

*Universidad
de Guadalajara*

666.2 (04)

Universidad Autónoma de Guadalajara

Incorporada a la Autoridad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ciencias Químicas

**"Proyecto de una Planta para
Esmaltar Láminas
de Hierro"**

Trabajo que presenta

Oscar Jimenez Sedano

para obtener el Título de

Ingeniero Químico

Guadalajara, Jal., Junio de 1956.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

*Este trabajo lo dedico a mis muy
queridos padres con todo cariño y
agradecimiento.*

*Afectuosamente a mi hermanita y
hermanos.*

A mis estimados Maestros Maristas y de la Universidad.

Al insigne maestro Ing. Jorge de la Peña.

A mis condiscipulos y amigos.

INDICE

- I.—GENERALIDADES.
- II.—CONSTITUCION DE LOS ESMALTES.
- III.—ESTUDIO DE MATERIAS PRIMAS.
- IV.—PREPARACION EXPERIMENTAL DE LAS FRITAS.
- V.—ESMALTADO EXPERIMENTAL DE LAMINAS DE
FIERRO.
- VI.—PROYECTO DE LA PLANTA.
- VII.—BALANCE ECONOMICO.
- VIII.—CONCLUSIONES.

CAPITULO I.

GENERALIDADES

Se entiende por esmaltado, la aplicación de una cubierta vitrificable, sobre diversos objetos, tales como artefactos de fierro, objetos cerámicos, oro, etc., con la finalidad de darles una mucho mejor presentación, así como para preservarlos, del ataque de las sustancias corrosivas y demás agentes destructores.

La historia del esmaltado, se remonta a varias centurias, antes de la Era Cristiana, donde ya se conocen obras esmaltadas (los artículos de joyería); pero una cuestión desconocida, es dónde, cuándo y quién fue el primer esmaltador. Se sabe dónde se encontraron los primeros trabajos de esmaltados y se tienen buenas razones para creer que fueron hechos cerca de esa localidad, pero hay la probabilidad de que fueron traídos de otros lados, por lo cual no se puede asegurar nada. Es posible, que los egipcios fueran los primeros en esmaltar sus joyas, como puede verse, en sus tesoros que están en los grandes museos del mundo. En aquellos tiempos el esmalte era llamado "ELECTRON", lo que nos conduce a confusiones porque a ciertas aleaciones y al ámbar, se les denominaba de la misma manera; en los escritos de Homero se ve esa palabra, por lo que se cree que el Esmalte existió, aun antes del sitio de Troya.

El arte del esmaltado, empieza a tomar forma, en la primera parte de la Era Cristiana, en lo que se llamó el Periodo Bizantino, así como su mayor desarrollo, se encontró en Bizancio. Dichas obras eran resultado de la pericia de los orfebres de aquel tiempo, los cuales procedían, de la siguiente manera: El objeto a esmaltar, era rodeado, por un alambre fino de oro; soldado luego, se ponían los materiales del esmalte, hasta rellenar y después se metían al horno, de donde salía fundido y vitificado, a veces era necesario, aplicar varias capas, hasta

alcanzar el espesor del alambre; así quedaba terminada una parte para formar verdaderas obras de arte que aún en la actualidad son altamente cotizadas.

Los arqueólogos dicen haber descubierto, en el Monte Beauviag, la casa del famoso esmaltador Biberato, donde hallaron no sólo esmaltes, sino aun, el horno usado por ese artesano. Generalmente se está de acuerdo, en que el primer progreso real del esmaltado, tuvo lugar en Bizancio (hoy Estambul), que estaba íntimamente ligado con Persia, ya que se ve la influencia persa, en varios diseños esmaltados. De aquí se propagó dicho arte a Europa, alrededor del año 600 A. C.; ya que Teofana, una princesa bizantina que se casó con Otto II, se hizo acompañar hacia el oeste de un grupo de esmaltadores, los que esparcieron rápidamente el conocimiento de su arte, en todas direcciones. En el siglo IX los esmaltadores bizantinos, fueron llevados a Monte Casino, Italia, difundiendo este arte por todo el país. En la Edad Media, Limoges, Paris y Tolouse se hicieron famosos por sus trabajos, principalmente Limoges, por la gran calidad de sus obras. El avance de este arte en Oriente es más difícil de seguir que en Europa, sin embargo, hay la probabilidad de que el esmaltado fuera practicado en China, antes de la invasión mongólica en el siglo XIII.

Hasta aquí el esmalte había sido usado únicamente para joyas, similares a las piedras preciosas y gemas. La nueva era está marcada, por la práctica de aplicar esmalte, en la forma de pintura y luego fundirlo sobre el metal. La pintura de esmalte en polvo sobre metal, como medio de aplicación, tropezó con muchas dificultades, tales como la poca adherencia y poca fuerza de la cubierta; como el proceso era muy usado, rápidamente se perfeccionó, dando por resultado la industria de los ESMALTES.

En un principio los esmaltes eran solamente aplicados a oro y plata, después al bronce y finalmente al cobre. La aplicación al hierro fue el siguiente paso y fue en este metal donde encontró el esmaltado su más importante uso, y de lo cual nos vamos a ocupar en esta Tesis. La historia del desarrollo del esmaltado en hierro es muy importante, dado que, está muy relacionada a los avances de otras industrias.

La primera pieza esmaltada, que se recuerda, es al principio del siglo XIX. Las formas de hierro, eran limpiadas y después calentadas al rojo en una mufla, donde la capa oxidada, era removida, y entonces se aplicaba el esmalte, espolvoreándolo, como polvo fino, entonces, el polvo se adhería al hierro caliente, después de lo cual la pieza regresaba a la mufla y el esmalte fundía, a quedar como un cristal liso, después de lo cual, era sacada la pieza y enfriada.

La primera aplicación comercial de esmalte, a láminas de fierro y acero, fue en Alemania en 1850; este esmalte alemán, era primero aplicado solamente, al interior de vasijas de lámina, al hornear la pieza se procedía así: Primero se ponía en la parte fría del horno, y luego por medio de varillas, era empujado a las áreas más calientes, cuando el horneado estaba terminado, las piezas eran sacadas y enfriadas, para después pintarse, ordinariamente, por fuera. Moritz Vogelsang en Braunschweig publicó el primer manual para esmaltar en 1851. Uno de los obstáculos, con que se tuvo dificultad, para el avance de la técnica, fue la falta de materias primas puras, buenas y baratas, hasta que se llegó al descubrimiento de los procesos Le Blanc y Solvay, para obtener sosa barata; así se fueron obteniendo las demás materias primas. La fabricación de esmaltes, en la actualidad consiste en la selección y dosificación de las materias primas, las cuales son molidas y mezcladas perfectamente, hecho lo cual se pasa la mezcla a los crisoles u hornos de fritar, donde serán fundidas. Se eleva la temperatura, hasta que toda la mezcla funda; una vez fundida, se vacía en grandes recipientes, con agua fría para dispersar la frita, o comúnmente estrellarla, como se hace con un vidrio caliente. Esto se hace para facilitar su molienda, siendo este el siguiente paso del proceso, y para lo cual se usan molinos de bolas hasta convertir, la frita en un polvo impalpable, con objeto de ayudar a la mejor suspensión en el agua y la aplicación más uniforme, sobre las láminas de fierro.

Así se ha llegado a desarrollar la nueva técnica para esmaltar, que se usa en la actualidad. Para la limpieza de las láminas de fierro hoy en día se han aplicado los limpiadores de chorro de arena y los agentes químicos que son ampliamente conocidos denominándose este último método PICKLING, y que consiste en atacar el fierro, primero con sosa, después con H_2SO_4 , y por último neutralizar con CO_2Na_2 , quedando así la pieza perfectamente limpia, y lista para esmaltarse.

Después de este paso sigue la aplicación del esmalte, ya sea por inmersión de las piezas en una suspensión de esmalte o usando la pistola de aire. A continuación se secan las piezas para meterse después en hornos para esmaltar, donde se funde el esmalte; y se sacan a enfriar quedando una capa de vidrio, completamente lisa sobre la pieza.

Con esto queda terminada la pieza, con una impecable presentación y preservada contra el ataque de los agentes químicos, lo cual la hace infinitamente duradera, como se ha visto, ya que hay en la actualidad, como dijimos antes, objetos esmaltados desde 600 años A. de J. C.

En el presente, se ha extendido mucho la industria del esmalta-
do, principalmente en la fabricación de muebles de cocina, de baño,
aparatos para médicos y laboratorios. Se puede decir, que el campo
que abarca esta industria es enorme, ya que hay cantidad de artículos
esmaltados, de uso general.

CAPITULO II.

CONSTITUCION DE LOS ESMALTES

Los esmaltes deben ser considerados como una solución en la cual entran todos sus diferentes componentes. En los esmaltes opacos el agente opacificante puede estar en suspensión en dicha solución, en forma de partículas finamente divididas y distribuidas uniformemente.

Las materias que entran en la constitución de los esmaltes pueden ser divididas en seis grandes grupos debido a sus funciones; a saber son: REFRACTARIOS, FUNDENTES, OPACIFICANTES, COLORES, AGENTES DE FLOTACION y ELECTROLITOS.

En la fabricación de los esmaltes es necesario usar materiales de un elevado grado de pureza, las condiciones físicas de las materias son tan importantes como sus propiedades químicas, por eso es necesario llevar un gran control no sólo en su pureza, sino también en su composición mineral, método de manufactura, forma de grano, finura, etc.

Los REFRACTARIOS incluyen materiales tales como el cuarzo (Si O_2); feldespato y arcilla, los cuales constituyen la parte ácida de la fusión y dan cuerpo al vidriado.

Los fundentes son materiales tales como el bórax CO_3Na_2 , Criolita y espato Fluor que son de carácter básico y reaccionan con los refractarios ácidos para formar el vidriado. Tienen la propiedad de bajar el punto de fusión de la mezcla fusible, pero si son añadidos en exceso se forman ESCORIAS.

Los opacificantes son compuestos añadidos al vidriado para darle apariencia blanca opaca que es característica de los esmaltes vítreos. Los opacificantes son en general completamente refractarios, pero los reales opacificantes tales como el óxido de estaño, Sb_2O_3 , antimonio de sodio y óxido de Circonio son a menudo ayudados por opacificantes accesorios tales como la criolita y el espato fluor que hacen al esmalte más fusible.

Los materiales colorantes pueden ser óxidos, elementos, sales o fritas y pueden actuar ya sea como refractarios o fundentes. El co-

lor dado a un esmalte puede variar debido a la composición del esmalte y al procedimiento seguido para su fabricación.

Los agentes de flotación son adiciones hechas en el molino tales como arcilla y gomas que son usadas para suspender el esmalte en agua o en algún otro líquido. Son usadas varias clases de arcilla, pero es necesaria una con grandes propiedades plásticas y completamente libre de impurezas. Cuando la aplicación del esmalte es con brocha se usan gomas de tragacanto o arábigas.

Los electrolitos son usados para deflocular y suspender completamente el esmalte.

Son compuestos tales como bórax, CO_3Na_2 , y SO_4 , Mg y CO_3 , Mg , las cuales cuando son añadidas en pequeñas cantidades ayudan a la arcilla a mantener el esmalte en suspensión. A menudo forman soluciones buffer y de tal manera controlan el pH de la solución. Sin embargo algunos electrolitos tienen función específica.

Por lo tanto se puede hacer un cuadro con la clasificación de los materiales comúnmente usados en los esmaltes

<i>Refractarios:</i>	<i>Fundentes:</i>	<i>Opacificantes:</i>	<i>Colorantes:</i>
Cuarzo	Bórax	Oxido de estaño	Oxido de Cobalto
Feldespato	CO_3Na_2	.. .. antimonio	.. .. Cobre
Arcilla	NO_3Na}	.. .. zirconio	.. .. Hierro
	Espato Fluor	Antimoniato de sodio	.. .. Niquel
	Criolita		
	CO_3Ba		
	CO_3 , Mg		
	Litargirio		

Electrolitos:

Bórax
 CO_3 , Na_2
 CO_3 , Mg
 SO_4 , Mg

Agentes de Flotación:

Arcilla
 Goma de tragacanto
 Goma arábiga
 Bentonita.

La procedencia y obtención de estas materias será el tema del siguiente capítulo, así como sus propiedades.

Los fenómenos físicos y químicos que ocurren a las elevadas temperaturas de la fabricación de fritas no es tan fácil conocerlos, como cuando se trata de temperaturas normales; sin embargo, las leyes

fundamentales de la química y física se aplican de la misma manera sin tomar en cuenta mucho, la temperatura. Las reacciones serán más activadas o aceleradas en razón de la temperatura por la mayor actividad molecular y en algunos casos las reacciones son regresadas o movidas a actuar de diferentes maneras.

Los compuestos y elementos se vuelven más activos cuando cambian de estado ya sea de sólido a líquido y a vapor; los sólidos comúnmente no reaccionan entre sí, sólo muy despacio, los constituyentes de un esmalte son muy inertes, sólo hasta que se calientan a una temperatura a la cual uno de ellos se funde y forma una fase líquida tan pronto esto sucede, empieza la reacción. La velocidad de reacción está en relación de la viscosidad del fundido; lenta si es muy viscoso y más rápida si es más fluido. Como evidencia tenemos la menor facilidad de cristalización del primero y la mayor facilidad del segundo. Los gases disueltos en el fundido lo hacen más fluido lo cual es una ayuda; si la fusión se hace demasiado rápida los gases son despedidos de la cochura sin haber ayudado a las reacciones químicas.

Las solubilidades aumentan, generalmente, con la temperatura. Aquí son de tenerlas en gran consideración, ya que el esmalte es una solución sobre enfriada y por las razones que aquí veremos: El primer material fundido durante el proceso, toma a los otros materiales en solución. Muchos de los materiales usados en los esmaltes tienen punto de fusión superior a la temperatura a que funde el esmalte, estos materiales son disueltos por los constituyentes más fusibles. La disolución es a menudo acompañada por descomposición de algunos materiales con la producción de gases, que son parcialmente disueltos en el fundido y por último despedidos, al ocurrir esto, al salir agitan el fundido y por lo tanto mejoran las condiciones para la solución y reacción de los materiales constituyentes del esmalte.

Muchos materiales van sufriendo transformaciones en sus formas cristalinas a diferentes temperaturas, sin cambiar su composición química. Por ejemplo el cuarzo sufre muchos cambios. De cuarzo bajo a alto cuarzo a tridimita y a cristobalita. A altas temperaturas todas las condiciones de las fases sólida, líquida y gaseosa son posibles tales como soluciones, coloides y suspensiones pueden haber soluciones de gases en sólidos y en líquidos, de líquidos en sólidos y de sólidos en líquidos. Los coloides son similares a los formados a bajas temperaturas y por lo tanto sujetos a los efectos de electrolitos.

Es muy importante notar cuán íntimamente ligadas están las reacciones a altas temperaturas a las verificadas a bajas temperaturas. Muchas sales bases y ácidos conservan su identidad y propiedades qui-

micas características cuando son calentados a temperaturas de fusión. La posición periódica de los elementos es la misma a altas que a bajas temperaturas. Así vemos que el Cobalto y Niquel que dan la adherencia del esmalte a la plancha o lámina de fierro, van juntos con éste en la tabla periódica. El Sodio y el Potasio que son casi intercambiables en algunos esmaltes también van juntos. El aluminio está entre las bases y el sílice, la misma posición que ocupa en los esmaltes. El magnesio, Calcio, Estroncio y Bario van en el mismo grupo cerca del Sodio y del Potasio y reaccionan similarmente en un esmalte. El Estaño, Antimonio y el Zirconio están íntimamente ligados en la tabla como opacificantes. Sin embargo aún en la tabla periódica de los elementos hay fallas, así que deben tomarse en cuenta más aún a estas temperaturas para evitar equivocaciones.

TEORIA DE OPACIDAD. — La opacidad de los esmaltes es causada por los fenómenos de REFLECCION, REFRACCION y DIFRACCION de la luz por partículas comprendidas dentro del vidrio, las cuales producen la difusión de la luz. Los fenómenos de refracción y reflexión de la luz actúan a la par para producir la difusión de la luz en los esmaltes. Si la luz cae en una partícula en ángulo mayor que el limitante, la luz es reflejada y si cae en ángulo menor que el limitante es refractada. Por lo tanto, para obtener este efecto es necesario que las partículas de diversas formas y tamaños estén bien dispersadas en todo el esmalte. La opacidad puede ser producida por diferentes tipos de partículas tales como: 1a., partículas insolubles, 2a., cristallitos, 3a., constituyentes invisibles y 4a., burbujas de gas.

En la primera es cuando se añaden a la frita particular insolubles en el molino, así al fundir el esmalte en la lámina quedan suspendidas en el vidrio en una forma finamente dividida y dispersada.

En el segundo tipo la opacidad se debe a cristalización de compuestos al enfriarse, que forman núcleos de cristallitos de diferente índice de refracción que el vidriado.

La tercera se produce cuando no se mezclan en la fusión varios componentes dando el aspecto opaco.

La cuarta es de menor importancia, ya que es debida a pequeños burbujas de gas englobadas que no dan una opacidad como los agentes antes mencionados pero que contribuye a darle más opacidad al esmalte.

Así podemos poner una tabla con los índices de refracción de los diferentes opacificantes usados:

Oxido de estaño	2.04
Oxido de circonio	2.13
Oxido de Titanio	2.50
Floruro de sodio	1.33
Floruro de calcio	1.44
Anolita (F·AlNa ₂)	1.34

Así tenemos que el esmalte es un vidrio, aunque una forma muy compleja de vidrio, ya que en éste entran 2 ó 3 componentes y son muy conocidas sus reacciones; no así en los esmaltes donde entran 8 a 13 componentes, además de que son muy poco conocidas sus reacciones químicas.

A continuación, veremos varios de los componentes de esmalte comúnmente usados para formar una idea de las proporciones de cada componente.

BORAX (B ₂ O ₃ ·Na ₂)	15 - 40 - 45 - 30 - 40
FELDESPATO (6SiO ₂ ·Al ₂ O ₃ ·K ₂ O)	55 - 35 - 40 - 25 - 30
CUARSO (SiO ₂)	30 - 20 - 35 - 15 - 20
CO ₂ Na ₂	8 - 10 - 10 - 10 - 10
NO ₂ K	5 - 5 - 8 - 5 - 1
Co O	0.5 0.5 0.01 1
ESPATO FLUOR (F ₂ ·Ca)	5 - 10 - 15 - 5 - 5
Mn O ₂	1 - - - - -

Esta es una mezcla de los constituyentes antes de fundir y hacer la frita, recibe también el nombre de cochura.

Como se ve en esta tabla, se pueden hacer muchas combinaciones con los diferentes compuestos dependiendo de los resultados que vayan obteniendo hasta lograr la frita deseada.

La composición del esmalte fundido es como sigue en esta tabla:

Na ₂ O	11.9	B ₂ O ₃	13.2
K ₂ O	6.0	SiO ₂	48.4
CaO	5.0	CoO	0.6
Al ₂ O ₃	9.8	MnO ₂	1.7
		F ₂	3.4

que es una lista de las cantidades aproximadas de los diferentes constituyentes presentes en la frita. Estas cantidades están representadas en porcentaje. Como se ve; la composición del esmalte fundido difiere

mucho de la composición de la mezcla o cochura porque: en la operación del fundido van incluidas descomposiciones, oxidación, reducción, combinación de lo cual resulta la liberación de ciertos constituyentes volátiles, principalmente H_2O y CO , lo que quiere decir una pérdida del 10 - 30% del peso original.

Ahora discutiendo la composición del esmalte fundido vemos que: cada constituyente de la mezcla o cochura aporta determinada cantidad de un óxido para que una vez sumados lo que da cada uno nos dé la cantidad total de óxido presente en la frita, así tenemos que el Na_2O es dado una parte por el Bórax y otra por el CO_2Na_2 ; de K_2O es cedido por el feldespato y por el NO_3K ; el CaO es dado por el espato fluor (F_2Ca); el Al_2O_3 proviene del feldespato, el B_2O_3 del Bórax, el SiO_2 del cuarzo y del feldespato, el CoO viene integro, así como el MnO_2 , el F_2 viene del espato fluor. En esta operación como se ve se perdieron el Co_2 , H_2O , N_2 al salir en forma de gases o de vapor al efectuarse la reacción.

Cabe hacer notar que dos composiciones de mezclas diferentes entre si, pueden sin embargo dar una composición de esmalte fundido completamente igual, todo esto debido al concepto que se acaba de explicar; que los diferentes óxidos de un esmalte son resultados del concurso de varias de las materias primas.

Así tenemos por ejemplo estas dos fórmulas diferentes de la mezcla que dan la misma composición de esmalte fundido.

Mezcla de Materias Primas
"A"

Feldespato	30... Na_2O	13.87	... 22.03
Bórax	26... K_2O	5.96	... 22.23
Cuarzo	20... B_2O_3	11.19	... 23.68
CO_2Na_2	8... Al_2O_3	7.30	... 3.56
NO_3Na	2... SiO_2	46.35	... 5.74
Espato Fluor	6... F_2	5.35	....
Criolita	3... CaO	5.06	.... 8.0
Antimoniato de Sodio	5... Sb_2O_3	4.92	....
Tiza	....		.... 7.43
Acido Bórico	....		.... 1.8
Sb_2O_3	....		.... 3.83
KOH	....		.... 1.7
		100.00	100.00
			100.00

Esto es un caso exagerado de condiciones que se pudieran dar, pero nos es necesario tenerlo de nuestro conocimiento.

Ahora bien; cuando el esmalte es aplicado a la lámina de fierro y calentado, cambia química y físicamente. Después de aplicar el esmalte, sigue el secado del mismo evaporándose el H_2O que lleva las sales solubles a la superficie donde se concentran, el fierro se oxida siendo absorbido este óxido por el esmalte como se ve por el cambio de color. Por el calentamiento cambia el óxido de ferroso a férrico, formándose una copa de escoria entre el esmalte y el fierro, como se sigue calentando esta escoria desaparece, probablemente entra en solución al esmalte, dada la pequenísimas cantidad de Fe_2O_3 formada se cree que con la presencia del CoO no alcanza a colorear el esmalte como así sucede en efecto. Por eso mismo es indispensable tener mucho **CUIDADO EN LA SELECCION DE MATERIAS PRIMAS PARA EVITAR LA PRESENCIA DE FIERRO O SUS SALES U OXIDOS** que contaminarían grandemente el esmalte dándole una coloración verdosa que al ser aplicado al fierro entonces daría un color verde más fuerte, por lo que acabamos de explicar.

Las láminas de fierro o acero requieren una capa base de esmalte generalmente de color negro o azul negro, que da la adherencia propia al esmalte por la presencia del SoO . Después de esta capa base se aplica la capa de esmalte del color que se quiera, generalmente blanco, azul y verde. Se ha querido hacer que la aplicación sea sólo una dándole el color al esmalte base, pero no se ha tenido éxito, por lo cual sigue usándose el método descrito.

A continuación van las fórmulas de los dos diferentes esmaltes, el de base y la cubierta propiamente dicha, que actualmente se usan en las diferentes plantas esmaltadoras en el país y en el extranjero.

ESMALTE BASE
(azul negro)

Feldespató	30.9
Bórax	30.4
Cuarzo	20.0
CO ₂ Na ₂	6.4
NO ₂ Na	4.2
Espato Fluor	4.8
Co O	0.4
Mn O ₂	1.0
	<hr/>
	98.1

ESMALTE DE CUBIERTA
(blanco)

Feldespató	22.0
Bórax	20.0
Cuarzo	22.0
CO ₂ Na ₂	10.8
NO ₂ Na ₂	4.6
Espato Fluor	2.6
Criolita	5.0
Oxido de Zinc	5.0
CO ₂ Ba	4.0
Sb ₂ O ₃	4.0

100.00

Adiciones opacificantes
Oxido de Estaño 6.0

Como es fácil de entender, el esmalte de cubierta debe ser más fusible que el de base, y es necesario que tengan menos tiempo de calentamiento las láminas.

Como esto queda más o menos entendida la constitución de los esmaltes.

CAPITULO III

ESTUDIO DE MATERIAS PRIMAS

En el capítulo anterior se habló de la importancia que tiene la selección de materias primas ya que de aquí depende el que resulte un buen esmalte o no. Se debe ante todo tener un exagerado cuidado de evitar la presencia en cualquiera de las materias primas, de sales u óxido de hierro, ya que colorean el esmalte de verde.

También se deben vigilar condiciones tales como el estado de procedencia del mineral o sustancia, su método de fabricación, su pureza, su forma de grano, su fineza, etc., de modo de obtener las materias primas en la mayor uniformidad.

FELDESPATO. — Los feldespatos constituyen el grupo más importante de los minerales petrogénicos y son los componentes más importantes de las rocas ígneas y por ello son la característica distintiva en la clasificación de dichas rocas. Consisten en silicatos de aluminio, Potasio, Sodio, Calcio y Bario, siendo designadas según su composición en la siguiente manera:

ORTOCLASA - Silicato de Al y K - $6\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{K}_2\text{O}$ ($\text{Si}_2\text{O}_7, \text{Al K}$)
ALBITA - Silicato de Al y Na - $6\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{Na}_2\text{O}$ ($\text{Si}_2\text{O}_7, \text{AlNa}$)
ANORTITA - Silicato de Al y Ca - $2\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{CaO}$ ($\text{Si}_2\text{O}_7, \text{Al}_2 \text{Ca}$)
CELSIANA - Silicato de Al y Ba - $2\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{BaO}$ ($\text{Si}_2\text{O}_7, \text{Al}_2 \text{Ba}$)

Los feldespatos son generalmente de color blanquecino, grisáceo o rojo pálido de varios tonos. Su peso específico varía de 2.5 a 3.0 peso molecular es 556.0

El feldespato usado en los esmaltes es de la clase Ortoclasa . . ($6\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{K}_2\text{O}$) aparte de que es el más abundante en la naturaleza, difícilmente fusible ($1170^\circ\text{C}.$) e inatacable por los ácidos.

Es muy importante saber el lugar de procedencia del feldespato ya que su composición varía de un lugar a otro, una vez establecido el

lugar se analiza para saber si es conveniente o no, usarlo; dado que siempre viene acompañado por impurezas. El feldespató standard para ser usado en esmaltado tiene la siguiente composición:

SiO ₂	69.2 %
Al ₂ O ₃	17.6 ..
Fe ₂ O ₃	0.1 ..
Ca O	0.5 ..
K ₂ O	9.1 ..
Na ₂ O	3.2 ..
OTRAS IMPUREZAS	0.3 ..
	100.0 %

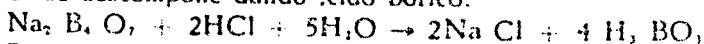
Aunque puede variar todavía un poco en su composición.

Para usarse debe estar bien molido a 200 MALLAS para si es posible, reducirlo a polvo impalpable.

Las impurezas que lo acompañan son el cuarzo, la arcilla y óxido de hierro.

BORAX.—El borax o tetaborato sódico se encuentra en la naturaleza con diez moléculas de agua formando el mineral llamado TINKAL y se encuentra en los depósitos llamados playas (suelo alcalinos) y marismas de borax formados por la desecación de lagos salados, depósitos de este tipo hay muchos en California. El Borax acompaña a otros boratos en los depósitos lacustres, asimismo se presentan en el Tibet en las orillas y aguas de ciertos lagos de donde le viene el nombre de Tinkal.

Es un cuerpo sólido, incoloro, poco soluble en el agua y algo eflorescente, calentado presenta primero la fusión acuosa y luego la ígnea, transformándose en una masa vítrea. Por la acción de los ácidos minerales se descompone dando ácido bórico.

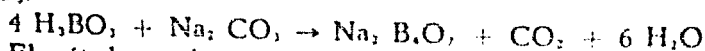


Peso específico 1.7, peso molecular 381.44 cuando hidratado y 201.28 anhidro.

Existen dos métodos para la obtención del borax:

a).—Por evaporación del agua de ciertos lagos antes mencionados que lo tienen en disolución.

b).—Por reacción entre soluciones calientes de H₃BO₃ y Na₂CO₃.



El método usado más comunmente es el primero y es una se-

rie de evaporaciones, separaciones, filtraciones para obtener el producto final.

La parte fija del borax en el esmalte está constituida por el Na_2O y B_2O_3 , ya que el H_2O se evapora. Su análisis es más o menos como sigue, quedando sujeto a una mínima variación por impurezas.

381.44	{	B_2O_3	36.6	%
		Na_2O	16.2	
		H_2O	47.2	
			100.0	

Las impurezas que lleva comúnmente el bórax son el Na_2CO_3 , SO_3 , Cl, Mg, Ca y alúmina.

CUARZO. — El cuarzo es el SiO_2 y es el elemento primario de la mayor de las rocas iguales ácidas como el granito, riolita, etc., también constituye la masa primordial de las areniscas, las cuales resultan de la fragmentación de las rocas ígneas cuarcíferas, las areniscas consisten en granos pequeños de cuarzo, angulares o redondeados. Es el cuerpo predominante en ciertos filones minerales y se halla con mucha frecuencia en geodas, que son yacimientos tuberosos con una cavidad central tapizada de cristales.

El cuarzo tiene variedades como el cristal de roca que es el cuarzo más puro y transparente y se usa en joyería y óptica; la amatista es cuarzo transparente de color púrpura o violeta debido a la presencia de Manganeso, se emplea en joyería. El cuarzo tiene la coloración que su nombre indica, perdiéndola en contacto del aire y recuperándola cuando se humedece, y así hay otras variedades como el MORION, CUARZO LECHOSO, etc., etc.

Ya habíamos hablado de otros dos estados o formas del cuarzo como la tridemita que también es sílice y es la forma estable de ésta, a temperaturas comprendidas entre 870° y 1470°C . luego la CRISTOBALITA es la forma estable de la sílice a temperaturas mayores de 1470°C . estas dos variedades se encuentran en las rocas volcánicas y no son más que sílice con diversas formas cristalinas.

El cuarzo pertenece al sistema cristalino HEXAGONAL, ROMBOHEDRICO, TRAPEZOIDAL.

El cuarzo funde a 1710°C . y tiene una composición aproximada como la siguiente:

Si O ₂	98.52
Al ₂ O ₃	1.04
Fe ₂ O ₃	0.04
K	0.40
	<hr/>
	100.00

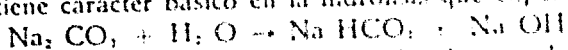
Tiene un peso molecular de 60.1 y peso específico de 2.65

Para ser usado debe estar finamente molido si es posible a 200 mallas para su mejor reacción y solución ya que presenta así mayor superficie de contacto. Debe tener la menor cantidad de Fe₂O₃ por las razones antes explicadas.

El cuarzo junto con el feldespato son los que le dan "cuerpo" al esmalte, las impurezas que lleva generalmente son los óxidos de fierro.

CARBONATO DE SODIO $\left\{ \begin{array}{l} \text{CO}_2, \text{Na}_2, 10\text{H}_2\text{O} \\ \text{CO}_2, \text{Na}_2 \end{array} \right.$ — El carbonato

de sodio es un cuerpo sólido blanco, muy soluble en el agua y eflorescente al aire. Se encuentra en estado natural en los lagos de Egipto formando el mineral llamado NATRON. La solución de carbonato de sodio tiene carácter básico en la hidrólisis que experimenta:

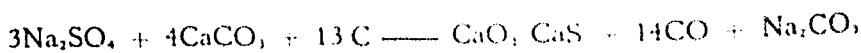


Su sistema cristalino corresponde al monoclinico, su densidad es de 1.5 cuando seco y 2.4 hidratado.

Peso molecular 106.0 anhidro y 286.16 cuando hidratado.

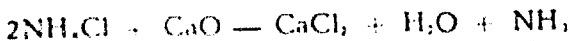
El Carbonato de Sodio usado en el esmaltado debe estar lo más puro posible y evitar la presencia de sulfatos, ya que son nocivos en el esmaltado.

Por eso se prefiere el obtenido por el método de SOLVAY, y no al de LE BLANC que parte del Na₂SO₄ sobre el NaCl; dicho sulfato se calcina fuertemente en hornos con CaCO₃ y C.

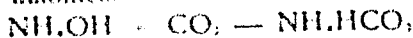


Ahora el método Solvay es el más usado y en el cual se parte del CaCO₃, NaCl y una cantidad de NH₄Cl.

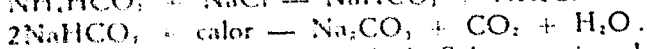
Primero se obtiene NH₃; tratando el NH₄Cl con la sal CaO (proveniente de la calcinación del CaCO₃, que se descompone en CaO y CO₂).



El NH_3 se trata con el CO_2 del CaCO_3 , y nos da el bicarbonato amónico.



el cual reacciona con el NaCl , dando bicarbonato de sodio, que se calcina para darnos el Na_2CO_3 ,



Aun existe otro método: el de la Saltrona mineral que se encuentra en Egipto y Persia, y que está formada de : $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

La composición aproximada del CO_3Na_2 es como sigue:

CO_3Na_2	}	Na_2O	58.5 %
		CO_2	41.5
$\text{CO}_3\text{Na}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	}	Na_2O	21.7 %
		CO_2	15.4
		H_2O	62.9

La parte útil de CO_3Na_2 en el esmalte es el Na_2O . El carbonato de sodio obra como fundente en los esmaltes. Las impurezas que lo acompañan son: cloruros, sulfatos, el potasio y el calcio.

NITRATO DE SODIO. — NaNO_3 — El nitrato de sodio, existe en gran cantidad en el desierto de ATACAMA al norte de Chile, por lo que se le llama también Nitro de Chile; se presenta en capas de casi 2 mts. de altura, mezclado con NaCl , sulfatos y boratos; materias arcillosas, etc. Forma el 14-25% de la tierra esta, llamada por allá CALICHE. Estos depósitos se han formado por la levigación de las rocas volcánicas circundantes. Se presenta en cristales incoloros, de sabor fresco y salado. Por el calor se reduce a nitrito con desprendimiento de O_2 , en el esmaltado se desprenden el N_2 y el O_2 , quedando solamente el Na_2O , que es la parte útil de este material.

Pertenece al sistema cristalino hexagonal, con una densidad de 2.26 y peso molecular de 85.0.

Su obtención es bien sencilla, ya que nada más es purificar el Nitro de Chile de NaCl , Na_2SO_4 y NaClO_3 , tratándolo con agua donde se disuelve y luego se pone a cristalizar fraccionadamente.

Su composición más o menos corresponde a esto:

NaNO_3	{	Na_2O	46.5 %
		N_2O_5	53.5

En el esmaltado actúa como fundente. Las impurezas que lleva comúnmente son: Cloruros, sulfatos y óxidos de hierro.

ESPATO FLUOR. — F_2Ca . — El espato fluor o fluorita es un cuerpo de suyo incoloroso, que cristaliza en cubos, pero puede tener varias coloraciones: blanca, verde, púrpura, amatista y amarilla. Tiene una densidad de 3.0 a 3.25, y peso molecular 78.1. Se encuentra en la naturaleza en las venas hidrotermales y depósitos junto con galena, cuarzo, blenda y baritina. Artificialmente se puede obtener tratando el CaCl_2 con fluoruro de Na $\rightarrow \text{CaCl}_2 + 2\text{F}^-\text{Na} \rightarrow 2\text{NaCl} + \text{CaF}_2$. La fluorita funde a 1360°C . y actúa como fundente en el esmalte.

Su composición es la siguiente:

Ca F_2	{	Ca	51.28 %
		F	48.72 ..

Las impurezas con que cuenta son generalmente, CaCO_3 , SiO_2 , y arcilla.

CRÍOLITA. — F_3AlNa_3 ($\text{AlF}_3 \cdot 3\text{NaF}$). — La criolita es el fluoruro de aluminio y sodio, es un mineral de color blanco o incoloro, es invisible sumergido en H_2O porque tienen el mismo índice de refracción.

Se encuentra en las venas de granito de Evgigtur al oeste de Groenlandia, asociada a galena, blenda fluorita, etc. Su sistema cristalino es el monoclinico, su densidad es de 2.97 y su peso molecular 210.0, funde a 1000°C . Su composición aproximada es como sigue:

$\text{AlF}_3 \cdot 3\text{NaF}$	{	Al	13.02 %
		Na	32.80
		F	54.18
			100.00 %

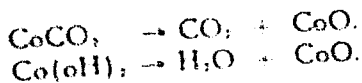
El esmalte tiene dos funciones, es fundente y opacificante. Las impurezas comunes que la acompañan son el cuarzo y óxidos de hierro.

OXIDO DE COBALTO. — CoO . — El óxido cobaltoso es un cuerpo de color pardo verdoso, insoluble en el H_2O .

Se expende en el comercio y generalmente lleva una gran can-

tividad de óxido cobaltoso cobáltico de color negro. Este óxido se vende en diferentes grados de pureza, pero comúnmente lleva como impurezas los óxidos de níquel y óxidos de hierro.

Su obtención se logra calentando el hidróxido o carbonato cobaltoso fuera del contacto del aire.



Su función en el esmalte es de colorante, pues da al bórax fundido un color azul, pero combinado con óxidos de magnesio, zinc y aluminio da coloraciones diversas. Tiene una densidad de 5.68, y peso molecular de 74.5 (CoO) y 240.8 (Co₃O₄).

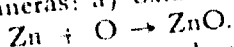
BIOXIDO DE MANGANESO. — MnO₂. — El bióxido de manganeso se encuentra en la naturaleza en el mineral llamado pirolusita que se extrae de los depósitos secundarios del manganeso. No se obtiene en la industria sino que se aprovecha el mineral pirolusita en un estado más puro, ya que acostumbra ir acompañado de impurezas tales como SiO₂ y óxidos de hierro. En el esmalte al calentarse se reduce y pasa a óxido manganeso MnO que es como queda. Su densidad es de 4.7 y su peso molecular es 86.9. Tiene una composición aproximada de:

MnO ₂	}	Mn	67.22 %
		O ₂	28.78
			100.00 %

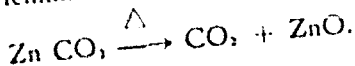
En el esmalte tiene la función de colorante.

OXIDO DE ZINC. — ZnO. — Se encuentra en la naturaleza en el mineral llamado CINCITA de color rojo comunicado por óxidos de manganeso ya que el óxido de Zinc es blanco, tanto así que comúnmente se llama blanco de zinc. Se encuentra junto con la FRANKLINITA WILLEMITA en FRANKLIN FURNACE (New Jersey).

Es un polvo blanco ligero e insoluble en agua, al calentarse se vuelve amarillo, pero al enfriarse recupera su color. Se puede obtener de dos maneras: a) oxidando el zinc al rojo con corriente de aire.



y b).—Calcinando el carbonato de zinc (Smithsonita).



Su densidad es de 5.64 y su peso molecular de 81.4. Tiene una composición aproximada de:

ZnO	{	Zn	80.25 %
		O	19.75
		100.00 %	

Generalmente va acompañado de impurezas tales como Zn, PbS, y óxidos de hierro; las cuales hay que evitar lo más posible.

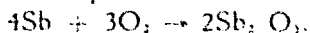
En el esmalte actúa como fundente.

CARBONATO DE BARIO. — CO_3Ba . — El carbonato de bario se encuentra en la naturaleza en el mineral llamado **WHITERITA** que pertenece al sistema cristalino rómbico, de color blanco amarillento que se extrae de los filones de galena y baritina del norte de Inglaterra. Tiene una densidad de 4.3 y peso molecular 197.4, generalmente lleva como impurezas, azufre, sulfatos y compuestos de Ca y Mg, las cuales hay que eliminar lo más posible para no contaminar los esmaltes.

Actúa como fundente y se añade en pequeñas cantidades.

OXIDO DE ANTIMONIO. — Sb_2O_3 . — El óxido de antimonio se encuentra en la naturaleza formando dos minerales: la **SENARMONTITA** y la **VALENTINITA** que se extraen en Argelia en la mina Djebel Haminate.

Comercialmente es un polvo cristalino, blanco insoluble en el H_2O . Se obtiene por combustión del antimonio en corriente de aire.



Tiene una densidad de 5.2 ó 3.7 y peso molecular 291.5. En los esmaltes es usado como opacificante. Tiene una composición en % como sigue:

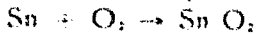
Sb_2O_3	{	Sb	83.38 %
		O	16.62
		100.00 %	

Las impurezas que comúnmente lo acompañan y hay que evitar son el As_2O_3 , S y Sb.

OXIDO DE ESTAÑO. — SnO_2 . — El óxido de estaño entra en los esmaltes como opacificante por la propiedad que tiene de perma-

necer en suspensión en el flujo vítreo sin disolverse. Se halla abundante en la naturaleza formando el mineral llamado CASITERITA, tiene una densidad de 6.8 y peso molecular de 150.7. Se presenta en estado natural en cristales de color parduzco o negro.

Se puede obtener por combustión viva del estaño



Generalmente lleva como impurezas el Sn y SnO.

OXIDO DE ZIRCONIO. — ZrO_2 . — El óxido de Zirconio se usa en el esmalte como opacificante y además ayuda a obtener tonos en los diversos colores. Su estado natural es la BADDELEYITA mineral que se encuentra en las arenas de JACUPIRANGO (Brasil) y en RAKWANA (Ceylán).

Tiene un peso molecular de 123.22. Generalmente lleva como impurezas, el SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , las cuales hay que evitar.

CAPITULO IV

PREPARACION ESPERIMENTAL DE LAS FRITAS.

Se da el nombre de frita a el producto vitreo que se obtiene al enfriar de una manera repentina la masa fundida del esmalte. Esto se logra haciendo caer el esmalte fundido a un recipiente con H_2O fria lo cual hace que se estrelle en muchas y diminutas particulas por la contracción de la masa, lo cual facilita su molienda. De otra manera si dejamos enfriar el esmalte fundido, lentamente de la manera natural se forma una masa vitrea compacta ya que la contracción por enfriamiento va siendo uniforme, y se dificulta su molienda al formarse un cuerpo grande y compacto. Mientras que de la otra manera el esmalte queda dividido en particulas más pequeñas.

La frita propiamente dicha queda lista para su molienda la cual se verifica en mortero de porcelana o agata junto con la arcilla para suspenderla en H_2O . De aqui sigue la aplicacion a las láminas de fierro, de lo cual nos ocuparemos en el capitulo siguiente.

Asi pues; para la preparación experimental de las fritas se siguen los pasos aqui enumerados a).—Selección de materias primas; b).— Pesada y mezcla de los componentes, c).— Cochura en crisoles, d).— Enfriamiento en H_2O , e).—Molienda.

El peso total de la mezcla nunca excedió de 400 gms., tratándose como es de un ensayo en una especie de planta piloto ya que se tuvo que hacer y montar un horno de material refractario y equiparlo con un quemador de Diesel; además la fabricación de la chimenea con su regulador de tiro; también se usaron crisoles y muebles de material refractario los cuales se mandaron hacer; y no pocos, dado el gran consumo de éstos. A la vez se contaba con una mesa para poner los aparatos, vasos y demás objetos necesarios para la pesada, mezcla y molienda de los materiales y fritas obtenidas.

Una vez establecido este punto pasaremos a la primera etapa de la fabricación de las fritas, o sea la: Selección de materias primas. a).— Como se vió en el capitulo II, los materiales más usados en el esmaltado son el cuarzo borax y feldespato los cuales se encuentran

en esta plaza (Cuarzo y Feldespato) con todas las condiciones necesarias para su uso (ausencia de óxidos de hierro, moliendo a 200 mallas uniformidad, etc.) ya que la vadrera Guadalajara así las utiliza siendo ahí donde fueron consignadas.

El borax, CO_3 , Na_2 , NO_3 , Na , Mn O_2 , CO , Ba , ZnO_2 . Se encuentran también en esta plaza en las diferentes casas de productos químicos y droguerías en un estado de pureza bastante bueno.

El espato fluor, la criolita, el óxido de cobalto y el óxido de antimonio se encuentran en la ciudad de México, de donde se mandaron pedir en el estado de pureza necesario para la fabricación de un esmalte.

b).—Pesada y mezcla de los componentes. La operación de pesar debidamente los componentes de la frita es una parte muy importante de la fabricación de ésta, para poder obtener un buen producto. Esta pesada se llevó a cabo en una balanza de Roverbal que nos da la exactitud necesaria en estas operaciones. Se pesó cada componente y se pasaron a un frasco cerrado en donde se llevó a cabo la mezcla, previa molienda de materiales como el borax, CO_3 , Na_2 , NaNO_3 , que vienen en gramos o cristales, para obtener la mejor uniformidad y distribución de los materiales tan importante para la obtención de un buen esmalte. La mezcla como se dijo se hizo en un frasco cerrado por agitación del mismo, primero, luego destapándolo, con dos paletas de madera se revolvía otro poco y después se cerraba otra vez y se agitaba hasta obtener un color uniforme y ver las partículas distribuidas uniformemente.

c) —Para la cochura o fundido de la frita se necesitó construir un horno de material refractario adecuado para fritas, es decir con salidas para el esmalte fundido, y que a la vez sirviera para esmaltar sobre láminas posteriormente. Contaba con un quemador con ventilador de las siguientes características: Además de su chimenea con su regulador de tiro. Los constituyentes del esmalte eran puestos, ya mezclados perfectamente, en crisoles refractarios con un agujero en medio para la salida del esmalte fundido para que cayera sobre el recipiente con H_2O fría donde se estrellaba. A continuación tenemos un esquema del horno, con sus respectivos cortes, a la vez tendremos esquema de los crisoles empleados.

Como se ve en los diagramas este horno es del tipo intermitente ya que una vez cargados los crisoles con los materiales, se ponían a fundir hasta que terminara el contenido no habiendo manera de volver a cargarlos durante la operación; como sería posible producir mayor cantidad de frita pero se optó por hacerlo de la manera más sen-

cilla y rápida de construcción tratándose como lo es de un rudimentario horno de experimentación.

d).—Enfriamiento en agua o "apagado". El principal objeto del apagado del esmalte es como ya se dijo, para facilitar su molienda ya que si se dejara enfriar lentamente se formaría un cuerpo cristalino muy compacto mucho más difícil de moler el esmalte fundido al ser vaciado en el agua sufre un rápido enfriamiento y la consiguiente contracción se lleva a cabo, siendo por esta causa que se forman pequeños pedazos, gotitas y tiritas, por los esfuerzos causados por la contracción súbita, quedando así el esmalte completamente despejado y listo para ser molido.

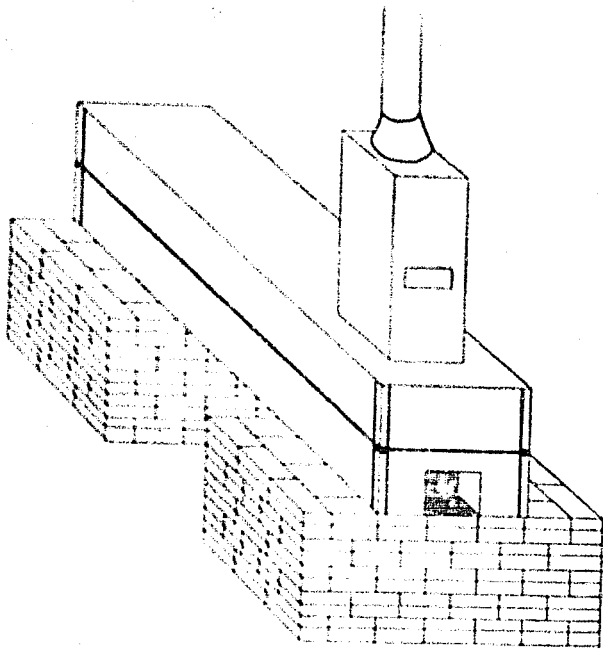
e).—La molienda.— La molienda del esmalte es una parte muy importante en la fabricación del mismo ya que se necesita que quede molido finamente casi hasta impalpable para facilitar su buena dispersión y suspensión en el H_2O sobre todo, para que al aplicarlo sobre las láminas de fierro ya sea por impersión de las láminas o por pulverizado con Pistola de aire, quede una capa uniformemente, distribuida y de ser posible lo más tersa. Para la molturación de las fritas obtenidas se utilizarán dos morteros de porcelana, uno grande de 25 cms. y otro chico de 15 cms.

En el grande se le daba la trituración inicial a los cristales de esmalte para reducirlos de tamaño y se procedía así: 1o. Se iba poniendo un poco de esmalte a moler y una vez hecho esto se pasaba a otro frasco, luego se ponía otra cantidad en el mortero y se procedía igual hasta terminar todo el esmalte obtenido; 2o. Se le daba otra pasada a todo el esmalte de la misma manera con lo cual quedaba reducido a una "arena" fina.

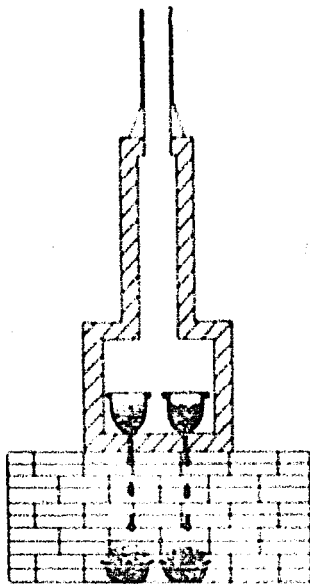
Después se iban pasando pequeñas cantidades del esmalte molido a el mortero chico donde se le molturaba a un grano más fino, así hasta terminar con toda la frita. Luego se le volvía a dar otra pasada por el mortero chico con lo cual el esmalte quedaba reducido a un polvo fino casi impalpable. Hay que hacer notar que usando esta forma de molienda, para lograr el resultado arriba citado con 220 Gms. de frita se necesitaban 10 horas. En la industria se usan molinos de bolas (todo el interior y las bolas de porcelana), que permiten moler mayores cantidades de frita en menor tiempo.

Con esto, creo, queda entendida la técnica usada para obtener esmalte en la escala experimental. Se pasará ahora a explicar las pruebas que se llevarán a cabo para obtener los esmaltes con las propiedades y condiciones para usarse.

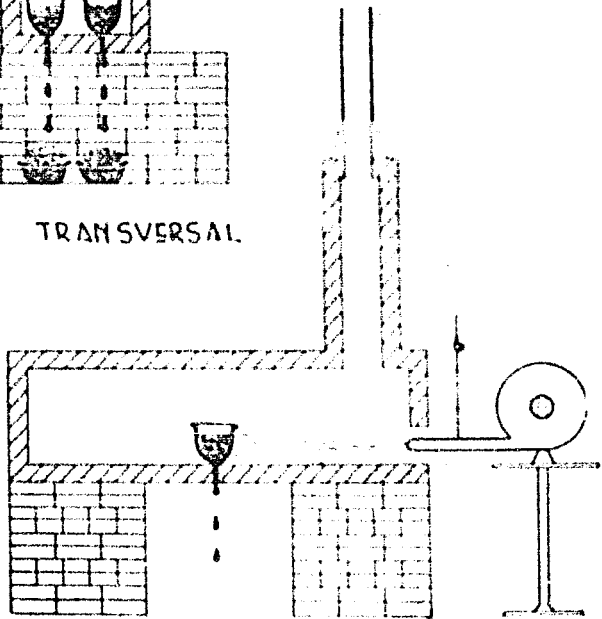
Primero se empezaron a hacer pruebas de fritas usando sola-



HORNO EXPERIMENTAL



CORTE TRANSVERSAL.



CORTE LONGITUDINAL

mente las principales integrante como SiO_2 , 6SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , B_2O_3 , Na_2CO_3 , para tratar de obtener los esmaltes más sencillos y baratos, después se fueron, añadiendo paulatinamente y después de verificar los resultados, los demás constituyentes de la frita, para bajar el punto de fusión, color opacidad, a medida que se iba viendo la frita obtenida, luego se añadió el NaNO_2 , F_2Ca , criolita que contribuyeron a darle cuerpo, color y propiedades fusión químicas al esmalte.

Así que se empezó con la primera prueba usando esta vez.

B_2O_3 , Na_2	120	Gms.	33.33%
6SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O	120	..	33.33%
SiO_2	90	..	25.00%
CO_2 , Na_2	30	..	8.34%
	<hr/>		<hr/>
	360	Gms.	100.00%

Esta frita tarda bastante en fundir y empezar a caer a el recipiente con H_2O , presentaba un color parduzco antes de moler y ya molida tenia un color casi café.

Entonces se procedió a tratar de bajar el punto de fusión de la frita añadiendo para esto más fundente y se hizo la siguiente prueba.

B_2O_3 , Na_2	100	Gms.	45.50%
6SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O	60	..	27.25 ..
SiO_2	40	..	18.20 ..
CO_2 , Na_2	20	..	9.05 ..
	<hr/>		<hr/>
	220	Gms.	100.00%

En esta ocasión, la frita fundió más rápidamente y se obtuvo una coloración menos parduzca que al moler casi no cambió, pero el esmalte presentaba un aspecto y dureza como arcilloso, por lo cual en la siguiente prueba se disminuyó la relación de Bórax, aumentándose el feldespato y sílice. En esta ocasión se usaron conos pirométricos para medir la temperatura de la fusión, usándose los conos 010, 07 y 04, que marcan respectivamente las temperaturas 900, 960 y 1020°C.

La composición de la tercera prueba fue como sigue:

B ₂ O ₃ , Na ₂	160 Gms.	40.0 %
6SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , K ₂ O	120 ..	30.0 ..
SiO ₂	80 ..	20.0 ..
CO ₃ Na ₂	40 ..	10.0 ..
	<hr/>	<hr/>
	400 Gms.	100.0 %

Habiéndose logrado una fritada de mejor apariencia y que empezó a fundir cuando el cono No. 010 se había doblado y el 07 mostraba una ligera tendencia, o sea aproximadamente a los 930° fundió la fritada. Pero todavía conservaba su mismo aspecto terroso habiendo salido del todo bien, se pasó a la siguiente prueba; en donde se le añadió por primera vez el NaNO₃, aumentándose el bórax y disminuyendo el cuarzo: de la siguiente manera:

B ₂ O ₃ , Na ₂	150.0 Gms.	42.10%
6SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , K ₂ O	110.0 ..	30.90%
SiO ₂	60.0 ..	16.90%
CO ₃ Na ₂	16.0 ..	4.50%
NO ₃ Na	20.0 ..	5.60%
	<hr/>	<hr/>
	356.0 Gms.	100.00%

En esta vez también se colocaron conos pirométricos de la misma manera y graduación, habiendo sido más fusible esta mezcla ya que fundió al doblar un poco el cono No. 010 o sea a los 895.-900.6. La apariencia de este esmalte era un poco más cristalina pero todavía un poco terrosa.

Una vez obtenido este esmalte se procedió a hacerlo un esmalte base, añadiendo para esto, los demás ingredientes, incluyendo el óxido de cobalto que es el que le da la adherencia con las láminas de hierro, además se añadieron, el espato Fluor, la criolita y el M₂ O₃.

Se hicieron varias pruebas usando diferentes composiciones como aquí se indica.

B ₂ O ₃ Na ₂	120.0	Gms.	30.0%
6SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , K ₂ O	120.0	..	30.0%
SiO ₂	80.0	..	20.0%
CO ₂ Na ₂	28.0	..	7.0%
NO ₂ Na	20.0	..	5.0%
F ₂ Ca	24.0	..	6.0%
CoO	2.0	..	0.5%
Mn O ₂	6.0	..	1.5%
	<hr/>		
	400.0	Gms.	100.0%

En esta composición también se pusieron conos pirométricos, como en todas las que siguieron, usando el 011, 010, 07. La fusión de la mezcla se realizó después de doblar todo el cono No. 011 y empezar a doblar el 010 sea a 905.C aproximadamente. Pero en esta ocasión ya se obtuvo un esmalte azul-negro cristalino que presentaba más o menos todas las cualidades requeridas para usarse, salvo su dureza no era aceptable.

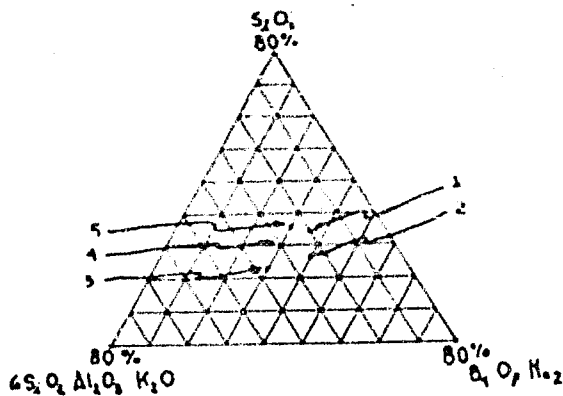
Por lo tanto se prosiguió con las pruebas para obtener un esmalte con las cualidades necesarias, cuerpo, viscosidad, punto de fusión, pero ya usando todos los ingredientes como en la vez anterior.

Las principales materias primas en la fabricación de los esmaltes son, como ya se ha visto, el borax, el feldespato y el cuarzo, que son los que le dan cuerpo a los esmaltes, aparte de que determinan la viscosidad y en una parte de fusión. En los demás ingredientes casi no varían la cantidad con que entran en el esmalte, teniendo en cuenta esto, se puede hacer una fórmula como la siguiente:

B ₂ O ₃ Na ₂	
6SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , K ₂ O)	80.0 %
SiO ₂	
CO ₂ Na ₂	7.0 %
NO ₂ Na	5.0 %
F ₂ Ca	6.0 %
CoO	0.5 %
Mn O ₂	1.5 %
	<hr/>
	100.0 %

En la cual sólo varían las cantidades de cuarzo, feldespato y borax pero sumando siempre el 80%.

Para esto se dispone de una gráfica de 3 componentes en la cual se indicará la cantidad de C/ componente en cada una de las pruebas. Así que a continuación vamos a dar las composiciones de las diferentes pruebas con la modalidad arriba anotada, junto con su punto de fusión y otras propiedades.



En la sexta prueba se usó la composición No. 1 de la gráfica, fundiendo a 910.C o sea cuando el cono No. 09 empezaba a doblar, después de doblarse el 010. Se obtuvo una buena frita pero un poco pastosa.

En la séptima prueba se puso la composición No. 2, habiendo fundido aproximadamente a los 920.C, o sea cuando dobló el cono No. 09, como se ve en esta frita el punto de fusión es un tanto alto, además que resultó de gran dureza dificultando la molienda.

En la prueba No. 8 se tomó la composición No. 3, lo cual bajó un poco el punto de fusión a más o menos 915.C, o sea después de doblar el 010 y empezar el 09.

En la novena prueba se usó la composición No. 4 que bajó más el punto de fusión a 905.C y mejoró las condiciones de la frita en apariencia y en la molienda.

La última prueba se verificó con la composición No. 5 de la gráfica, que dió buenos resultados ya que la fusión se verificó al doblarse el cono No. 010, además de que presentaba buenas cualidades más o menos como la anterior, buena apariencia, color, dureza, buena viscosidad al fundir, Etc.

Con éste se dió por terminada la fabricación de los esmaltes base, pasando a continuación a la preparación también experimental de los esmaltes de cubierta o sea los que van sobre el base.

Estos esmaltes de cubierta difieren de las bases en que deben ser más fusibles, además su apariencia al fundir sobre la lámina debe ser más lisa, deben ser resistentes a soluciones ácidas, a la intemperie, y al calor. Estos esmaltes llevan menos cantidad de borax, feldespato y cuarzo pero la fusión se ayuda con la criolita, el NaNO_3 y otros óxido de zinc, CO_3Ba . Fundentes. El color de estos esmaltes debe ser blanco casi siempre para lo cual ya no se añade CoO y se ponen opacificantes como el Sb_2O_3 , además que se añade en el molino el óxido de estaño.

Ahora bien, ya teniendo un esmalte base fué más fácil la obtención del esmalte de cubierta ya que nada más se le quitó el CoO y el MnO_2 para añadirle las sustancias arriba mencionadas.

Así tenemos la fórmula General para los esmaltes de cubierta:

$6\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{K}_2\text{O}$	87.5	Gms.	25.0	%
$\text{B}_2\text{O}_3, \text{Na}_2$	98.0	..	28.0	..
SiO_2	66.5	..	19.0	..
CO_3, Na_2	12.25	..	3.5	..
NO_3, Na	12.25	..	3.5	..
F_2, Ca	17.5	..	5.0	..
Criolita	42.0	..	12.0	..
Sb_2O_3	14.0	..	4.0	..
	<hr/>		<hr/>	
	350.00	Gms.	100.0	%

Además en el molino se añade óxido de Estaño en un 7% más. Al igual que en los esmaltes base de la relación de feldespato, bórax y cuarzo juega un importante papel al darle cuerpo al esmalte por lo cual se procedió como la vez anterior teniendo esta fórmula:

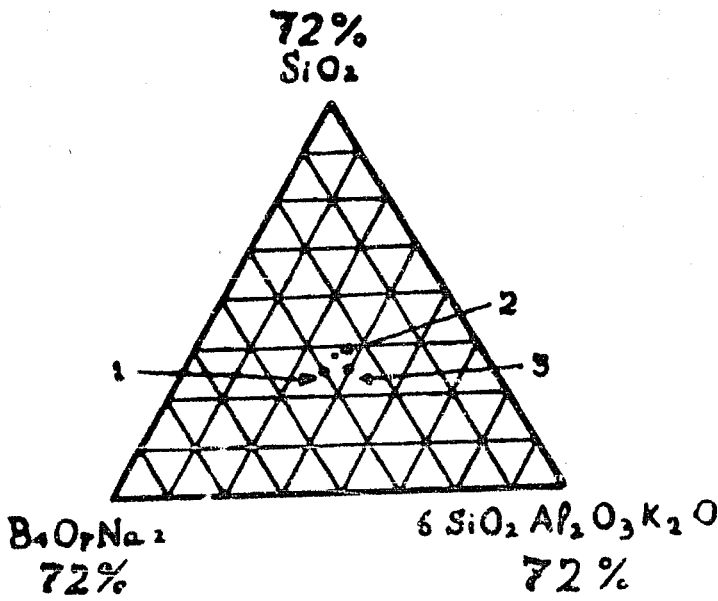
$6\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{K}_2\text{O}$		
$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	72.0	%
SiO_2		
CO_3, Na_2	3.5	
NO_3, Na	3.5	
F_2, Ca	5.0	
Criolita	12.0	
Sb_2O_3	4.0	
	<hr/>	
	100.0	%

de la cual, la parte principal se interpreta en una gráfica de 3 componentes.

Se hicieron 3 pruebas, las cuales se indican en la gráfica, pero sin variar en nada los demás componentes.

En la primera prueba, se usó la composición No. 1 además de los demás componentes; se pusieron los conos Nos. 013, 014 y 015, habiendo fundido la frita, al doblar el cono 015 y empezar el 014, con muy buena fluidez y uniformidad.

En la segunda prueba; con la composición No. 2 y con los mismos conos pirométricos, se efectuó la fusión al empezar a doblar el 0.15. Se veía muy viscosa la pasta, dificultando la bajada, al fritar en agua.



En la tercera y última prueba en la cual se utilizó la mezcla No. 3, la fusión no se realizó sino después de doblar enteramente el cono No. 013, además que se vio más viscosa la fritada fundida que la anterior, cayendo en el agua en grandes bolas. En resumen, la mejor fritada resultante fue la primera, en fluidez, cuerpo, etc., viendo ésta la que se usó en las pruebas sobre láminas de hierro, de lo cual se tratará en el próximo capítulo.

La adición del óxido de estaño que es un opacificante se efectúa después de moler el esmalte finamente y se mezcla lo más posible para tener una dispersión uniforme.

CAPITULO V.

ESMALTADO EXPERIMENTAL DE LAMINA DE FIERRO

Para el esmaltado de las láminas de fierro propiamente dicho hay varios pasos a seguir, que son los siguientes:

- a).—Limpieza de las láminas (Pickling).
- b).—Aplicación del esmalte (inmersión o pistola de aire).
- c).—Secado de las láminas pintadas.
- d).—Cocción u horneado de las láminas pintadas.

El primer paso, de la limpieza de las láminas de fierro, es de gran importancia, ya que de ahí depende mucho que el esmalte tenga una buena adherencia en la lámina. El método usado para dicha limpieza es a base de la acción de agentes químicos y en inglés recibe el nombre de PICKLING. Se utilizan la sosa cáustica NaOH, el H₂O, el H₂SO₄, el H₂O y el CO₂Na₂, respectivamente, como a continuación se explica la NaOH tiene su acción desengrasante de las láminas, ya que al actuar sobre las grasas en la superficie de la lamina hay la reacción de saponificación para formar jabón, si las grasas o aceites de la lámina no son orgánicos y no dan la reacción de saponificación con la NaOH, entonces esta actúa en diferente manera para formar una emulsión con la grasa.

La concentración de la solución de NaOH generalmente usada es de 20 gms. lt. Esta solución se usa de preferencia en caliente a 70°C., pues la acción limpiadora es más rápida.

El empleo de H₂SO₄ en la limpieza de las láminas es para quitar lo "oxidado" u Orin. El ácido disuelve el óxido y ataca el fierro liberando hidrógeno, el cual fuerza la costra para removerla de la superficie de la lámina; esta acción es la más importante del ataque con ácido, ya que la costra cae al fondo del tanque o recipiente usado quedando la lámina limpia. Hay tres clases de óxidos presentes en el fierro: el óxido férrico hidratado (Fe₂O₃ · 3H₂O), el óxido ferrico anhidro (Fe₂O₃) y el óxido Ferroso Férrico u Oxido magnético (Fe₃O₄). El óxido férrico hidratado es el más fácil de quitar, ya que se disuelve en el ácido.

El Fe_2O_3 es disuelto en el ácido, cayendo otra parte en el fondo del recipiente.

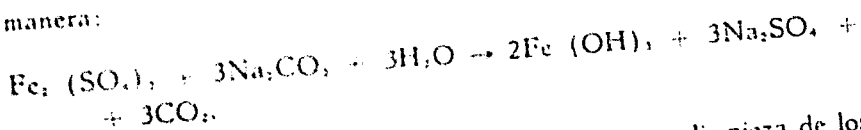
El Fe_2O_3 se disuelve muy lentamente en el ácido, por eso la mayor parte de este óxido cae al fondo del recipiente por la acción del ácido antes descrita.

La concentración de ácido generalmente usada en soluciones limpiadoras es de 6% de H_2SO_4 .

Se usa en caliente a 80°C ., donde su acción limpiadora es más rápida y energética.

El CO_3Na_2 se usa en el baño neutralizante para quitar las últimas trazas de ácido en los polvos del metal. Se usa en concentraciones de 2% en solución con H_2O en caliente 75°C . para que la reacción sea más rápida entre el álcali y el ácido.

$\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{SO}_4\text{Na}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ si por alguna razón la lámina llevara todavía el $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ reaccionaria de esta manera:

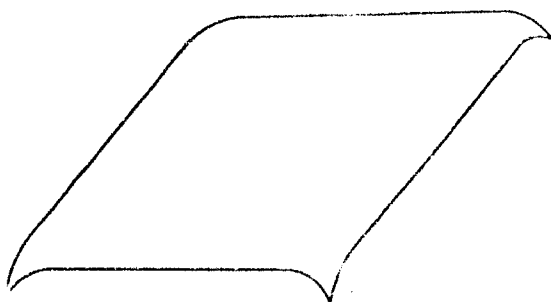


Una vez explicado el mecanismo del Pickling o limpieza de los metales, diremos cómo se procedió en la parte experimental.

Se utilizaron 6 recipientes de barro con capacidad de 8 litros en los cuales se pusieron las soluciones limpiadoras. Primero era el recipiente de la solución de NaOH , a continuación un recipiente de enjuague con H_2O pura, después el recipiente conteniendo la solución de H_2SO_4 , luego otro con H_2O pura para el enjuague; el siguiente con la solución neutralizante de Na_2CO_3 , y por último un recipiente con H_2O pura, para enjuagar.

Para esta prueba se utilizó lámina de espesor Na_2O , la cual se cortó en pedazos rectangulares de 10 cms. x 6.5 cms., a estos rectángulos de lámina se les doblaron las puntas en un sentido con objeto

de que al ponerlas en el horno no se pegaran al piso de éste con el esmalte al fundir, quedando de la siguiente manera más o menos:



LAMINA PARA EXPERIMENTACION

Se cortaron 25 pedazos de lámina para las pruebas.

A continuación se procedió a su limpieza, poniéndose todas en el primer recipiente que contenía la solución de NaOH para desengrasarlas. Se calentó el recipiente en una estufita eléctrica hasta los 70°C. donde se mantuvo por 20 minutos la acción de la NaOH sobre las láminas, al cabo de este tiempo se suspendió el calor y se procedió a sacarlas una por una con unas pinzas apropiadas para pasarlas al primer recipiente con agua pura para enjuagarlas tirando el agua ya que estaban todas adentro y usando el chorro de una manguera para hacer más efectivo el enjuague. Acto seguido se pasaron todas las láminas al recipiente con la solución de H₂SO₄ al 6%, se calentó hasta 70°C. y se mantuvo esa condición durante 30 minutos, observándose la formación de un lodo en el fondo del recipiente, al sacarse las láminas de la misma manera que de la solución de NaOH se vio el efecto del ácido, ya que salieron limpias y tersas sin la menor señal de óxido u orin, pasándose al segundo recipiente con H₂O pura para enjuagarla de la misma manera que la vez anterior. Luego se pasaron las láminas a la solución neutralizante de CO₂Na₂, se calentó hasta los 75°C. y se mantuvo así por 3 minutos después de lo cual se sacaron las láminas ya neutralizadas al tercero y último enjuague, al cual se hizo igual que las otras veces. Se sacaron las láminas y se pusieron a secar, hecho lo cual quedaron listas para su uso, o sea para la aplicación del esmalte como veremos.

El primer esmalte para aplicar es el ESMALTE BASE, de color azul negro o negro, en este caso se obtuvo un esmalte base de color azul negro, ya que llevaba MnO₂ y CoO se usaron las fritas Nos. 9

y 10 de los esmaltes base explicados en el Capitulo anterior. Dichos esmaltes perfectamente molidos (o sea hasta donde permite un mortero de porcelana) se pusieron en dos recipientes respectivamente con capacidad de 3 litros.

La aplicación de estos esmaltes base es generalmente hecha por inmersión del objeto a esmaltar; en la dispersión en H_2O de la frita usada. A los esmaltes de los recipientes se les añadió una poca de H_2O a cada uno hasta formar un lodo aguado que serviría para la inmersión de las láminas lográndose la aplicación uniforme del esmalte sobre la superficie de la lámina. De esta manera se aplicó esmalte a 10 láminas en la frita No. 9 y a las otras 15 láminas en la frita No. 10 que fue de mejor apariencia y calidad. Una vez "pintadas", por así decirlo, las láminas se pusieron a secar de una manera lenta al rayo del sol, hasta lograr la completa evaporación del H_2O , hecho lo cual estuvieron listas para la cocción u horneado, paso final en el esmaltado de láminas de hierro.

En la escala industrial se utilizan secadores de túnel para las piezas pintadas, pero en este caso bastó con el calor solar.

De manera que el siguiente paso es la cocción de los esmaltes aplicados, para lo cual se utilizó el mismo horno usado para preparar las fritas, solamente que para este caso se taparon los agujeros por donde escurre la frita. Así las cosas se tomaron 5 láminas de las que tenían la frita No. 9 y se metieron al horno ya caliente un poco, donde previamente se habían puesto 3 conos pirométricos, como ya se ha indicado, los conos eran el 09, 010 y 011, se siguió calentando el horno hasta que dobló el 011 y se dejó así por 5 minutos hasta que el 010 empezaba a doblar; en este punto se suspendió el fuego y se sacaron las láminas ya con el esmalte fundido. Una vez fuera se dejaron enfriar y se observaron los siguientes resultados.

a).—Tres láminas quedaron, del lado que estuvo cerca del piso del horno, con esmalte casi pulverizado y adherido en pequeñas zonas de la superficie; del lado superior quedaron con el esmalte granulento con eflorescencias y de un color pardo obscuro. Se veían gran cantidad de cráteres pequeños como burbujas reventadas.

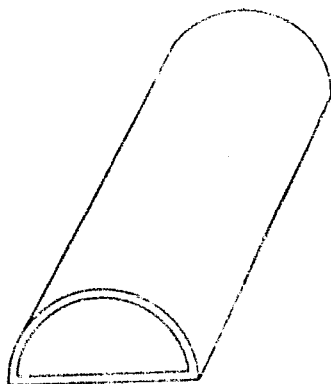
b).—Las otras dos láminas tenían como característica principal no haberse formado tanto eflorescencia y dar un esmalte cristalino en algunas partes (las mayores en su superficie superior) de color verde parduzco. En la cara inferior se veía el esmalte desprendido en muchas partes y gran formación de orin en la lámina.

Todos estos fenómenos se produjeron por la razón de que se pusieron las láminas pintadas en el horno bajo la acción directa de la

llama del quemador no obstante con todo el tiro abierto para evitar la formación de una atmósfera reductora.

Entonces lo que pasó fue que se oxidaron la lámina y el esmalte por el gran calor y la acción oxidante del combustible, con los resultados antes descritos, con lo cual se vio que es imposible esmaltar en estas condiciones.

Para la siguiente prueba se pusieron en el horno 3 conos pirométricos, el 011, 010 y 09 y con el conocimiento de causa anterior, se usó una mufla de material refractario como la de la figura dentro de



MUFLA DE MATERIAL
REFRACTARIO

la mufla se pusieron las 5 láminas restantes con el esmalte No. 9, se empezó a calentar y 3 minutos después que hubo doblado el cono No. 011 se suspendió el fuego y se sacó la mufla. Las láminas salieron ya esmaltadas y se notó el siguiente resultado: las 5 tenían una apariencia uniforme más o menos; pero aún quedaron con eflorescencias en su superficie superior, en la superficie inferior estaban un poco más lisas que de arriba, pero aún rugosas. Por lo cual se pasó a hacer la prueba con el esmalte No. 10, ya que con el anterior no se lograron resultados positivos. En esta prueba se "pintaron" 5 láminas por inmersión en la suspensión del citado esmalte, se usó otra mufla igual a la anterior, dentro de la cual iban las 5 láminas para su cocción. Se empezó a calentar el horno, previa colocación de 3 conos pirométricos del 011, 010 y 09, pasado un tiempo, se dobló el cono 011 y cuando empezaba a doblar el 010 se quitó el fuego y se sacó la mufla, extrayéndose de éstas las láminas ya con su esmalte fundido. Apreciándose los siguientes

tes resultados: 4 láminas salieron más o menos uniformes en su aspecto, la superficie superior aparecía un poco más lisa que las anteriores pruebas; sin embargo las eflorescencias todavía aparecieron, aunque en mucho menos cantidad. Su superficie inferior era menos lisa y más rugosa. La lámina restante salió llena de eflorescencia por arriba y por abajo.

Se hizo la siguiente prueba en la misma mufla con los mismos conos, poniéndose otras 5 láminas. Se calentó el horno y se suspendió el fuego una vez fundido el cono No. 011, se sacaron las láminas y se observaron, teniendo en conclusión lo siguiente: Las 5 láminas presentaban ya enfriadas mejor aspecto que todas las pruebas pasadas, 3 de ellas quedaron muy lisas en su superficie superior así como en la inferior, de un color negro y casi sin eflorescencias. La cuarta lámina salió muy lisa por arriba y por abajo. La quinta lámina salió buena, pero en la parte central de la superficie superior quedó como "comido" el esmaltado, lo cual podría ser que no quedó muy limpia la lámina.

Para la última prueba se usó otra mufla similar, otros 3 conos del 012, 011 y 010 y se calentó el horno ya con las 5 láminas restantes. Se suspendió el fuego después de doblar el 012 y cuando iba a medio doblar el 011. Se sacaron las láminas y se observó que las 5 quedaron más o menos iguales, con sus dos superficies lisas y ausencia de eflorescencias, buen color, etc., dándose con esto, por terminada la prueba de los esmaltes base.

El siguiente paso fue la prueba de los esmaltes de cubietra, que por ser los que dan la presentación a todos los artículos esmaltados, en este caso las láminas, necesitan tener más control en su aplicación y fusión.

Para el caso se usó una mufla eléctrica, provista de un pirómetro con escala de temperatura, con lo cual se evitó el uso de los conos pirométricos. Se escogieron las 7 mejores láminas esmaltadas con el base y se pintaron con pistola de aire.

El esmalte usado fue el obtenido en la primera prueba por haber salido el mejor. Se tomaron más o menos 200 grms. de éste a los cuales se les añadieron 16 grms. de óxido de Estaño como opacificante, se mezcló bien y se molió por segunda vez en el mortero. Se hizo la suspensión en H₂O y se aplicó como ya se dijo con la pistola de aire. Las láminas ya "pintadas" se secaron al sol tras de lo cual quedaron listas para proceder a la cocción o vitrificación. Se empezó a calentar la mufla y se continuó hasta alcanzar al temperatura de 800°C., en este punto se metió una lámina pintada, se esperó hasta que el pirometro marcara 815°C. y se mantuvo la temperatura durante 4 minutos, luego

se sacó la lámina con unas pinzas para tal efecto, teniendo como resultado (una vez enfriada la lámina) que quedó con la superficie llena de ampollitas reventadas que le quitaban toda la buena apariencia a la superficie.

Para la segunda prueba se dejó bajar un poco la temperatura, hasta 805°C. metiéndose en ese momento la siguiente lámina, se dejó por 4 minutos y se sacó la lámina con las dichas pinzas, esta vez la superficie no presentaba tantas eflorescencias y se notaba más lisa. Por lo cual para la 3a. lámina se dejó a la misma temperatura pero por espacio de 3 minutos; al sacar la lámina se notó que habían disminuido más las ampollitas reventadas y presentaba un aspecto más liso y más blanco la superficie esmaltada.

En la 4a. prueba se dejó bajar la temperatura de la mufla hasta 795°C., se metió la lámina por 4 minutos y se sacó; una vez enfriada se vio que presentaba sólo 2 ó 3 ampollitas, pero en general estaba muy lisa y blanca.

En la 5a. prueba, a la misma temperatura se dejó la lámina por 3 minutos, al cabo de los cuales se sacó la lámina, habiendo quedado lisa completamente y sin defectos, tal como se deseaba. Aún se hicieron las otras dos pruebas en las mismas condiciones, obteniéndose los mismos buenos resultados. Con esto quedaron establecidas las condiciones para el esmaltado de las láminas; a saber: Para el esmalte base. Usar la frita No. 10 y calentar a 860°C. aproximadamente por espacio de cinco minutos.

Para el esmalte de cubierto: Usar la frita No. 1, calentar a 795°C. y sostener esta condición por 3 minutos.

Con esto se dio por terminado el esmaltado experimental de la lámina de hierro.

CAPITULO VI.

PROYECTO DE LA PLANTA

Para el proyecto de la planta, se va a tomar como base, la producción de 600 M². de lámina esmaltada por cada turno de 8 horas. La lámina que se va a usar es del N/16, es decir de 0.0598" de grueso.

Ahora bien, para facilitar la descripción de la planta se le va a dividir en 3 secciones, a saber:

1).—Depto. de limpieza (PICKLING).

2).—Depto. de aplicación del esmalte.

3).—Depto. de molienda y preparación del esmalte.

Antes, se hará una descripción del proceso para la fabricación del esmalte, tomando como base la producción de 150 Kgs. de frita por día, usando los esmaltes que dieron buenos resultados en la experimentación, o sean el No. 10 para los esmaltes base y el No. 1 para los esmaltes de cubierta.

Así, tenemos un diagrama de flujo para la fabricación de las fritas y otro para el esmaltado de las láminas.

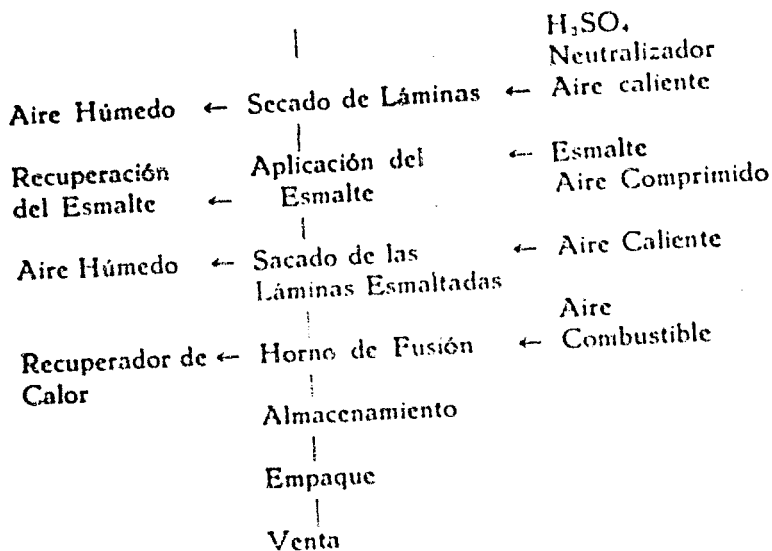
DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA FABRICACION DE ESMALTES

Recibo de Materias Primas - Almacenamiento de éstas - Pesada de las mismas - Mezclado - Carga de los hornos de fritar - Fusión de la mezcla - Fritado - Secado de las fritas - Molienda

DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL ESMALTADO DE LAMINAS

Materias Prima (Lámina)
↓
← Pickling
Drenaje

Agua
← Desengrasador

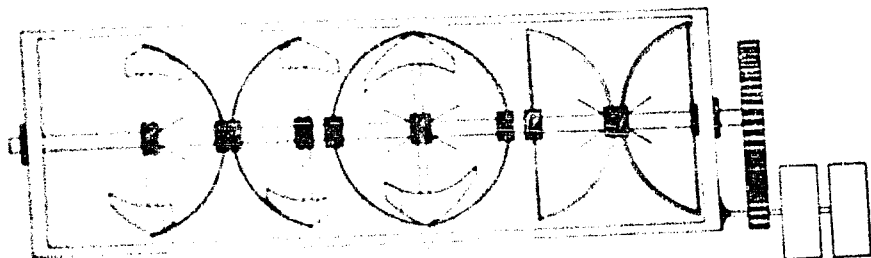


Teniendo esto en cuenta, tomamos como antes se había dicho, la descripción del proceso de fabricación de fritas, pasando a el pesa- do de materias primas para formar la mezcla de cochura. Como tene- mos las fórmulas en por cientos es muy simple hacer la conversión a los Kgs., necesarios de cada componente para formar la mezcla que nos dará la frita. Para el caso debe contarse con una báscula y con una persona de absoluta confianza para evitar se divulgen las fórmu- las.

Así una vez pesadas las sustancias se pasan al mezclador, pero antes se hacen pasar a través de un cernidor para evitar el paso de materias extrañas tales como pedazos de madera, trapos, etc., que ge- neralmente van dentro de los empaques de las materias primas. Ade- más, las bolas de material ahí se deshacen. La mezcla completa de los materiales usados es muy importante, ya que se usan refractarios y fundentes, siendo por eso que la velocidad de reacción durante el fundido depende de una mezcla uniforme, así tenemos que la velocidad de reacción es directamente proporcional a las superficies de contacto y entre más íntima sea la mezcla, mayor superficie de contacto habrá entre los materiales.

El hecho de que en las materias primas, las partículas no sean del mismo tamaño, forma, ni gravedad específica, dificulta el mezclado.

pero se obtiene buenos resultados con un mezclador horizontal como el que se ve aquí:



MEZCLADOR HORIZONTAL

Este es un tipo satisfactorio de mezclador para polvos y arenas, como sucede en este caso. El elemento mezclante consiste de varias paletas verticales y dos tramos helicoidales, uno con sentido derecho en rosca de tornillo y el otro en sentido inverso, de tal manera que el material es movido de atrás a adelante de un lado a otro del mezclador, a la vez que también lo elevan a la superficie, para obtener un mezclado satisfactorio.

POTENCIA.—El mezclador horizontal se puede mover con un motor eléctrico de 2 H. P., siendo 100 R. P. M., las necesarias para la buena eficiencia del mezclador. La que con menos R. P. M. el mezclado sería muy lento y menos eficiente, además la práctica con estos mezcladores es la que ha dado los datos aquí expresados, para una mejor mezcla. El ancho de las aspás helicoidales es pequeño porque el mezclado de sólidos requiere un continuo deslizamiento de las aspás para promover pequeños tornados, para el rompimiento de las bolas de material y para economizar en caballos de fuerza.

El siguiente paso del proceso es la carga de los hornos de fusión del esmalte u hornos de fritar. Se lleva a cabo por medios manuales, recogiendo la mezcla de materiales y cargando una carretilla de donde se vacía al horno.

FUNDIDO.—Esta implica, la fusión de las materias primas que entran en la composición del esmalte, hasta que se forma un cuerpo variado y uniforme. El éxito de esta operación depende del buen mezclado de los materiales, el calentamiento propio. Algunos de los materiales son volátiles, otros funden rápidamente, otros se descomponen y otros son refractarios. Los materiales más fusibles se funden más pronto, dando la apariencia a la mezcla de la formación de una

capa grasosa que impide el escape rápido de los gases y la pérdida de los materiales volátiles. Estos son absorbidos lo mismo que los refractarios en la solución de los materiales fusibles.

Los cambios físicos y químicos que tienen lugar durante la fusión, son muy complicados y poco conocidos. Sin embargo se sabe que los principales cambios son:

La reacción entre ácidos y bases, la descomposición, la fusión y la solución.

La naturaleza, el grado y el orden de esos cambios dependen de muchas condiciones tales como la temperatura, las combinaciones de las materias primas y de la agitación. En las primeras etapas de la fusión, el NO_3Na funde a 307°C dando un líquido móvil que reacciona y disuelve a los otros constituyentes. El Borax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_{10} \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$) empieza a soltar algo de un agua de cristalización como vapor y funde al rojo. La producción del vapor y la fusión causan una agitación en la mezcla, el borato fundido disuelve los óxidos metálicos y comienza la acción química con los otros constituyentes. Es probable que la presencia del vapor acelere las reacciones químicas en la mezcla. A la temperatura de 820°C el carbonato de Sodio funde y es un activo fundente a esa temperatura atacando los constituyentes más ácidos con la eliminación del CO_2 adicional. Lo fundido se vuelve más móvil y activo con los fluoruros adquiridos e incrementan su ataque sobre el feldspato y cuarzo. Los compuestos de Antimonio son oxidados a pentóxido de Antimonio por el NO_3Na , o si no son disueltos en la fusión. El óxido de antimonio si no es oxidado funde a 660°C . Sin embargo, la naturaleza exacta de estos fenómenos de alta temperatura no son conocidos, probablemente el empleo de los rayos X contribuiría mucho al conocimiento de ellos.

Los gases producidos durante las primeras etapas del fundido forman una cortina protectora del esmalte, contra la contaminación de los gases producidos por la combustión. Tenemos que un esmalte conteniendo 35% de Borax y 10% de CO_3Na_2 , pierde 75 Kgs. de H_2O y 19 Kgs. de CO_2 por cada 500 Kgs. de frita. Lo que corresponde a 96.200 lts. de vapor de H_2O a 0°C y 760 mm. de presión, ahora como tenemos temperaturas de 900° serán 410.000 lts. que si es un periodo de 30 minutos tendremos 13.700 lts. por min. ó 225 lts por segundo. Estas corrientes de gases protegen al esmalte de la acción de los gases de combustión y evitan cualquier contaminación. Ya que, bajo condiciones fuertemente reductoras, los compuestos de antimonio y estaño, cambian a la forma metálica precipitándose al fondo de la frita. La

presencia de óxidos de azufre en los gases de combustión forman sulfatos inmiscibles en la superficie pero que luego son disueltos en el agua y eliminador al fritar.

El factor tiempo en el fundido, juega un papel muy importante. Cuando se aplica el calor muy despacio no se tienen buenos resultados, porque las materias que primero funden, reaccionaron despacio con los componentes refractarios, consumiendo tiempo y disminuyendo la eficiencia de la operación.

Tampoco es bueno calentar muy aprisa, ya que los componentes más fusibles son fundidos y volatilizados antes de que tengan ocasión de reaccionar con los componentes refractarios. Esto da por resultado una frita de consistencia dura y mayor punto de fusión, por los fundentes perdidos en la cochura.

Las mezclas para esmaltes varían considerablemente en sus características de fusión, y existen diferentes condiciones para los diferentes esmaltes y equipo usado.

Los ESMALTES BASE son fundidos o funden a más alta temperatura que los esmaltes de CUBIERTA. Estos últimos se dejan en fusión hasta que todas las burbujas salen y queda todo el material fundido. Muchos de los defectos de los esmaltes tienen su origen en esta operación del fundido, de aquí que se deba tener un gran cuidado en todos los factores enumerados para el buen éxito de la operación.

Así pues, una vez establecido esto, se optó por escoger un horno para fritar del tipo ROTATORIO que tiene las siguientes características: Forma cilíndrica, va montado en forma que pueda girar y también inclinarse. Los extremos son cónicos para detener la masa al rotar el horno. Tiene una abertura en un extremo que sirve para el quemador, y otra en el otro extremo que es para la chimenea. Está hecho de una chaqueta de acero y forrada con refractarios con la forma adecuada; gira en ambas direcciones y se puede inclinar hasta la vertical para vaciar la masa fundida para el fritado. Usa quemador de diesel. Hay varios tamaños de este horno, para capacidades de 30 Kgs. de masa hasta para 500 Kgs.

Como ejemplo tomemos un horno con capacidad para 150 Kgs. de mezcla de cochura, que tiene las siguientes características:

Capacidad	150 Kgs.
Tiempo de Fusión	1 hora
Diámetro de la boca para inserción del Quemador	10"
Peso del Horno (Total)	3360 Kgs.
Espacio que ocupa	3.30 x 3.30 Mts.
Gasto de combustible	65 Lts. 1 Hora
Motor para Girar	3/4 H. P.
Diámetro interior del Horno	25"
Espesor del Refractario	5"
Capacidad en Volumen	85 Lts.

Ahora bien ya que se van a producir dos clases de esmaltes, el esmalte base y el esmalte de cubierta, es necesario por eso, tener dos hornos de este tipo, uno para cada clase de esmalte.

La operación de estos hornos se debe hacer, como sigue: La carga se introduce por el agujero del quemador, retirando éste para que pase la carga, luego se distribuye ésta con una pala larga por todo el horno, luego se vuelve a colocar en su lugar el quemador y se enciende. Se pone a girar hasta que funde todo el esmalte y se mezcla, aparte de que para esto es necesario mover el esmalte fundido de adelante a atrás y viceversa con ayuda de una barra de acero manejada por un hombre, cuando ya no se producen burbujas en la masa y todo el esmalte está fundido entonces se vacía a un tanque con agua fría, dentro del cual está un recipiente de metal Monel de 1.0 mts. de largo, 0.75 mts. de ancho y 0.75 mts. de alto cae la frita, de aquí se saca la canasta de metal con la frita dentro y se lleva a secar.

Durante la fusión de la frita se desprende el CO_2 y H_2O por lo cual hay una pérdida en peso de los componentes de la frita, ya que todos quedan en forma de óxidos, como tenemos continuación:

K_2O	4.056 gms.		
B_2O_3	30.0 gms.	Na_2O	10.810 ..
SiO_2	26.0 ..	SiO_2	41.552 ..
$6\text{SiO}_2, \text{K}_2\text{O}, \text{Al}_2\text{O}_3$..	24.0 ..	CaO	4.308 ..
CO_2, Na_2	7.0 ..	Al_2O_3	4.392 ..
NO_2, Na	5.0 ..	B_2O_3	10.980 ..
F_2, Ca	6.0 ..	CoO	0.467 ..
Co_2O_3	0.5 ..	MnO_2	1.500 ..
MnO_2	1.5 ..	F_2	2.922 ..
<hr/>		<hr/>	
100.00 gms.		80.987 gms.	

P E R D I D A 19.013 %

ESMALTE DE CUBIERTA

6SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , K ₂ O ..	25.0	gms.			
B ₂ O ₃ , Na ₂	28.0	"			100.00 gms.
SiO ₂	19.0	"	K ₂ O		4.225 gms.
CO ₂ , Na ₂	3.5	"	Na ₂ O		13.184 "
NO ₂ , Na	3.5	"	SiO ₂		35.200 "
F ₂ , Ca	5.0	"	CaO		3.590 "
Na ₂ , AlF ₃	12.0	"	Al ₂ O ₃		7.491 "
Sb ₂ O ₃	4.0	"	B ₂ O ₃		10.248 "
			Sb ₂ O ₃		4.000 "
			F ₂		6.516 "
	<hr/>				
	100.00	gms.			<hr/>
					84.454 gms.

P E R D I D A 15.546 %

Así que tenemos 150 Kgs. de mezcla, que con la pérdida quedan reducidos a 121.578 Kgs.

SECADOR DE ESMALTE.— El secador que va a ser usado para este caso es el secador rotatorio, indirectamente calentado; en contracorriente y con quemador. Consiste en un casco exterior que lleva unas toberas que conectan el interior del tubo concéntrico con el exterior del casco hacia el hogar del quemador. El cuerpo del secador está montado en una cámara de ladrillo refractario, que llega también a el hogar del quemador, así los gases calientes rodean a el casco y luego pasan por las toberas al interior del tubo concéntrico donde van de derecha a izquierda hacia un extractor de gases en la extrema izquierda. Los gases no entran en contacto nunca con el material que se va a secar. El material se alimenta por la izquierda y pasa por el espacio anular entre el casco y el tubo interno y se descarga en la extrema derecha del secador. El aire se mete por el lado derecho, y va en contracorriente con el material y se saca, por medio de otro extractor a la izquierda.

Esto ha sido un bosquejo amplio de la fabricación de esmaltes y los cálculos son inherentes a la fábrica de esmaltes, sólo que se quiso dar una idea de cómo se producen estos y está fuera de nuestro alcance entrar en los detalles de la producción, por lo tanto se proseguirá con la materia que nos ocupa, o sea el **PROYECTO DE UNA PLANTA PARA ESMALTAR LAMINAS DE FIERRO.**

El esmalte llega de la planta productora en forma cristalina granulosa en un tamaño aproximado de 2 mm de diámetro, luego, hay que molerlo hasta que quede en polvo impalpable y para eso se necesitan 2 molinos de bolas. La operación del equipo de molienda es de una importancia vital en el control del producto, de tal manera que un buen equipo de control es esencial para la buena operación.

No se recomienda usar el mismo molino para uno y otro esmalte, debido a la contaminación que habría de éstos, y para evitarla se necesitaría una lavada muy eficiente al molino, con su consiguiente pérdida de tiempo y mano de obra, por lo tanto se usará un molino para cada esmalte.

El diseño general y construcción de molinos de bolas usado en los esmaltes vitreos debe estar de acuerdo con el hecho de evitar la contaminación con el hierro, de tal manera que deben ir forrados con tabiques de porcelana, los cuales son adaptados a la curvatura del molino, y tienen un tamaño de 2x2x4 pulgadas. Las bolas usadas deben ser por lo mismo de porcelana, usar bolas de diferentes tamaños, aumenta los puntos de contacto entre las bolas, mejorando la eficiencia del molino. El tamaño del molino, está dado por la cantidad de esmalte que se vaya a moler. La cantidad de bolas deberá ocupar el 50 - 55 % del volumen total del molino, para obtener su máxima eficiencia. La experiencia ha determinado que el tamaño de las bolas deberá variar del 1" de diámetro a 2.5". Con el uso constante es obvio que las bolas se van desgastando, y hay necesidad de reponerlas por nuevas, como dato aproximado se tienen que agregar 5 a 10 Kgs. de bolas por cada 1000 Kgs. de frita molida.

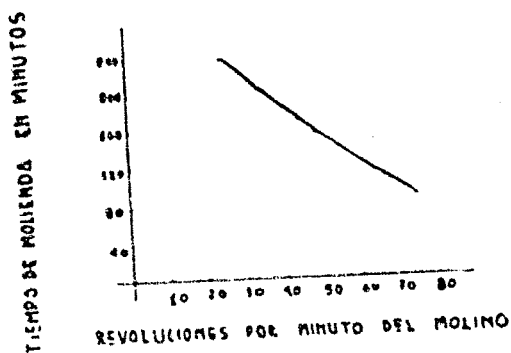
Así que tenemos que los molinos que se van a usar deben tener las siguientes características:

MOLINO		
No.	1	2
Diám. Interior	42 Pulgadas	36 Pulgadas
Long. ..	48 ..	48 ..
Volumen	27 Lt3	18 Lt3
Volumen	200 galones	120 galones
Capacidad	544 lbs.	360 lbs.
R. P. M.	25	26
H. P. al arrancar	6	5
H. P. en marcha	4	3

Carga de bolas	1300 lbs.	850 lbs.
Carga de bolas	1300 lbs.	850 lbs.

Esmalte usado	Azul Negro (base))	Blanco (cubierta)
---------------	--------------------	-------------------

Los fabricantes de estos molinos, han tomado en cuenta la mayor eficiencia en la molienda, para fijar las R.P.M. que debe tener cada molino, sin embargo en la gráfica se puede apreciar la variación del tiempo de molienda al variar el número de R.P.M.



La duración de la molienda de 3 1/2 a 4 horas 1 carga, después de las cuales se extrae una muestra y se hacen las siguientes pruebas para ver si fué buena la molienda.

FINURA. — La prueba de finura se tiene pesando 100 gms. de la muestra, los cuales se colocan en un cedazo de 200 mallas, se lava y se deja secar, luego se sacude el cedazo hasta que ya no pase material. Se pesa el residuo obteniéndose así el % de residuo.

FINURA PARA ESMALTES BASE. — 8 a 10%.

FINURA PARA ESMALTES CUBIERTA. — 5 a 7% de residuo.

PESO ESPECIFICO. - Esmalte Base. — 1.62 a 1.66 gms. 1 c.c.

PESO ESPECIFICO ESMALTE CUBIERTA. — 1.85 a 1.88 gms. 1 c. c.

SEPARACION DE TAMAÑOS. — Los esmaltes, después de molidos se les debe eliminar las partículas grandes que pueden haber quedado, porque podrían ocasionar que se tapen las espumas de las pistolas de aire, o formar elevaciones e irregularidades en la superficie esmaltada. El tipo de CERNIDOR adoptado y generalmente usado en esta industria es el ROTATORIO. El esmalte se alimenta a un

embudo, en la parte superior de una flecha, a una especie de cilindro de malla con terminación en cono. La fuerza centrífuga manda el esmalte a través de la malla, lo que no pasa la malla cae al fondo del cono, de donde se saca con todo y cono, haciendo esto un método de limpieza muy fácil y eficiente. Se fabrica en 2 tamaños el STANDARD que tiene una capacidad de 2649.5 Lts. 1 hora y el JUNIOR con 1324.75 Lts. 1 hora. En la planta en proyecto se usarán 2 cernidores rotoatorios del tamaño JUNIOR, que constan de un cedazo de 60 mallas, en su parte superior llevan un motor de 1.2 H. P., que va sujeto al resto del aparato mediante un tripié, una flecha acoplada al motor se encarga de dar el movimiento a el cilindro y al cono colocados en su extremidad.

ALMACENAMIENTO DE ESMALTE. — Se necesitarán 2 tanques de lámina de acero, forrados interiormente con tabique de porcelana, cada uno tiene un agitador de aspas movido por motor eléctrico, sus tapas permiten un cierre casi hermético, y en su parte inferior tienen una válvula de salida de 2" especial para esmalte vítreo. Estos tanques con su agitador son hechos por la INTERNATIONAL MIXING CO. Este tipo de tanques permite conservar el esmalte limpio y en buenas condiciones de suspensión para ser aplicado. Las especificaciones de los dichos tanques están dadas a continuación:

Tanque N/	1	2
Diámetro interior	58"	58"
Altura	58"	Tipo agitación
Esmalte	Blanco	Base
Capacidad	2.500 Lts.	2.500 Lts.
Motor del agitador	2 H. P.	2 H. P.
Tipo del agitador	Aspas	Aspas
Ancho aspas	2"	2"
Largo aspas	46"	46"
Diámetro flecha	1.5"	1.5"
Largo flecha	50"	50"

PICKLING. — Se utilizarán 7 tanques para hacer la limpieza de las láminas, cada uno teniendo su función específica, a saber:
TANQUE No. 1. — (DESENGRASADOR). — Se ha perfeccionado bastante la técnica de desengrasar láminas, pues antes se usaba NaOH solamente y hoy tenemos varios tipos de desengrasadores, el que vamos a usar es éste:

NaOH	— 50 %
Na ₂ CO ₃	— 25 ..
Na ₃ PO ₄	— 25 ..

en una concentración de 3 a 4% y a una temperatura constante de operación de 200°F. Los objetos se colocan en canastas de Monel sostenidas por una polea diferencial y se sumergirán a la solución de 10 a 15 minutos.

La solución se va debilitando con el lavado de las piezas y hay necesidad de titularla, para añadir la cantidad de desengrasado que sea necesaria, esto se hará cuando menos 2 veces por día.

TANQUE No. 2.—(DESENGRASADOR)—Este se utilizará para darle un segundo baño a la lámina, siguiendo el mismo procedimiento, aquí la concentración de desengrasante es menos pues es de 1.5 a 2%.

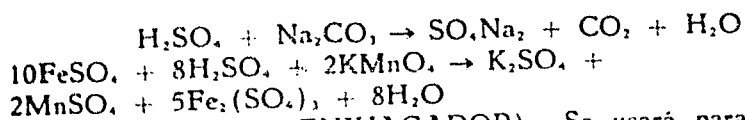
Esta solución resiste hasta que han pasado 2.10 m, de lámina por 1 litro de solución.

TANQUE No. 3.—(ENJUAGADOR)—En este tanque se enjuagan los objetos desengrasados, utilizando agua a la temp. de 200°F. consta además de una tubería de agua, de modo que ésta salga formando una cortina, la cual desprenderá objetos extraños adheridos. Con 3 ó 4 inmersiones se obtiene un buen enjuague.

TANQUE No. 4.—(ENJUAGADOR)—En este tanque se hará un segundo enjuague pero con agua fría igualmente circulante.

TANQUE No. 5.—(DESOXIDANTE)—Este tanque contiene una solución sulfúrica a una concentración de 6 a 8% y una temperatura de 150 F la duración del baño será de 10 a 15 minutos al cabo de los cuales el metal saldrá, sin trazas de óxido, como nuevo. También es necesario titular la solución 2 veces por día con CO₂Na₂, además se debe controlar el contenido de FeSO₄, titulado con KMnO₄, ya que cuando la concentración de FeSO₄, pase del 5% la solución se debe cambiar.

REACCIONES



TANQUE No. 6.—(ENJUAGADOR)—Se usará para enjuagar los objetos desoxidados, utilizando agua fría y con el mismo sistema de los otros tanques enjuagadores.

TANQUE No. 7.—NEUTRALIZADOR.—La solución de este tanque contiene CO_2 , Na_2 , en una concentración de 0.4% y $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, a una concentración de 0.1% y a una temperatura de 200°F /. Aquí se neutralizan las porciones de ácido que aún quedasen en los objetos, es suficiente un baño de 3 a 5 minutos. Esta solución debe cambiarse diariamente.

Las medidas de los tanques serán de $3 \times 1.5 \times 2$ mts. y se instalarán en un cuarto de $30 \times 6.5 \times 5$ mts. Los tanques Nos. 1, 2 y 7 serán de lámina de fierro de 7.14 mm. y con serpentín de tubo de 38.1 mm. de diámetro, a la entrada del cual se instalarán válvulas de diafragma accionada automáticamente por termómetros de aire.

El tanque N/3 será igual a los anteriores pero lleva además el sistema de tubería para formar la regadera de agua. El tanque No. 4 no lleva serpentines pero sí lleva la tubería para formar la cortin de H_2O .

Los tanques Nos. 5 y 6 serán de madera de doble pared y fondo con una lámina intermedia de plomo de 4.76 mm., y con serpentín de plomo. El tanque No. 5, lleva además el sistema de control de temperatura y el 6 solamente con el sistema de tubería para formar la cortina de H_2O .

CALCULO DE LOS SERPENTINES SERPENTINES PARA LOS TANQUES DESENGRASADORES Y NEUTRALIZADOR

Cada tanque tendrá una masa de 6.75 m³

Masa total: $6750 \times 3 = 20,250$ lbs.

Dsol desengrasadora = 1.0009

Csol neutralizante = 1.0

Csol desengrasadora = 0.997

Dsol neutralizante = 0.993

Así que se toma para ambas soluciones

Densidad = 1.0

Calor específico = 1.0

$Q = MC\Delta T$.

$M = 20250 \times 2.2 = 44,550$ lbs.

La temperatura inicial del líquido será de 70°F y se debe calentar hasta 200°F . Luego el calor necesario para calentarlos es:

$$Q = 44,550 \times 1.0 \times (200 - 70) = 5,791,000 \text{ BTU.}$$

Los tanques deberán estar a su temperatura máxima de operación en 2 horas.

Así que:

$$\frac{5,791,000}{2} = 2,895,750 \text{ BTU 1 hora.}$$

Para obtener el área de calentamiento necesaria se emplea la siguiente fórmula:

$$Q = UA\Delta tm \qquad A = \frac{Q}{U\Delta tm}$$

$$\Delta tm = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}}$$

Usando vapor de 100 lbs/pulg.² su temperatura será de 328°F.

$$\Delta tm = \frac{(328-70) - (328-200)}{\ln \frac{328-70}{328-200}} = \frac{130}{\ln 2.01} = 188^\circ F$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{L}{K} + \frac{1}{h_2}}$$

Por apreciación $h_1 = 160$
 $L = 0.145$ pulg. $K = 28$ $L = 0.0121$ ft.

$$h_2 = 0.725 \sqrt{\frac{K^2 p^2 g \lambda}{D^2 \Delta t}}$$

$k = 0.395$
 $p = 59.5$
 $g = 4.18 \times 10^4$
 $\lambda = 890$

$$D = \frac{1.9}{12} = 0.158$$

$$\omega = 0.1 \times 2.42 = 0.242$$

$$\Delta t = 328 - 228 = 100^\circ F$$

$$h_2 = 0.725 \sqrt{\frac{(0.395)^2 (59.5)^2 (4.18 \times 10^4) (890)}{(0.158) (0.242) 100}}$$

$$h_2 = 2114$$

Por lo tanto

$$U = \frac{1}{\frac{1}{160} + \frac{0.0121}{28} + \frac{1}{2114}} = \frac{1}{0.00806} = 124 \text{ BTU } 1 \text{ ft}^2 \text{ } ^\circ F \text{ h}$$

Así tenemos que:

$$A = \frac{2895 \ 750}{124 \times 188} = 124.2 \text{ ft}^2.$$

Por lo tanto tendremos una área de calentamiento 1 tanque

$$\frac{124.2}{3} = 41.4 \text{ ft}^2 \text{ 1 tanque.}$$

Como los tanques tienen 3 mts. de largo, la longitud conveniente de los tubos será de 2.60 mts.

El diámetro es de 1.5" = 38.1 mm.

$41.4 \times 2.372 = 98.2 \text{ ft}$ de tubo se necesitan por tanque o sean 29.9 mts.

$$\text{No. de tubos} = \frac{29.9}{2.6} = 11.43$$

Se necesitan 12 tubos por tanque.

SERPENTIN PARA EL TANQUE No. 3 (ENJUAGADOR).

Densidad del $\text{H}_2\text{O} = 1.00$ $C_e = 1.00$

Masa = 6750 lbs. = 6750 Kgs.

$Q = 6750 \times 2.2 (200-70) = 1\,930\,000 \text{ BTU.}$

$$\frac{1930000}{2} = 965\,000 \text{ BTU 1 hora.}$$

$$Q = UA\Delta t_m \quad A = \frac{Q}{U\Delta t_m}$$

Se usa vapor a 100 lbs./pulg.² a 238°F.

$\Delta t_m = 188^\circ\text{F}$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{L}{K} + \frac{1}{h_2}}$$

$h_1 = 160$ $L = 0.0121 \text{ ft}$ $k = 28$ $h_2 = 2114$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{160} + \frac{0.0121}{28} + \frac{1}{2114}} = 124 \text{ BTU 1 ft}^2 \times ^\circ\text{F} \times \text{h.}$$

$$A = \frac{965\,000}{124 \times 188} = 41.4 \text{ ft}^2$$

Largo de los tubos 2.60 mts.

diámetro de los tubos 1.5 pulgadas.

$41.4 \times 2.372 = 98.2 \text{ ft} = 29.9 \text{ mts. de tubo}$

$$\text{No. de tubos} = \frac{29.9}{2.6} = 11.43$$

Total de tubos 12

SERPENTIN PARA EL TANQUE DE ACIDO:

Densidad de la solución ácida = 0.995

Calor específico de solución ácida = 0.968

Masa del liquido 6.75 m³. Diámetro del tubo 1.5".

Por lo tanto son 6750 lbs. x 0.995 = 6750 Kgs., ya que tomaremos D = 1.0 y Ce = 1.0.

Calor necesario para calentar la solución, teniendo una temperatura inicial de 70°F.

$$Q = 6750 \times 2.2 \times 1.0 (150 - 70) = 1.188\ 000\ \text{BTU.}$$

Como la solución debe estar a su temperatura de operación en un máximo de 2 horas tendremos:

$$\frac{1\ 188\ 000}{2} = 594\ 000\ \text{BTU 1 hora.}$$

Ahora:

$$A = \frac{Q}{U \Delta tm}$$

Vapor a 100 lbs./pul². temperatura 328°F.

$$\Delta tm = \frac{(328 - 70) - (328 - 150)}{\ln \frac{328 - 70}{328 - 150}} = \frac{80}{\ln 1.45} = 216^\circ\text{F}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{L}{K} + \frac{1}{h_2}}$$

$$h_1 = 140 \quad K = 20 \quad L = \frac{0.138}{12} = 0.0114\ \text{ft.}$$

$$h_2 = 0.725 \sqrt{\frac{K^3 p^2 g \lambda}{D \omega \Delta t}}$$

$$k = 0.395 \quad p = 59.5 \quad g = 4.18 \times 10^4$$

$$\lambda = 890 \quad \omega = 0.1 \times 2.42 = 0.242$$

$$D = \frac{1.776}{12} = 0.148\ \text{ft.}$$

$$\Delta t = 328 - 228 = 100^\circ\text{F}$$

$$h_2 = 0.725 \sqrt{\frac{(0.395)^3 (59.5)^2 (4.18 \times 10^4) (890)}{0.148 \times 0.242 \times 100}} = 2170$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{140} + \frac{0.0114}{20} + \frac{1}{2170}} = \frac{1}{0.00818} = 122$$

Así que tenemos:

$$A = \frac{594\,000}{122 \times 216} = 22.6 \text{ ft.}$$

Teniendo el diámetro del tubo de 1.5"

$$\text{Longitud del tubo} = \frac{22.6 \times 12}{1.5 \times 3.14} = 58.2 \text{ ft.}$$

O sean 17.8 mts. de tubo de Plomo.

Para calentar todos estos tanques y proveer vapor se necesitará una caldera, la cual se procede a calcular.

CALCULO DE LA CALDERA.—Debemos saber el calor total necesario para los 5 tanques, así que tenemos:

Q para los desengrasadores y neutralizador	2.895.000 BTU 1 hora
Q para tanque enjuagador	965.000 BTU 1 hora
Q para tanque desoxidante	594.000 BTU 1 hora

T O T A L 4.454.000 BTU 1 hora

Calor latente del vapor: 890 BTU 1 libra.

Por lo tanto:

$$\frac{4\,454\,000}{890} = 5004 \text{ lbs. de vapor 1 hora.}$$

O sean $\frac{5004}{2.2} = 2\,274.55$ Kgs. de vapor 1 hora.

$$\text{H. P.} = \frac{W_s (h - h_s)}{970.3 \times 34.5}$$

W_s = Peso del vapor producido por hora, en libras.

h = Entalpia de una libra de vapor

h_s = Entalpia de una libra de H_2O .

$$\text{H. P.} = \frac{5004 (11877.2 - 298.6)}{970.3 \times 34.5} = 132.8$$

lo que significa que necesitamos una caldera de 150 H. P.

El departamento de (PICKLING) cuenta también con 5 canastas de MONEL que servirán para las inmersiones de los objetos.

Las canastas se suspenderán por medio de poleas diferenciales, de las cuales se tendrán 2 y se desplazan en carretillas sobre un monoriel que se halla sujeto al techo y que tendrá una longitud de 50 mts. sobre todos los tanques de limpieza hasta el secador para láminas

tratadas, ya que una vez que los artículos han salido del último tanque, pasarán a dicho secador, a la salida del cual se encuentran en condiciones de que se les aplique la primera capa de esmalte. El secador tendrá las siguientes especificaciones:

Alto: 1.5 mts. Ancho: 1.5 mts.
 Largo: 2.5 mts.

Se construirá la lámina de 4.76 mm. de gruesa; con doble forro, relleno con material aislante. Tendrá la forma de tanque, con el objeto de que la carga de las piezas se efectúe por la parte superior, ya que se introducirán en una canasta, cuyas dimensiones son:

ALTO: 1.25 mts.
 LARGO: 2.00 mts.
 ANCHO: 1.00 mts.

Lo que quiere decir que será un secador adiabático, tipo estufa y de proceso intermitente. El secado se hará con aire caliente, calentado con los gases de chimenea del horno de fusión o de esmaltado.

Por lo tanto:

Volumen del secador: 5.625 m³.

Area de la sección recta: 2.25 m².

Se secarán 2640 lbs. de material 1 hora.

Con una humedad inicial de 3% ó sea $W_0 = 0.03$
 y una humedad final de 0% ó sea $W_1 = 0.0$

El tiempo de secado será de 8 minutos teniendo una velocidad de aire de 1 ft. 1 seg. y a las siguientes condiciones iniciales:

Temp. de Bulbo seco 170-F.

Temp. de Bulbo húmedo 80-F.

Se tiene una humedad de $H_1 = 0.005$ lbs. agua 1 lb. aire seco.

CALCULO DEL SECADOR:

Masa velocidad del aire $g = \frac{1 \times 60}{15.8} = 3.8$ lbs. 1 min. ft².

Peso del material sólido seco.

$$S = \frac{2640}{60} - \frac{2640 \times 0.03}{60} = 42.8 \text{ lbs. 1 min.}$$

Por lo tanto tendremos en el secador una entrada de sólidos como se indica:

$$R = S \times t = 42.8 \times 8 = 354.4 \text{ lbs.}$$

Ahora veremos el volumen que ocupa el material en el secador.

Peso aparente del material. 5 lbs. 1 ft³.

o sea tendrá un volumen $V = \frac{352.4}{5} = 70.48 \text{ ft}^3$.

como el volumen total del secador es de 200 ft³. tendremos que:

$$\frac{70.48}{200} = 0.3524$$

el sólido ocupa el 35% del volumen del secador.

Así que tendremos una área libre por donde pasa el aire de:
 $2.25 \times 10.76 (1-0.35) = 15.73 \text{ ft}^2$.

Para sacar la cantidad de aire tendremos:
 $G = 15.73 \times 3.8 = 59.77 \text{ lbs. 1 min. de aire.}$

Para conocer la humedad final del aire utilizamos la fórmula:

$$G = \frac{S (W_o - W_i)}{H_i - H_e} \text{, de donde}$$

$$H_e = \frac{S (W_o - W_i)}{G} + H_o = \frac{42.8 \times 0.03}{59.77} + 0.005$$

Humedad final del aire = 0.026 lbs. H₂O/lbs. de aire seco.

CANTIDAD DE CALOR NECESARIO:

a).—Calor necesario para calentar el aire.

$$q_1 = G \times s \times (T_1 - T_2)$$

s = calor húmedo del aire. BTU/°F. lb de aire seco.

El material entra al secador a 140°F.

Temperatura ambiente 70 F.

$$q_1 = 59.77 \times 0.25 (170-70) = 1434.48 \text{ BTU.}$$

b).—Calor necesario para calentar el material:

$$q_2 = S \times C_e \times (170-140)$$

$$q_2 = 42.8 \times 0.08 \times 30 = 102.4 \text{ BTU.}$$

c).—Calor necesario para calentar y evaporar el agua:

q₃ = calor sensible + calor latente.

$$q_3 = 42.8 \times 0.03 \times 1.0 \times (170-140) + 42.8 \times 0.03 \times 1002$$

$$q_3 = 1287 \text{ BTU} \quad \text{CALOR TOTAL} \quad Q_t = 2823.8 \text{ BTU.}$$

Los artículos una vez secos pasan a que se les aplique el esmalte al departamento para este efecto. Se les aplica de dos maneras: por inmersión (el base) y con pistola de aire (el de cubierta). El equipo necesario se colocará en una pieza de 16 x 13 mts.

Empezando por orden, primero tendremos el tanque de inmersión que tendrá 2.5 x 1.10 x 0.30 mts., hecho de lámina de ACERO

INOXIDABLE de 3.17 mm. Va colocado en soportes de madera. Sobre este tanque de inmersión a más o menos a un metro de altura del fondo de éste, se pondrá una barra de fierro con ganchos para colgar los objetos después de emergidos, para que escurran al tanque y no se desperdicie el esmalte.

Después se construirán 5 casetas para pintura del tipo estacionario, de lámina de fierro de 4.76 mm. En la parte superior tienen su ventilador que comunica directamente a la chimenea de cada caseta, y es movido por un motor de 1 H.P. En el interior de las casetas van mesas giratorias para el buen aplicado del esmalte.

Se necesitarán 5 pistolas de aire, de material inoxidable, con regulador de cantidad de aire y de fluido, además un regulador para abrir o cerrar el abanico de la "ATOMIZACION" en la aplicación del esmalte.

También se necesitan 2 compresoras de cualquier tipo comercial dotadas de 2 tanques de almacenamiento y válvulas de seguridad. Que tienen las siguientes especificaciones:

MARCA	ALUP.
Presión Capacidad	215 Psi.
Capacidad tanque	750 lts.
Desplazamiento	33.5 ft ³ /min.
Motor	10 H. P.
R. P. M. de la flecha	785.

Además para el aire de las compresoras se utilizarán 4 filtros de aire, ya que se necesita un aire puro libre de sustancias extrañas y polvos. Es decir, 2 filtros por compresora, para cuando uno queda bien sucio se ponga en línea el otro, mientras se limpia aquél.

CALCULO DEL SECADOR:

Una vez "pintadas" las láminas se deben secar, para el efecto se tendrá un secador en forma de túnel, construido de lámina de 4.76 mm. con doble forro y rellena por material aislante. Será un secador adiabático y de proceso intermitente calentado el aire con los gases de chimenea del horno de fusión. La producción será de un número de piezas de superficie aproximada de 64.56 ft². con un peso promedio de 154 lbs. por cada 4 minutos o sea 2310 lbs. de material húmedo por hora, lo que se necesita para satisfacer las necesidades del horno de

fusión. Para meter el material al secador se utilizarán jaulas con DIVISIONES que tienen las siguientes medidas:

ALTO	1.40 M.
ANCHO	0.80 M.
LARGO	1.50 M.

cada jaula carga 140 lbs. de material ocupando un volumen aproximado de 150 ft³. Por lo tanto el secador deberá tener las dimensiones siguientes:

ALTO	1.70 M.
ANCHO	1.20 M.
LARGO	8.50 M.

Volumen = 17.34 mts³. = 620 ft³.

Area transversal = 2.04 mt². = 21.95 ft².

En un secador parecido al que se proyecta se lograrán datos experimentales para construir la gráfica siguiente que nos da la velocidad del aire y tiempo de secado.

Masa velocidad del aire = g.

$$g = \frac{1 \times 60}{15.8} = 3.8 \text{ lbs./min. ft}^2.$$

Condiciones iniciales del aire:

Temp. Bulbo seco 170°F.

Temp. Bulbo húmedo 80°F.

Humedad H₂ = 0.005 lbs. H₂O/lbs. aire seco.

Humedad del sólido a la entrada: 4% W₀ = 0.04

Humedad del sólido a la salida: 0% W₁ = 0.0

Peso del material sólido seco por minuto = S.

$$S = \frac{2310}{60} - \frac{2310 \times 0.04}{60} = 37 \text{ lbs./min.}$$

Por lo tanto tendremos en el secador una entrada de material sólido seco = R.

$$R = S \times 18 = 37 \times 18 = 666 \text{ lbs.}$$

El peso aparente del material es de 2.8 lbs/ft³.

Por lo tanto el volumen que ocupa el material en el secador es de:

$$V = \frac{666}{2.8} = 237.6 \text{ ft}^3.$$

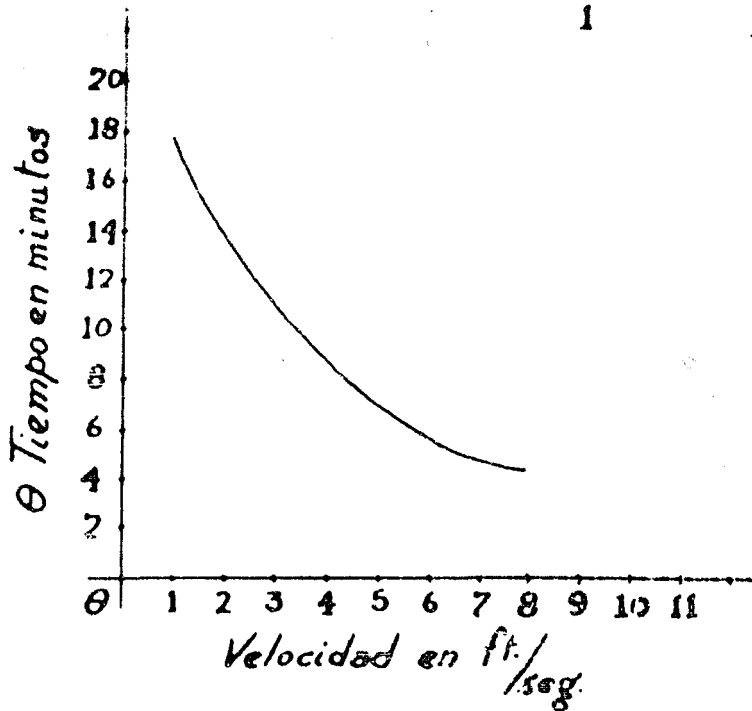
El secador tiene un volumen total de 620 ft³. ó sea que el material ocupa:

Gráfica

Tiempo de secado - 18 minutos
Velocidad del aire - 1 ft/seg

Valores

V ft/seg	θ min
8	6
7	8
3	13
1	18



$$\frac{237.6}{620} = 0.384. \quad \text{el } 38.4\% \text{ del volumen del secador.}$$

Así que tendremos una área libre por donde pasa el aire de:

$$21.95 \times (1 - 0.384) = 13.52 \text{ ft}^2.$$

Para sacar la cantidad de aire necesaria tendremos:

$$G = A \times g = 13.52 \times 3.8$$

$$G = 51.37 \text{ lbs. 1 min. de aire.}$$

Humedad final del aire:

$$H_1 = \frac{S (W_2 - W_1)}{G} + H_0 = \frac{37 \times 0.04}{51.37} + 0.005$$

$$H_1 = 0.0339 \text{ lbs H}_2\text{O/lbs. aire seco.}$$

CANTIDAD DE CALOR NECESARIO:

a).—Calor necesario para calentar el aire:

$$q_1 = 51.37 \times 0.24 (170-70) = 1232.88 \text{ BTU.}$$

teniendo que el material entra al secador a 70°F. y hay una temperatura ambiente de 70°F.

b).—Calor necesario para calentar el material:

$$q_2 = 37 \times 0.08 \times (170-70) = 296 \text{ BTU.}$$

c).—Calor necesario para calentar y evaporar el agua:

$$q_3 = \text{calor sensible} + \text{calor latente}$$

$$q_3 = 37.04 \times 1.0 (170-70) + 1002 \times 37 \times 0.04$$

$$q_3 = 1631 \text{ BTU.}$$

Por lo tanto, calor total = 3159.8 BTU.

CANTIDAD TOTAL DE AIRE PARA LOS SECADORES:

$$51.37 + 59.77 = 111.14 \text{ lbs. de aire seco 1 min.}$$

Pero como lo tenemos con humedad; 0.005, se tiene que el volumen húmedo es:

$$V_h = V_s \frac{T}{T_w}$$

V_s = Volumen saturado en su punto de rocío.

T = Temperatura absoluta del aire.

T_w = Temperatura absoluta del aire en su punto de rocío.

Por la carta de humedad tenemos:

$$V_s = 12.8 \text{ ft}^3, 1 \text{ lb.}$$

$$T_w = 44^\circ\text{F.}$$

$$V_h = 12.8 \frac{(170 + 460)}{44 + 460} = 14.7 \text{ ft}^3. \text{ 1 lb.}$$

Así tenemos: Volumen total del aire húmedo:

$$V_t = 111.14 \times 14.7 = 1639.75 \text{ ft}^3. \text{ 1 min.}$$

Se necesitará un ventilador que dé 1700 ft³. 1 min.

Para la carga y descarga del secador se utilizará un sistema continuo, consistente en un transportador de cadena movido por un motor de 2 H.P. con su reductor de velocidad.

Una vez que las láminas esmaltadas están secas pasan al horno de fusión. Este es del tipo de MUFLA construido sobre cimentación de concreto, y revestido con lámina de acero de 6.35 mm. que va reforzada con estructura de acero para que conserve su forma y dimensiones. Dentro va forrado con ladrillo refractario y la mufla será hecha con tabiques de magnesita, y tendrá 4 mts. de largo, 2 mts. de ancho y 2 mts. de alto. El horno en total tendrá las siguientes dimensiones:

ALTO: 4 mts.

LARGO: 5.20 mts.

ANCHO: 4.80 mts.

Cuenta con 2 quemadores de petróleo para su caldeo. Los gases calientes pasan alrededor de la mufla y van a través del recuperador, a salir a la chimenea, los quemadores van en la parte posterior del horno. La cantidad de aire que entra a los quemadores, así como el combustible, está controlada por una válvula automática accionada por un pirómetro eléctrico. Para mandar el petróleo a los quemadores se utilizarán 2 bombas de engranes, accionadas por sendos motores de 1/3 de H.P., de la misma manera se utilizará un ventilador para suministrar el aire necesario para la combustión; éste se calculará posteriormente.

En la parte anterior del horno se encontrará el dispositivo de carga y descarga de las piezas, el cual consiste en 2 rieles fijos, sobre los que se desplazan otros móviles en dirección al horno; penetran en él y por medio de un cilindro de aire se pueden subir o bajar para depositar o recoger las piezas. Se tienen 2 rieles con objeto de que mientras una carga se está horneando, el otro riel se está cargando.

La puerta del horno se acciona eléctricamente con un motor y su reductor de velocidad y provistos con SWITCHES LIMITES, cuyas especificaciones se encuentran en los catálogos de las casas fabricantes, además en caso de que falte la corriente eléctrica, la puerta se

puede subir o bajar por medio de un malacate mecánico que se tiene para el efecto.

El tiempo de permanencia de las piezas dentro del horno es de vital importancia, por lo tanto se colocará en el mismo tablero de los controles del horno un contador de tiempo eléctrico.

Con una bomba centrífuga se succionará el petróleo del tanque general de almacenamiento, para mandarse a un tanque pequeño, elevado, de donde pueden succionar indistintamente cualesquiera de las 2 bombas de engranes, citadas.

En los catálogos de las casas fabricantes de este tipo de hornos de fusión para esmalte vitreo, se encuentran especificados todos los detalles de su construcción. El consumo de combustible de estos hornos a 1540° — 1580°F. varia de 40 a 75 lbs. 1 hora.

Ahora bien, como para calentar el aire para los secadores que se utilizarán, se va a aprovechar el calor de los gases de chimenea del horno de fusión, es necesario calcular un recuperador que se instalará en la base de la chimenea del horno.

CALCULO DEL RECUPERADOR:

La cantidad de aire necesaria para el secado es de 1639.75 ft³. 1 min. o sean un ventilador que de 1700 ft³. 1 min. que corresponden

$$a \frac{1700}{15 \text{ s}} = 108 \text{ lbs. de aire por minuto.}$$

DATOS:

Temperatura inicial del aire	70°F.
Temperatura final del aire	180°F.
Temperatura inicial de los gases	1120°F.
Cantidad de aire por calentar	108 lbs.

ANALISIS DEL COMBUSTIBLE:

Carbón	85.05 %
Hidrógeno	12.2 ..
Azufre	2.68 ..
Cenizas	0.07 ..
	<hr/>
	100.00 %

Poder calorífico: 10.450 cal.
 Densidad: 0.985 gms. 1 cm³.
 Consumo de combustible = 96.2 lbs. 1 hora.

Análisis de los Gases de Combustión:

CO ₂	11.9	%
CO	0.8	..
O ₂	4.5	..
N ₂	82.8	..
	100.00	%

BASE: 100 LBS. DE COMBUSTIBLE.

Balance de materiales:

$$C : 100 \times \frac{0.8505}{12} = 7.1 \text{ lb. - átomos.}$$

es el carbón que va en los gases.

Ahora para saber la cantidad de gases secos tendremos:

$$C \text{ en CO}_2 = 11.9$$

$$C \text{ en CO} = 0.8$$

$$12.7 \text{ lbs. - átomos}$$

Por lo tanto:

$$\text{Cantidad de gases secos:} = 100 \times \frac{7.1}{12.7} = 56 \text{ mols de gases secos.}$$

Total de productos gaseosos secos:

CO ₂	:	0.119 x 56 x 44 =	291.0 lbs.
CO	:	0.008 x 56 x 28 =	12.6 lbs.
N ₂	:	0.828 x 56 x 28 =	1300.0 lbs.
O ₂	:	0.045 x 56 x 32 =	80.5 lbs.

$$1684.1 \text{ lbs. de gases se-}$$

cos por 100 lbs. de comb.

Como se consumen 96.2 lbs. por hora, tendremos:

$$1684.1 \times 0.962 = 1620.1 \text{ lbs. de gases secos 1 hora.}$$

Ahora para saber la cantidad de aire, tendremos:

$$N_2 : 0.828 \times 56 = 46.36 \text{ mols de nitrógeno.}$$

$$\text{o sea: } 46.36 \times \frac{100}{79} = 58.5 \text{ mols de aire}$$

Por ciento de exceso de aire:

O_2 : (del aire) $82.8 \times 21/79 = 22$ mols de O_2 del aire (total).
 Oxígeno presente en los gases de combustión — 4.5 mols.
 Oxígeno necesario para la combustión del CO — $0.8/2 = 0.4$ mols.

$$\% \text{ exceso} = 100 \times \frac{4.1}{22.0 - 4.1} = 23\%$$

Aire para combustión:

$$58.5 \times 29 = 1695.5 \text{ lbs. de aire/100 lbs. de combustible.}$$

Lo que quiere decir que se necesitarán:

$$1696.5 \times 0.962 = 1620 \text{ lbs. de aire 1 hora.}$$

O sean:

$$1620 \times 15.8 = 26.600 \text{ ft}^3 \text{ aire 1 hora.}$$

Cantidad de gases húmedos:

Humedad del aire:

$$58.5 \times 29 \times 0.005 = 10.1 \text{ lbs.}$$

Humedad de los gases:

$$10.1 + 6.1 \times 10 = 119.8 \text{ lbs.}$$

Por lo tanto:

$$\text{Cantidad de gases húmedos} = 1620.1 + 119.8 = 1739.9 \text{ lbs. 1 hora.}$$

Balance de calor para el recuperador.

En el recuperador las pérdidas por radiación son de un 20%.

Así que tenemos:

Calor cedido por los gases = Calor aprovechado por el aire + calor perdido por radiación.

$$Q_a: \text{ Libras de aire por hora} = 108 \times 60 = 6480$$

$$\text{Calor específico del aire} = 0.241$$

$$\Delta t = 180 - 70 = 110$$

$$Q_a = 6480 \times 0.241 \times 110 = 171\,776 \text{ BTU 1 hora.}$$

Q_p : Calor perdido por radiación.

$$Q_p = 171\,776 \times 0.20 = 34\,355 \text{ BTU 1 hora.}$$

Por lo tanto: Calor cedido por los gases

$$Q_t = 171\,776 + 34\,355 = 206\,131 \text{ BTU 1 hora.}$$

Ahora para saber la temperatura final de los gases en el intercambio de calor en el recuperador, tenemos:

$$Q = M_1 \times C_p \times (t_1 - t_2)$$

Siendo M_1 la masa de los gases húmedos; C_p el calor específico de los gases y t_1 la temperatura inicial de los gases.

$$t_2 = t_1 - \frac{Q}{M_1 \times C_p}$$

$$C_p \text{ (CO}_2\text{)} \quad \text{— 0.29}$$

$$C_p \text{ (CO)} \quad \text{— 0.27}$$

$$\begin{aligned} C_p \text{ (N}_2\text{)} &= 0.27 \\ C_p \text{ (O}_2\text{)} &= 0.26 \\ C_p \text{ (H}_2\text{O)} &= 0.52 \end{aligned}$$

Ahora masa por calor específico para los gases:

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 &= 291.0 \times 0.29 = 84.5 \\ \text{CO} &= 12.6 \times 0.27 = 3.4 \\ \text{N}_2 &= 1300.0 \times 0.27 = 350.0 \\ \text{O}_2 &= 80.5 \times 0.26 = 21.0 \\ \text{H}_2\text{O} &= 119.8 \times 0.52 = 61.2 \end{aligned}$$

$$M \times C_p \text{ (TOTAL)} = 521.1$$

Por lo tanto:

$$t_2 = 1120 - \frac{206\,131}{521.1} = 724.4^\circ\text{F.}$$

Ahora ya teniendo todos estos datos podemos calcular el área del recuperador según la fórmula:

$$Q = U A \Delta t$$

de donde:

$$A = \frac{Q}{U \Delta t}$$

Para recuperadores como el que se va a instalar se tienen las siguientes condiciones de operación:

Velocidad de los gases — 5 ft. 1 seg.

Velocidad del aire — 14 ft. 1 seg.

Diámetro de los tubos — 4 a 10 pulgadas.

En este caso se usarán tubos de 6 pulgadas de diámetro.

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{L}{k} + \frac{D_1}{h_2 D_2}}$$

$$D_1 = 6.065''$$

$$D_2 = 6.625''$$

$$L = 0.28'' = 0.023 \text{ ft.}$$

$$k = 28$$

$$h = \frac{16.6 C_p G^{0.8}}{D^{0.2}}$$

$$C_p = 0.32 \text{ BTU/lb. } ^\circ\text{F.}$$

$$G = 5 \times 0.1235 = 0.6175 \text{ lbs./seg. ft}^2.$$

$$D = 6.065$$

$$h_1 = \frac{16.6 \times 0.32 \times 0.678}{1.43} = 2.52$$

$$h_2 = \frac{0.031 C_p T^{0.7} G^{0.444}}{D^{0.722}}$$

$$C_p = 0.252 \text{ BTU/lb. } ^\circ\text{F.}$$

$$G = 14 \times 0.0808 = 1.13 \text{ lbs./seg. ft}^2.$$

$$D = 6.625 \text{ pulg.}$$

$$T = 440 + 460 = 900^\circ\text{R.}$$

$$h_2 = \frac{0.031 \times 0.252 \times 7.8 \times 22.7}{1.88} = 0.77$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{2.52} + 0.00082 + \frac{0.91}{0.77}} = \frac{1}{1.57} = 0.63$$

POR LO TANTO:

$$\Delta t = \frac{(T_1 - t_1) - (T_2 - t_2)}{\ln \frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}}$$

$$\Delta t = \frac{(1120 - 180) - (724 - 70)}{\ln \frac{940}{654}}$$

$$\Delta t = 780^\circ\text{F.}$$

ASI TENEMOS:

$$A = \frac{206 \ 131}{780 \times 0.63} = 419.5 \text{ ft}^2.$$

Que es el área total de calentamiento del recuperador.

CAPITULO VII.

BALANCE ECONOMICO

Este capítulo se compone de un estudio económico de la planta en proyecto, tomando en cuenta todos los factores de este orden que intervienen en él. Así que por lo tanto constará de las siguientes partes:

- a).—Costo del edificio y del equipo instalado.
- b).—Costos de la materia prima.
- c).—Costos de mano de obra y supervisión.
- d).—Cargos fijos.
- e).—Cargos varios.
- f).—Balance económico.

a).—COSTO DEL EDIFICIO Y EL EQUIPO.

Cinco tanques de lámina de fierro para el PICK-LING o lavado de las láminas a \$3,549.00 c/u.	\$ 17,745.00
Dos tanques de madera forrados de lámina de plomo a \$4,100.00 cada uno:	8,200.00
78 mts. de tubo de fierro de 1.5" de diámetro a \$11.20 el metro:	874.00
30 mts. de tubo de plomo de 1.5" de diámetro a \$2.00 el kilo:	360.00
Cinco controles de temperatura, de tipo neumático, con sus respectivas válvulas de diafragma, marca "FOXBORO", a \$410.00 cada uno:	2,050.00
Una caldera de 150 H.P. "BABCOCK & WILCOX" acuotubular	77,500.00
Equipo de agua. Consistente en un tanque elevado a 12 mts. de una capacidad de 8 mts. ³ y tubería para distribución:	25,200.00

Un secador tipo estufa, de proceso intermitente construido de lámina de fierro de 4.76 mm., de doble forro y con material aislante en el interior:	8,400.00
Cinco canastas de Monei para el PICKLING a \$5,600.00 cada una:	28,000.00
Un tanque de acero inoxidable para la aplicación del esmalte por inmersión:	1,400.00
Cinco casetas de pintura a \$1,820.00 cada una:	9,100.00
Un secador túnel, proceso intermitente construido con lámina de fierro, doble forro y material aislante en el interior	9,800.00
Sistema continuo de carga y descarga para el secador:	5,900.00
Seis pistolas con manguera a \$352.00 cada una:	2,112.00
Dos filtros de aire extras, marca "DEVILVIS", a . . . \$270.00 cada uno:	540.00
Dos compresoras marca "ALUP" a \$16,600.00 c/u.:	33,200.00
Un horno de fusión, con las dimensiones especificadas y marca "HUYCK CONSTRUCTION"	185,000.00
Unidad de carga y descarga del horno de fusión	17,000.00
Un contador de tiempo, eléctrico.	260.00
Dos bombas de engranes con su motor de 1/3 H. P. a \$870.00 cada una:	1,740.00
Una bomba centrífuga con motor de 1 H.P. marca "DE LAVAL"	1,880.00
Dos tanques de 1800 lts. de capacidad para almacenamiento de combustible a \$4,800.00 cada uno:	9,600.00
Un ventilador marca "CLARAGE" con una capacidad de 1700 ft. ³ . 1 min. para suministrar el aire necesario para el secador:	4,500.00
Un molino de bolas de porcelana de 360 lbs. de cap.:	12,500.00
Un molino de bolas de porcelana de 588 lbs. de cap.:	13,750.00
1500 Kgs. de bolas de porcelana a \$2.45 el kilo	3,675.00
Una báscula de 500 Kgs.:	850.00
Una báscula de 1 kilo:	120.00
Dos tanques agitadores marca INTERNATIONAL MIXING Co.", a \$4,320.00 cada uno:	8,640.00
2 cernidores rotatorios tamaño Junior marca ROTOS-PRAY MANUFACTURING Co." a \$4,500.00 c/u.:	9,000.00
Un molino de laboratorio marca McDANEL	2,300.00
Una balanza de precisión:	3,000.00
Reactivos, vidriera, etc.	1,000.00

Instalación eléctrica:	22.000.00
Taller mecánico y eléctrico:	16.000.00
Un recuperador:	12.000.00
Cimentación e instalación del equipo	76.000.00
Costo del terreno: Todo el equipo mencionado, las oficinas, bodegas, almacenes, patio, etc., se pueden distribuir en una área de 1500 m ² . a \$10.00 m ² .	15.000.00
Valor de las construcción:	200.000.00
TOTAL	\$ 843.196.00

b).—COSTO DE LA MATERIA PRIMA

Esto es tomando en cuenta lo que se consume en un día:

600 mts'. de lámina. para la variedad de piezas. a ...	\$ 6.750.00
\$11.25 mt. ² :	90.00
Desengrasante	12.00
H ₂ SO ₄	42.00
Neutralizante	321.00
Esmaltes base	458.00
Esmaltes de cubierta	10.50
Ingredientes	154.00
Combustible	35.00
Energía Eléctrica	
TOTAL :	\$ 7.872.50

c).—COSTO DE LA MANO DE OBRA

Esto también tomando como base un día de trabajo:

Un Ingeniero Químico responsable:	\$ 100.00
Un Químico para Laboratorio	30.00
Un Jefe de taller	25.00
Un sobrestante	20.00
Dos inspectores a \$15.00 cada uno:	30.00
Un velador	8.00
Veinte operarios	200.00
Un contador	30.00
Dos estenógrafas a \$9.00 cada una:	18.00
Un Office boy	6.00
TOTAL :	\$ 467.00

d).—CARGOS FIJOS POR DIA:

Interés sobre el capital invertido al 8% anual	\$ 187.00
Depreciación promedio del equipo al 12% de su valor	209.00
Impuestos y contribuciones	80.00
Mantenimiento y reparación del equipo 1% anual	15.30
TOTAL :	\$ 491.30

e).—CARGOS VARIOS

Capital de trabajo para 90 días de operación:	\$ 708.525.00
Materia prima	42.030.00
Mano de obra	44,217.00
Cargos fijos	9,000.00
Imprevistos	

TOTAL : \$ 803.772.00

Por lo tanto tendremos un capital total invertido igual a la suma de Cargos Varios más el costo del edificio y del equipo instalado.

Cargos Varios más el costo del edificio y del equipo instalado	\$ 843.196.00
Costo del edificio y el equipo instalado	803.772.00

TOTAL : \$ 1'646,968.00

f).—BALANCE ECONOMICO

Se va a tener una producción anual de la planta de 184.800 m² de piezas de lámina esmaltadas a \$20.00 el mt². tendremos:

Entrada Bruta:	\$ 3'696.000.00
Ahora bien; se tendrán de gastos anuales:	\$ 2'834.000.00
Materia prima por año:	168,120.00
Mano de obra por año:	176,868.00
Cargos fijos anuales:	

TOTAL : \$ 3'178,988.00

Restando estas dos partidas tendremos la:

UTILIDAD ANUAL:	\$ 517,012.00
UTILIDAD DIARIA:	\$ 1,436.00

CAPITULO VIII.

CONCLUSIONES

Por lo que se vio en esta tesis, llegamos a las conclusiones siguientes:

- a).— Que en la actualidad están tomando mucho incremento las industrias de este tipo.
- b).— Los objetos esmaltados reúnen todas las condiciones referentes a durabilidad, presentación, higiene y economía.
- c).— Las inversiones en estas industrias, garantizan el capital y dan un amplio margen de ganancias. Por lo tanto conviene poner esta clase de industria, tanto para el beneficio propio como para la economía del País, ya que da más fuentes de trabajo y baja la importación, tendiendo a nivelar los cambios. Además que traería como consecuencia la instalación de fábricas de esmaltes, molinos de arcilla, etc., que haría que todavía se dependiera menos de la importación.

BIBLIOGRAFIA

ENAMELS.—A. I. Andrews.

INDUSTRIAL CHEMICAL CALCULATIONS.—Hougen & Watson.

ELEMENTS OF CHEMICAL ENGINEERING.—Badger and McCabe.

COLORES Y ESMALTES.—Llorens Artigas.

CHEMICAL ENGINEERING HANDBOOK.—Perry.

TRATADO DE CERAMICA.—E. Greber.

SEGUNDO CURSO DE INGENIERIA QUIMICA. — Alberto Urbina.