. Luego se introduce una nueva carga y cada vez que una nueva carga entra al horno, la anterior se descarga simultáneamente por el lado opuesto.

Otro tipo de clasificación de los hornos es de acuerdo con el medio de calentamiento :



5.4.C Hornos eléctricos:

La electricidad es un medio ideal de calentamiento para el tratamiento térmico de un esmalte. Es muy fácil de controlar, no requiere respirador ni tiros, y ofrece menos peligro de encendido. Su uso está limitado a comunidades en donde el costo de la electricidad se equipara con el de -- otros combustibles.

Hay dos tipos básicos de hornos eléctricos = los de elementos metálicos y los de elementos no metálicos. Los elementos metálicos están presentes por lo común en forma de alambre ó cinta y se pueden hacer aleaciones -- que tienen gran resistencia eléctrica. Los hornos con estos elementos -- pueden calentarse a temperaturas de cono 10 máximo. El control de temperatura de estos hornos se hace por switches de diferente temperatura o -- por reguladores de voltaje.

Los elementos no metálicos son de naturaleza cerámica. Se hacen de carburo de silicón fundido en forma de varillas de diferentes diámetros, largos y resistencias y son capaces de alcanzar temperaturas mayores que los elementos metálicos. Estas temperaturas son del orden de conos 15 - 18. - Los elementos no metálicos son muy frágiles y debe tenerse mucho cuidado con su manejo. -

Las ventajas de los hornos eléctricos son las siguientes :

- 1.- Gran variedad de tamaños comerciales, desde hornos pequeños para laboratorio hasta hornos para la industria.
- 2.- Los hornos pequeños son fácilmente portátiles. Pueden conectarse en cualquier pared.
- 3.- El costo de adquisición de los hornos eléctricos que usan resistencias es generalmente más bajo que el de otros tipos para iguales temperaturas y capacidades.
- 4.- Los hornos eléctricos son más fáciles de construir y mantener que los demás hornos.
- 5.- Su operación es muy sencilla y se adaptan al más preciso control automático.

5.4.D Hornos de Gas :

El gas natural es un combustible muy usual para los hornos industriales. - Es comúnmente el menos costoso y se presta bien para su regulación automática. El encendido con gas requiere algunos medios para proteger a los objetos esmaltados contra la llama como ya se mencionó y el calor se controla por el número de quemadores y el tamaño de la flama. Es preferible colocar muchos quemadores pequeños controlando el tamaño de la flama, que colocar 2 quemadores grandes con flama completa, porque de la primera forma se tienen quemados más uniformes y más rápidos para la misma cantidad de gas - empleado. Estos hornos deben de poseer un sistema automático de cierre del gas para en caso de que falle la presión del mismo ó bien por una falla en el aire.

5.4.E Hornos de Aceite :

Los hornos que queman aceite son muy similares a los que queman gas natural. El combustible típico de emergencia para los hornos industriales de gas, es el aceite y se puede hacer el cambio con muy poca dilatación en el calentamiento. El combustible puede ser petróleo, aceite combustible, aceite de carbón o algún otro producto derivado del petróleo igualmente barato.

Los quemadores requieren aire a presión para atomizar el aceite y para que la combustión sea completa. Es necesario el precalentamiento del aceite para lograr una completa atomización. Una cuidadosa regulación del aire y del aceite asegura una combustión completa y las más altas temperaturas. Cuando la flama humea, indica una combustión incompleta y debe evitarse a menos de que se desee una atmósfera reductora en el horno. El peligro mayor en un horno de aceite, es la presencia de combustible no quemado en la cámara de combustión. Si debido a una combustión incompleta o a escapes, después de que la flama ha sido extinguida, se acumula en el hogar el aceite crudo, éste puede explotar cuando el horno se prenda otra vez. Los hornos de aceite son capaces de cocer esmaltes para vidrio fácilmente e inclusive objetos de porcelana que requieren temperaturas muy altas.

5.4.F Otros Hornos :

Existen otros hornos industriales que se usan para la cocción de esmaltes y objetos burdos y pesados en los que se usan otros combustibles como medio de calentamiento; entre estos se encuentran el carbón, la leña, cáscaras de coco, estiercol, etc. Estos hornos primitivos se usan muy poco en la actualidad, sin embargo, se ha encontrado que el carbón vegetal es un buen combustible para el quemado de esmaltes para vidrio, ya que quema limpiamente y de una manera muy uniforme.

El gas, el aceite y la electricidad, son combustibles preferidos en las industrias modernas de la cerámica y decoración porque dan lugar a temperaturas precisas y controles atmosféricos. Los costos de calentamiento son un importante factor en los costos de los objetos, al igual que lo son los costos iniciales y de mantenimiento de la instalación. En la selección del tipo de horno teniendo en cuenta el combustible que requiere, es importante considerar estos 3 costos juntos y no solamente el costo del combustible. Los hornos de leña o carbón necesitan generalmente más supervisión que los de gas, aceite o electricidad. Los últimos pueden hacerse enteramente automáticos y producirán mayor uniformidad en los objetos esmaltados, con un ahorro considerable en los costos de mano de obra.

C A P I T U L O VI

MÉTODOS DE CONTROL DE ESMALTES PARA VIDRIO

El control de un esmalte para decorar vidrio incluye las siguientes pruebas :

- a) Trabajabilidad
- b) Goteo en malla de aplicación
- c) Rango de quemado
- d) Quemado crítico
- e) Escurrimiento
- f) Resistencia Alcalina
- g) Resistencia Acida
- h) Plomo Soluble

a) Trabajabilidad:

Se entiende por trabajabilidad a la facilidad con la que un esmalte se aplica sobre la superficie del vidrio a decorar. Esta característica depende fuertemente de la relación (vehículo líquido-esmalte en polvo) y sobre todo de la calidad del vehículo (cantidad de resinas) aunque el esmalte en polvo también puede afectar si es que no se encuentra bien molido y dispersado, ó bien si no está fritado parcial o totalmente.

Esta prueba está enfocada a la viscosidad, pues esta es una medida indirecta de la trabajabilidad. Así mismo se debe controlar el tiempo de secado (cantidad de agentes secantes del vehículo) para evitar problemas de secado prematuro en la malla de aplicación o problemas de escurrimiento a causa de un secado retardado. Obviamente debemos entender que al esmalte termoplástico se le toma la viscosidad en caliente de tal forma que el vehículo se encuentre en forma líquida. La prueba de trabajabilidad consiste en lo siguiente :

Se deposita una cantidad adecuada de esmalte en forma de pasta sobre la malla de aplicación en su parte superior, procurando que el esmalte no invada la zona de aplicación (ver figura 6.1) y con ayuda de un razer se hace bajar al esmalte abarcando toda la zona, tratando de empujarlo o forzarlo a pasar por la malla, decorando de esta forma el vidrio plano colocado abajo. Con esta -- sencilla operación se puede notar la fluidez, consistencia de la pasta y la -- adherencia de la misma con el vidrio base. Si la adherencia es mala, se encontrará que la pasta aplicada se despega del vidrio al levantar la malla de apli cación. Si la trabajabilidad es mala, se van a lograr malas impresiones en -- donde se noten etiquetas de espesores diferentes o simplemente etiquetas seg- mentadas o rayadas.

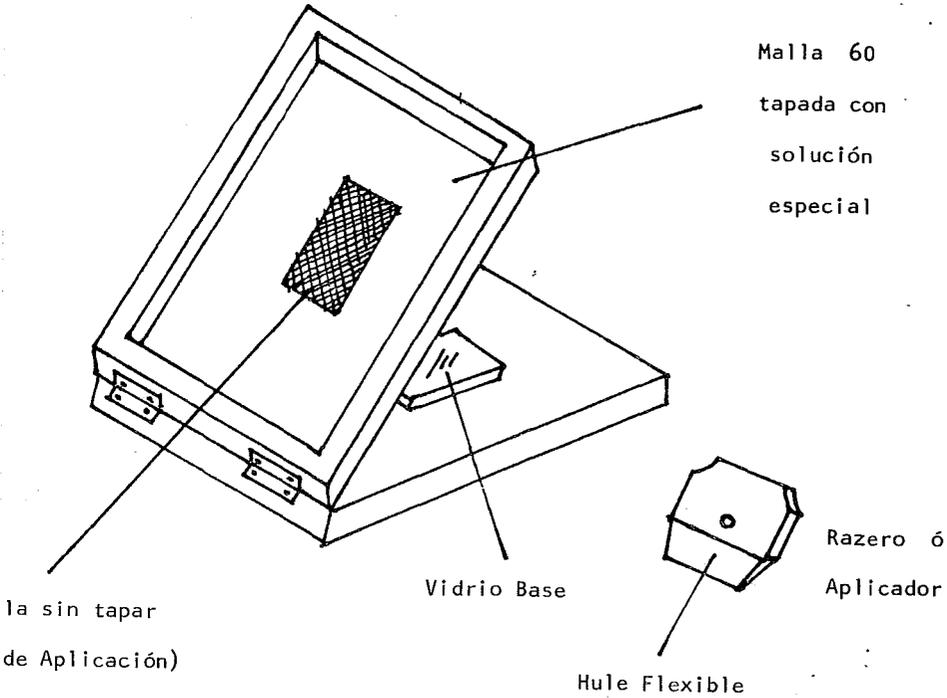
B) Goteado.

Esta prueba mide la "cohesión" que posee una pasta, es decir, nos mide la -- fuerza con que están integrados los diferentes elementos de un esmalte en pas ta. Consiste en depositar una pequeña cantidad de pasta sobre la zona de --- aplicación de la malla y después de unos 10 - 15 minutos observar si no ha pa sado hacia abajo. Si se presentan gotas en la parte inferior de la malla por concepto de esmalte que escurrió, es seguro que se tendrán problemas en la -- decoración. Este tipo de defectos pueden dar impresiones totalmente borrosas.

C) Rango de Quemado.

Consiste en hacer variar la temperatura de maduración de un esmalte para encontrar su posible inestabilidad térmica. Cualquier esmalte para vidrio va a su- frir cambios con esta variación que afecta principalmente :

- | | |
|----------------|------------------------------|
| 1.- Tono | 4.- Opacidad |
| 2.- Intensidad | 5.- Tersura de la Superficie |
| 3.- Brillo | |



MALLA PARA APLICACION MANUAL

Figura 6.1

Tono e Intensidad :

La variación del tono y de la intensidad son debidos a deficiencias del pigmento del esmalte en la mayoría de las ocasiones. Dependiendo de la naturaleza del pigmento se van a registrar cambios muy significativos en el tono e intensidad del decorado al cambiar la temperatura. Comunmente un esmalte pierde su intensidad cuando se eleva la temperatura de cocción debido a que se produce una descomposición en la estructura química del pigmento, sin embargo, cuando se usan pigmentos mal calcinados o inclusive crudos, al elevar la temperatura se pueden mejorar considerablemente la intensidad y tonos del esmalte. El cambio de tono al aumentar la temperatura se puede presentar cuando se tiene una frita de punto de maduración menor que la temperatura de operación; en este caso la descomposición de la frita también es un contribuyente a este defecto. Una variación de $\pm 20^{\circ}\text{C}$ puede ser significativa en el cambio de tono de un esmalte común, por lo que es recomendable tener la seguridad de quemar a temperatura óptima y por el tiempo óptimo, ya que este último es tan peligroso como el primero.

Brillo :

El brillo es directamente proporcional a la temperatura en un esmalte dado; siempre y cuando no se rebace la temperatura de descomposición del esmalte, en donde la descomposición de los componentes produce fallas de vitrificación necesariamente.

Opacidad:

La opacidad de un esmalte es muy importante porque de aquí se deriva su rendimiento. Un esmalte muy opacificado puede ser aplicado en impresiones muy delgadas las cuales lógicamente rinden mucho. La opacidad es directamente proporcional a la cantidad de pigmentos en la frita o a la cantidad de materiales opacificantes que lleve en su composición. Entre estos opacificantes

se pueden citar derivados del Zirconio finamente molidos, Bióxido de Titanio, alúmina, fluoruro de estaño, etc. Al incrementar la cantidad de materiales opacificantes o de pigmentos en los esmaltes, se incrementa también su dureza o falta de brillo porque las relaciones de materiales fundentes y materiales no fundentes se desequilibra. En este caso si el aumento de la dureza es poco, se puede elevar la temperatura de maduración ligeramente sin dañar a la fritada. Por otro lado, la opacidad de un esmalte disminuye al incrementar la temperatura, es decir, si se madura un esmalte a diferentes temperaturas se obtendrán decorados de diferente opacidad teniendo la mayor el esmalte quemado a más baja temperatura.

Tersura de la Superficie:

La tersura de la superficie de un decorado está regida por la estabilidad de la fritada con la temperatura y por el tipo de evaporación del vehículo en el quemado.

El control de estos aspectos mencionados en un esmalte se realiza visualmente contra cuando menos un estándar. La comparación visual puede ser muy buena, pero si se requiere de un control más preciso se puede recurrir a algunos aparatos auxiliares: el colorímetro mide la intensidad de un esmalte con una gran exactitud (100 para el color blanco y 0 para el negro) y en otras escalas mide, el tono verde o rojo y azules o amarillos. Un medidor de brillo puede ayudar a controlar los valores de brillo (dureza en un esmalte).

El método de control de rango de quemado consiste en realizar quemados de un mismo esmalte a cuando menos 3 temperaturas diferentes: temperatura óptima de maduración y de $\pm 25^{\circ}\text{C}$, abarcando con esto cualquier posible variación en la temperatura de operación de un horno, Si el control se realiza en un colorí-

metro las diferencias máximas permitidas en cuanto a tono e intensidad del estandar y cualquier prueba es del 0.3 %.

D) Quemado Crítico.

Se entiende por quemado crítico a la operación que se lleva a cabo al madurar un esmalte a condiciones críticas de operación : Se queman una gran cantidad de objetos decorados en un horno muy pequeño sin ventilación y con un ciclo de quemado muy largo.

Los defectos que voluntariamente se logran son :

- 1.- Atmósfera sumamente reductora debido a la falta de oxígeno.
- 2.- Deshomogenización de la temperatura debido a la falta de ventilación.
- 3.- Maduración a temperaturas más altas que la óptima por el ciclo tan largo.
- 4.- Escurrimiento del esmalte causado por un ciclo de quemado tan lento y por la colocación tan apretada de los decorados.
- 5.- Contaminación entre los esmaltes. Si todos son del mismo color obviamente no existirá.

El objetivo de esta prueba es tratar de reproducir las condiciones mas críticas que puedan existir en la producción de decorados, así como de encontrar las limitaciones del esmalte controlado para poder sugerir algunas posibles soluciones en la operación.

E) Escurrimiento.

El escurrimiento de un esmalte en la etapa de maduración, se presenta normalmente cuando se tienen aplicaciones muy gruesas de un mismo esmalte o cuando se tienen etiquetas con varias capas de diferentes colores. Para reproducir este defecto se usa aplicar más o menos 3 capas de esmalte sobre un vidrio -- plano.

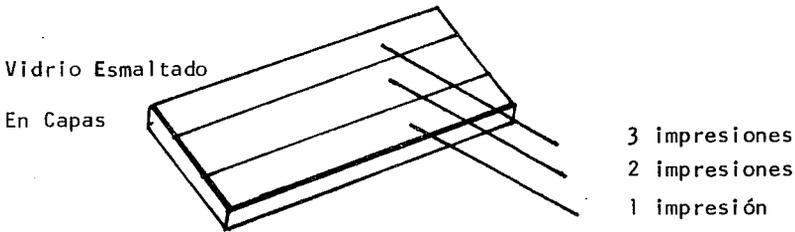


Figura 6.2

A este vidrio decorado se le somete al proceso de maduración vertical procurando que la capa más gruesa quede hacia arriba. Si existe escurrimiento, este ocurre cuando el vehículo empieza a quemarse y por lo tanto a cambiar de composición. Si no está bien calculado empieza a fluir y a escurrir arrastrando el esmalte en polvo. Este defecto se hace patente de la 3a. capa en adelante.

F) Resistencia Alcalina.

El principal mercado de la industria de la decoración de vidrio con esmaltes a fuego, es la decoración de botellas para refrescos. La mayoría de estos envases son usados por lo menos unas 25-30 veces (si es que antes no se quiebran o despostillan) y para lavarlos se usa generalmente una solución diluida y caliente de hidróxido de sodio, es por esto que un esmalte para vidrio común debe poseer una buena resistencia alcalina.

El control alcalino para esmaltes para vidrio según método de la A.S.T.M. consiste en lo siguiente :

- 1.- Pesarse en una balanza analítica el vidrio base ya decapado.
- 2.- Aplicarlo con el esmalte a controlar (prueba y estándar).
- 3.- Madurar estos esmaltes a temperatura estrictamente igual en la misma mufla y por el mismo tiempo.
- 4.- Calcular la cantidad de esmalte aplicado en cada etiqueta.

5.- Someter estos decorados a la acción de un baño alcalino por ciclos de 24 hrs. y a una temperatura constante de 80°C.

NOTA: El baño alcalino debe tener una concentración del 10% de una mezcla formada por 95% de sosa caustica, 5% de fosfato de sodio y diluída con agua "destilada" para que ésta última sea pura y así evitar algún otro ataque (cloro, etc.).

6.- Secar las aplicaciones del baño mencionado y lavar con suficiente agua.

7.- Secar, pesar y determinar la pérdida de esmalte.

Una pérdida de peso por ataque alcalino mayor a 25% indica que el esmalte no posee buena resistencia alcalina, es decir, no va a resistir los 25-30 baños que el embotellador desea de cada una de las botellas.

El resultado del control puede ser expresado como un número de ciclos de resistencia o como un porcentaje de pérdida de peso por el ataque inicial (las pérdidas por 2os. y 3os. ataques serán siempre mayores).

G) Resistencia Acida.

Esta prueba es muy similar a la de resistencia alcalina, solo que en este caso no se lleva el control del peso perdido, porque en algunos casos muy comunes, el ácido usado para el ataque puede formar compuestos con los componentes del esmalte y dar lugar a incrementos en el peso. Si no ocurre así con otros esmaltes, al menos no es muy significativa la medida del peso.

Las características que se comparan en este ataque son principalmente la pérdida de brillo y oscurecimiento. La pérdida de brillo nos mide la mala resistencia de la fritada y el oscurecimiento la inestabilidad del pigmento.

Generalmente, cuando un esmalte tiene mala resistencia ácida, también posee mala resistencia alcalina. Esta regla no es válida a la inversa. Cuando un esmalte posee mala resistencia ácida y alcalina, se dice que tiene mala resistencia química.

El agente de ataque que se usa en esta prueba es el ácido clorhídrico comercial a una concentración del 10% en agua destilada a una temperatura ambiente y por ciclos pequeños de 20-60 minutos.

Un esmalte común no tiene por qué poseer buena resistencia ácida, a menos que el cliente maneje líquidos de esa naturaleza.

H) Plomo Soluble.

Esta prueba es muy particular y solo se aplica cuando se va a decorar recipientes de vidrio las cuales van a contener alimentos o bebidas, por ejemplo, vajillas de vidrio blanco decorado, moldes refractarios decorados, vasos, etc.

Consiste en someter un objeto esmaltado en una solución de ácido acético grado reactivo analítico al 4% por 24 hrs. El plomo soluble que es altamente tóxico, por acción del ácido acético produce acetato de plomo y finalmente se determina por un método colorímetro o por absorción atómica.

6.2. Defectos en los Decorados :

Los defectos, se pueden definir como cualquier imperfección en la pieza decorada que sea causa de rechazo y que no puede ser vendida.

En muchos casos, el esmalte defectuoso puede pasar desapercibido hasta que se han efectuado varias operaciones con él. Generalmente estas operaciones subsecuentes hacen que la recuperación de las piezas defectuosas sea difícil y en algunos casos imposible. Cuando la producción es muy grande, se puede incurrir

en pérdidas altas cuando se padece un defecto. Por lo tanto, la rapidez para descubrir la causa del mismo es de vital importancia.

Algunos defectos típicos en los productos terminados son :

1.- Ampollas o Burbujas

Las ampollas o burbujas son causadas principalmente por humedad en el esmalte en polvo, aplicaciones muy gruesas y por la presencia de sales solubles como impurezas.

Este defecto se presenta en la etapa de maduración del esmalte antes del ablandamiento de la frita. Si se aplica un esmalte húmedo que ha sido -- dispersado en un vehículo apropiado, la primera falla se detectaría hasta el momento del quemado. El agua contenida en el polvo, al evaporarse --- bruscamente provocará la producción de burbujas de vapor, que dependiendo de las condiciones de operación pueden ser numerosas con superficie - rota aunque en algunos casos la ampolla puede estar cubierta con una delgada capa de esmalte. La única forma de corregir este esmalte es calen-- tarlo, ya que se haya aplicado, muy lentamente desde la temperatura am-- biente hasta la temperatura de ebullición del agua, lo cual representa lógicamente un alto costo de cocción que tal vez se equiparía con perder o desechar todo ese esmalte. Hay que notar que el esmalte en polvo no es hidroscópico y que este defecto es producido por un mal manejo del pro-- ducto o por un mal secado cuando se ha molido en húmedo.

Cuando el decorado exige aplicaciones muy gruesas o varias aplicaciones de diferentes colores, es frecuente encontrar burbujas en la superficie del esmaltado, causadas por la evaporación desigual del vehículo en cada una de las capas. Primero se evapora el vehículo de la capa externa y -- hasta el final ocurre la evaporación del vehículo de la capa interna, --

provocando burbujas o ampollas de vapor, que de la misma forma que las burbujas de vapor de agua, tienden a explotar. En este caso también se requiere un calentamiento muy lento, para dar tiempo a que el vehículo de la capa interna viaje paulatinamente a través de las capas secas superiores. Así mismo, la contaminación por sales solubles originarias de la formación de la fritura y pigmento, pueden propiciar este defecto por efecto de su calcinación al momento de la maduración y que trae consigo la producción de gases de combustión.

2.- Superficies Hervidas.

Las causas que dan lugar a superficies hervidas, pueden ser las mismas que las que propician superficies con ampollas, de hecho, no se ha definido aún sus diferencias. Sin embargo, una superficie hervida se presenta cuando un esmalte se quema a una temperatura mayor con respecto a la que fué calculado. En este caso se presentará hervimiento por descomposición de los constituyentes del esmalte causado por un mal control de la temperatura, por un tiempo excesivo de maduración o por la forma propia de las piezas. Es importante saber quemar piezas de formas irregulares, teniendo en cuenta que no todos los puntos de un objeto dentro de un horno van a recibir el mismo tratamiento térmico. En estos casos se debe controlar perfectamente la cocción y más aún, la perfecta aplicación de un esmalte.

3.- Superficie Picada

Este defecto conocido también como puntos de alfiler (Pin-Hole), aparece muy frecuentemente por causas de contaminación de pequeñas partículas de suciedad, que no se aprecian a simple vista y que pueden viajar inclusive en el aire en forma de polvos. Existen otros motivos por los que se presenta este defecto pero el más común es el primeramente mencionado.

También el caolín usado como aditivo, el agua del esmalte excesivamente dura, cuando la fritada no ha sido suficientemente fundida, cuando la atmósfera del horno de maduración contiene demasiados gases o cuando no se ha dado el suficiente tiempo para su maduración, aparecen superficies picadas. Para evitar polvos en la superficie, se recomienda extremar cuidados en el secado de los esmaltes, así como antes y durante su cocción.

4.- Puntos Negros.

La contaminación por materiales no fundentes o no afines con un esmalte, se presenta como puntos negros en la superficie del decorado. En una planta decoradora es un peligro latente en cada fase del esmaltado, empezando por las materias primas con las que se prepara un esmalte, su molienda, su conservación en tanques, su aplicación, secado y cocción. Tal vez la etapa más peligrosa es la correspondiente a la molienda del esmalte. Los molinos de bolas en donde se acostumbra moler, son susceptibles de dañarse de su recubrimiento interno (cuarzo) ocasionando el desgaste del metal. Por pequeña que sea la contaminación por fierro, se detectará notablemente en el decorado como presencia de puntos negros en la superficie. Otra vez, un defecto al inicio del proceso de fabricación de un esmalte, se nota hasta el final del decorado, trayendo con esto grandes pérdidas por producción de material no aprobado y no recuperable.

5.- Esgurrido.

El esgurrido de un esmalte se presenta cuando se tiene un vehículo no apropiado a las condiciones reales de operación. Cuando un vehículo tiene mala adherencia en cualesquiera de las etapas del calentamiento, se presenta el defecto de esgurrimiento. Como se sabe, un vehículo puede -

ser mejor en la medida que contenga resinas adherentes, pero por cuestiones de economía esta medida está restringida a pequeñas proporciones dentro de una formulación. Como es lógico el problema de escurrimiento en esmaltes se presenta en la etapa del secado o precalentamiento y es aquí en donde una temperatura alta en la entrada del horno -- trae consigo estos problemas que merman la producción aún cuando la temperatura alta a la entrada implique un ahorro de energía por aceleración del proceso. Se tiene que encontrar un equilibrio entre la velocidad de producción y escurrimiento en las piezas para optimizar el -- proceso.

A veces es más conveniente desperdiciar algunas piezas esmaltadas por escurrimiento con tal de acelerar el proceso. La colocación de las piezas en el horno puede ser motivo de escurrimientos.

6.- Empañamiento.

El empañamiento o falta de brillo en los decorados, puede presentarse -- por muchos motivos. Uno de ellos es la falta de temperatura en el horno en la etapa de maduración, que no permita el adecuado desarrollo de la frita; la falta de equilibrio entre materiales no fundentes y los fundentes desplazados hacia la dureza; cuando una frita no ha sido suficientemente fundida en el momento de su preparación o cuando un esmalte se que -- ma por encima de la temperatura de trabajo, provocando en parte su destrucción. Igualmente cuando se tiene gases sulfurosos dentro del horno -- se puede producir empañamiento de la superficie del esmalte por deposita -- ción. Las superficies empañadas pueden deberse también a un exceso de -- plomo en la frita.

7.- Oscurecimiento del Tono.

Se presenta principalmente en los esmaltes rojos, naranjas y amarillos de Cadmio-Selenio y en los azules muy intensos de Cobalto. En ambos ca sos se puede deber a cierta evaporación del pigmento, inestabilidad del mismo o a que el horno de maduración posea una atmósfera sumamente reduc tora.

8.- Rompimiento del Esmalte o de las Piezas.

Cuando se tiene una diferencia considerable en los coeficientes de expa n s i ó n térmica entre el vidrio base y el esmalte, se producen rompimientos en cualquiera de ellos, sobre todo si la forma de las piezas es esférica. Para evitar estos problemas, se tiene que realizar un estudio físico muy completo de los materiales para poder determinar exactamente que clase de esmalte es el que se necesita. Los vidrios de alto boro (refractarios) tendrán que ser esmaltados con esmaltes de alto boro exclusivamente, los cuales normalmente poseen un alto precio en el mercado dado a su uso tan específico.

9.- Superficies Grumosas.

Este defecto se puede encontrar cuando el esmalte en polvo no ha sido - bien micropulverizado. Cuando un esmalte se muele en húmedo, forzosamen te debe someterse posteriormente a un proceso de secado. Si el secado - se realiza rápidamente o a temperaturas muy altas sin usar adiciones al secado, se producen costras muy duras en donde se contiene una gran can tidad de materiales no fundentes a la temperatura común de operación, - que mas tarde sobresalen en forma de grumos en la superficie del decora do. Cuando este esmalte grumoso ya ha sido dispersado en un vehículo, - su rehabilitación incluye un proceso de homogenización en molinos de ro dillos fríos o calientes según sea la naturaleza del vehículo.

10.- Recoqimiento del Esmalte.

Cuando el tamaño de partícula del esmalte es muy pequeño con respecto a los granos sinterizados del vidrio base, se presenta recogimiento en la superficie del esmalte, defecto que se observa más marcado en los esmaltes de alto plomo. En algunos casos la mezcla de material fino -- con una cierta proporción de material grueso puede corregir este problema.

Así mismo, cuando el vidrio base no se encuentra bien decapado (piezas sucias con grasa) se presenta también este problema en la maduración, por existir mala adherencia entre la base y el esmalte.

11.- Transparencia.

Se puede presentar por un exceso de temperatura en la etapa de maduración que traiga consigo una sobre-integración del esmalte en su base, - por falta de poder cubriente del pigmento o por su inestabilidad a las condiciones de operación y al exceso de temperatura en el proceso de fabricación de la frita.

12.- Variación en el Tono.

La variación en el tono es debida principalmente a los siguientes factores : Inestabilidad del pigmento, inestabilidad de la frita o inestabilidad de ambos simultáneamente por incompatibilidad. Tanto la inestabilidad del pigmento como de la frita se debe a defectos de su formulación original o a limitaciones propias de los materiales usados para ese fin. La inestabilidad del pigmento produce variaciones muy considerables en el tono, y puede dar muy diferentes matices dependiendo del color original del mismo, sin embargo, la inestabilidad de la frita puede cambiar -

también ligeramente el tono del esmalte, tendiendo generalmente hacia el amarillo. La incompatibilidad entre el pigmento y la frita también es causa de variación del tono porque el pigmento no encuentra un medio apropiado para desarrollarse e inclusive hasta pueden existir reacciones químicas secundarias en la etapa de maduración.

C O N C L U S I O N E S

Como anteriormente se pudo apreciar, el proceso de fabricación de esmaltes y decoración de objetos de vidrio con recubrimientos vítreos, no son operaciones complicadas ni mucho menos operaciones que solamente puedan ejecutarse en un solo equipo en especial. Por el contrario, una vez conocidos los principios del estado vítreo y los fundamentos de la decoración, se pueden sugerir y desarrollar nuevos y mejores métodos de trabajo.

Existe una tendencia muy marcada en la Industria a desligar la preparación del esmalte de la decoración del vidrio, sin embargo, el acoplamiento de ambas trae consigo lógicamente mejores funcionamientos tanto técnica como económicamente.

Como una primera incursión en este tipo de industria, se puede seleccionar la preparación de esmaltes como base de una planta cerámica, para luego seguir con la decoración propiamente. Un método aconsejable de obtener esmaltes vítreos consiste en lo siguiente:

- a) Mezclar las materias primas (una vez que se va encontrando una fórmula adecuada a las necesidades del esmalte deseado) en un mezclador de barril. En este equipo se puede tener dentro unas cuantas bolas de acero que ayudan a lograr una mayor homogenización sin tener un gasto considerable.
- b) Fundir la mezcla en un horno de caja intermitente, tomando muy en cuenta el tiempo y temperatura de fundición. Si se controlan adecuadamente, se puede prescindir de un horno más complicado.
- c) Enfriar la frita así preparada en unos rodillos de acero, los cuales al laminar delgadamente al material, provocan su chock térmico al contacto con el aire frío.

- d) Moler la frita en un molino de bolas o tubular, primero en seco y finalmente en húmedo para obtener una mayor finura. Como ya se vió, las adiciones a la molienda en cuanto a pigmentos y agentes dispersantes ocurre a un tiempo previamente establecido.
- e) Secar el esmalte en un secador de charolas que es muy barato y que cumple con los requerimientos del proceso. Este secado puede efectuarse a temperaturas altas para acelerar la operación, ya que el material es termicamente muy resistente.
- f) Micropulverizar en un micropulverizador (pequeño molino de martillos) solamente con el fin de hacer más trabajable el producto final y darle una mayor presentación.

Los equipos aquí descritos no son los más eficientes pero si los más económicos y además reúnen las características necesarias para obtener con ellos un buen esmalte vítreo. Por otro lado, estos equipos son susceptibles de ser comprados "usados" de otras industrias similares, por ejemplo cementos, fertilizantes, etc., y someterlos a una rehabilitación muy simple, lo cual permite su fácil adquisición. Por todo esto, se puede concluir que el proceso de preparación de esmaltes vítreos en general, no requiere de una gran inversión inicial ni de técnicas muy especializadas, luego entonces, puede ser objeto de estudio a varios niveles de inversión.

B I B L I O G R A F I A

- 1.- F. H. NORTON
CERAMICA FINA. TECNOLOGIA Y APLICACIONES
CAPITULOS 13 Y 14
EDITORIAL OMEGA, S. A.
BARCELONA, ESPAÑA
1975

- 2.- F. SINGER Y S. SINGER
INDUSTRIAL CERAMICS
CAPITULOS 1, 6 Y 9
EDITORIAL CHAPMAN & HALL LTD.
LONDON; G.B.
1963

- 3.- D. W. OLSON Y F. F. COSTALES
CERAMICA PARA ESCUELAS Y PEQUEÑAS INDUSTRIAS
CAPITULOS 4, 7 Y 10
EDITORIAL CECSA
MEXICO, D. F.
1974

- 4.- F. H. NORTON
CERAMICA PARA EL ARTISTA ALFARERO
CAPITULOS 8; 9, 11 Y 20
EDITORIAL CECSA
MEXICO, D. F.
1976

5.- F. HOWELL - C. WOODWARD

LA ARTESANIA DE LA CERAMICA

CAPITULOS 7, 9 Y 10

EDITORIAL CECSA

MEXICO, D.F.

1979

6.- A. S. FOUST

PRINCIPIOS DE OPERACIONES UNITARIAS

CAPITULO 18

EDITORIAL CECSA

MEXICO, D. F.

1975

7.- W. H. WALKER Y W. K. LEWIS

PRINCIPIOS DE INGENIERIA QUIMICA

CAPITULOS 7, 9, 13 Y 19

EDITORIAL CECSA

MEXICO, D. F.

1972

8.- J. H. PERRY

CHEMICAL ENGINEERS' HANDBOOK

3a. EDICION, SECCION 16

EDITORIAL MC. GRAW HILL BOOK CO. INC.

NEW YORK, U. S. A.

1950

I N D I C E

PROLOGO	3
ANTECEDENTES	4
INTRODUCCION	6
CAPITULO I. EL VIDRIO COMO BASE DE UN ESMALTE	
1.1 Definición de Vidrio	7
1.2 Tipos de Vidrios	7
1.3 Propiedades Químicas	8
1.4 Propiedades Físicas	11
1.5 Generalidades	12
1.6 Algunos aspectos sobre la Fabricación del Vidrio .	17
CAPITULO II. PREPARACION DEL ESMALTE	
2.1 Definición de esmalte vitreo	27
2.2 Principales Materias Primas	27
2.3 Proceso de Fabricación	32
CAPITULO III. EQUIPO USADO EN LA FABRICACION	
3.1 En el Mezclado	38
3.2 En la Fundición y Enfriado	41
3.3 En la Molienda	43
3.4 En el Secado	53
3.5 En el Micropulverizado	58
CAPITULO IV. METODOS DE APLICACION	
4.1 Características de un Vehículo	61
4.2 Tipos de Aplicación	62
CAPITULO V. MADURACION DEL ESMALTE	
5.1 Carga del Horno	70
5.2 Etapas de Calentamiento	71
5.3 Medición de la Temperatura	74
5.4 Tipos de Hornos	79

CAPITULO VI. METODOS DE CONTROL

6.1 Pruebas para el Control	84
6.2 Defectos en los Decorados	92

CONCLUSIONES	100
---------------------	-----

BIBLIOGRAFIA	102
---------------------	-----