

Monococción y cocción rápida para la fabricación de pavimentos cerámicos

Dr. D. FRANCISCO PUERTA CABAÑES

Director Técnico de Asland Cerámica

71/2/0071A

RESUMEN

Se hace una revisión en el presente comentario de las definiciones actuales para los productos cerámicos; se establece, de acuerdo con el desarrollo tecnológico del momento, el campo de aplicación de la bicocción y de la monococción y las ventajas que del uso de cada una de ellas puede obtenerse. Se definen y clasifican las técnicas de monococción lenta y rápida, describiéndose los tipos más representativos de cada una y se dan valores concretos que se derivan del empleo de una u otra. Se citan asimismo algunas de las composiciones más normales que se utilizan para preparar el soporte, se mencionan algunas de las reacciones que tienen lugar durante la cocción de dicho soporte y se describen algunos de los caminos que se están siguiendo para formular los esmaltes que lo han de recubrir.

SUMMARY

In this work a revision is made of the present day definitions for ceramic products. In accordance with the present technological development, the field of application of single firing and double firing is established together with the advantages that may be obtained from the use of each of them. The techniques of slow and fast single firing are defined and classified, describing the more representative type of each, and specific values are given derived from the usage of each.

Also, some of the common compositions used for preparing the stand are listed and some reactions that take place during the firing process of this stand are mentioned. Description is made of the ways that are being followed for formulating the enamels that have to coat the stand.

RÉSUMÉ

On réalise une révision dans ce commentaire-ci, des définitions actuelles pour les produits céramiques; on établit, d'accord avec le développement technologique du moment, le domaine d'application de la bicocction et de la monococction et des avantages que de leur utilisation puissent être obtenus. On fait une définition et une classification des techniques de monococction lente et rapide, en décrivant les genres les plus représentatifs de chacune d'elles et on donne des valeurs concrètes qui se dérivent de l'emploi de l'une ou bien de l'autre. On cite, de même, quelques-unes des compositions les plus normales utilisées pour préparer le support, on mentionne quelques réactions qui ont lieu pendant la cuisson de ce support et on décrit quelques chemins de ceux qu'on est en train de suivre pour formuler les émaux qui doivent le recouvrir.

ZUSAMMENFASSUNG

In der Arbeit werden die gegenwärtigen Begriffsbestimmungen für Keramikerzeugnisse erörtert und unter Berücksichtigung des aktuellen Standes der Technik die Einsatzbereiche des Doppel- und Einfachbrennens sowie die sich aus der Verwendung beider Verfahren jeweils ergebenden Vorteile besprochen. Es werden die Techniken des langsamen und schnellen Einfachbrennens umrissen und klassifiziert, die jeweils repräsentativsten dieser Verfahren näher geschildert und die damit erhaltenen spezifischen Werte angegeben. Ferner werden Angaben über einige Normalzusammensetzungen gemacht, die für die Aufbereitung des Trägermaterials zum Einsatz kommen, werden einige der Reaktionen, die während des Aufbrennens stattfinden, näher beschrieben, ferner wird auf mehrere der Methoden eingegangen, die gegenwärtig bei der Wahl der Zusammensetzung der aufzubrennenden Emailüberzüge angewandt werden.

1. INTRODUCCION

El contexto económico dentro del cual se desarrollan las actividades industriales cerámicas del momento inducen a los fabricantes de esta manifestación a buscar y adoptar aquellos principios de producción más eficientes. Esta postura viene motivada por el desafío que en los factores de combustible y mano de obra vienen ejerciendo de forma tan repetida sus continuos aumentos y su objetivo vendrá siempre dirigido a hallar aquellos procesos de mayor rendimiento térmico y que a su vez permitan la máxima automatización y racionalización de los mismos. Es evidente, pues, que para la correcta aplicación de tales principios resulta esencial la elección de la tecnología más apropiada para lograr cada posible tipo de producto.

Ahora bien, no en todos los casos la selección de una determinada tecnología resulta evidente. En parte se debe a que ciertos artículos o producciones vienen confusamente definidos o que su definición es más resultado de una tradición industrial del que fabrica dicho material que derivante de la necesidad del que la usa.

Fundamentalmente, y por lo que respecta a las posibilidades que se ofrecen hoy para la obtención de un material cerámico esmaltado, la elección del proceso puede orientarse, o bien hacia una bicocción o bien hacia una monococción, y dentro de ambas modalidades, bien hacia una cocción rápida o hacia una lenta.

En los apartados que anteceden se han mencionado los objetivos del presente comentario; es decir, *definir*, de acuerdo con las recientes decisiones del CEN, los productos cerámicos en atención a su naturaleza y función a desempeñar y *aportar* aquellos datos que puedan facilitar la elección adecuada de aquella tecnología más correcta para llegar a un determinado producto y establecer los límites más razonables dentro de los que dicho sistema queda encuadrado.

Como se ha citado, la definición de los productos cerámicos se establece de acuerdo con el CEN, organismo técnico consultivo de la Federación Europea de Fabricantes de Productos Cerámicos (CEC), y que ha sido objeto de su respectiva aprobación durante el pasado año y publicada como norma definitiva. Para elaborar esta regla se han reunido todos aquellos productos que se fabrican por todos los miembros que pertenecen a esta Federación, independientemente de su área y difusión comercial. Como factor diferenciante se tomó la porosidad que presentaba el respectivo soporte, llegándose a establecer las siguientes categorías: A, productos con porosidad inferior a 3%; B, productos que oscilan entre 3-10% de porosidad, y C, aquellos que muestran un valor para su capacidad de absorción de agua superior a esta última cifra. Dentro de estas tres categorías se consideran a su vez tres subgrupos en cada uno, según el proceso que se ha empleado para su conformado, es decir, según se hayan obtenido por prensado, extruido o moldeo. Finalmente, cada uno de estos 12 tipos resultantes se subdividen en cuatro nuevas clases, de acuerdo con la naturaleza del esmalte que las recubre, propiedad que se evidencia según el comportamiento de esta superficie frente a la norma de resistencia a la abrasión.

No insistimos en más detalles sobre estas 36 clases

de productos cerámicos porque su exposición con más detenimiento constituye un tema por sí mismo, y sólo la hemos citado tan sucintamente para poder establecer nuestras premisas y bases en las que vamos a apoyar nuestros siguientes comentarios.

No obstante, resulta también interesante hacer notar que la primera característica, la porosidad, define la antihelacidad del producto que se considera; es decir, a medida que su valor aumenta decrece su resistencia al hielo; por contra, las dificultades que surgen al intentar aplicar un esmalte o un soporte determinado disminuye a medida que crece la capacidad de absorción de agua del mismo. Hasta el momento presente, los productos de baja porosidad disfrutan de una mayor garantía como revestimiento o pavimentación de exteriores, tanto más cuanto más alta es la agresividad del clima que tienen que soportar, y los productos más porosos gozarán de mayores recursos y posibilidades estéticas, tanto desde el punto de vista de efectos como de decoración para ciertos ambientes o usos interiores.

Con esta misión, en consecuencia, nace la idoneidad de la elección de una tecnología concreta. Para los productos de baja porosidad se han generalizado más, para su obtención, el empleo de las técnicas de monococción, y para los porosos, la bicocción. Con todo, no debe de olvidarse que estas delimitaciones no suelen ser drásticas. Así se explica que existan hoy líneas de producción de gres esmaltado en dos cocciones, cuya presencia más bien puede justificarse por razones circunstanciales, falta de competitividad en un mercado declinado hacia la demanda, estructuras económicas particulares (instalaciones amortizadas), que por razones intrínsecas a la validez del proceso. Otro tanto puede decirse de los procesos de cocción, única desarrollada recientemente para productos porosos, que en fase de experimentación sólo han logrado productos de calidad media y orientados a mercados de tipo social en las que, de momento, las ventajitas iniciales de sus costes vienen limitadas por el nivel de los precios que consiguen. Con todo, constituye esta idea un capítulo muy interesante, y que ha venido a presentar un nuevo desafío a la tecnología merámica.

Sin duda alguna, las razones expuestas por Baudran en su artículo "Monococción. Problemas reales y soluciones", leído con motivo del II Convenio Internacional sobre la Moderna Tecnología Cerámica, constituye valiosos argumentos sobre la bondad y ventajas de uno y otro método, y que citamos para reforzar la hipótesis que sobre la especialidad de tecnología venimos comentando.

2. VENTAJAS DE LA MONOCOCCION

1. Reducción de costes de combustible.
2. La temperatura de cocción del bizcocho es idéntica a la de cocción del revestimiento.
3. La concordancia soporte-esmalte viene facilitado por el desarrollo de un estrato intermedio (interface); dato particularmente importante en los productos gresificados, que dan origen siempre a una menor dilatación.
4. Cuando se usan esmaltes en "crudo", éstos en la cocción experimentan el mismo comportamiento dilatométrico que sufre el bizcocho.

5. En esta única cocción el bizcocho se desarrolla en las características técnicas finales, ya que no precisa de una porosidad determinada pensando en el segundo paso del esmaltado, operación que en nuestro caso se realiza simultáneamente.

3. VENTAJAS DE LA BICOCCION

1. La temperatura a que viene cocido el revestimiento es diversa de la del bizcocho. En esta última se obtiene la estructura real del soporte.
2. Se elimina el riesgo de que el esmalte sea atacado por los diversos agentes que se liberan durante la cocción del bizcocho.
3. Permite obtener un soporte poroso que permite esmaltarlo con facilidad y no está sujeto a posteriores evoluciones durante la cocción del producto acabado.
4. Permite una gran densidad de ahornado acumulando las piezas en pilas durante la primera cocción, admitiendo una gran lentitud de procesado con lo que se facilitan las reacciones que tienen lugar.
5. La eliminación de las piezas defectuosas en la primera cocción, con lo que no se acumulan ya esmaltadas. Asimismo, por estar parcialmente "cocido", permite mayor densidad de ahornado en su segunda cocción.

Finalmente, queremos citar también la conclusión del laborioso trabajo del Ing. M. Poppi en un análisis comparativo entre instalaciones de monococción y bicocción por la producción de baldosas cerámicas, que tras reparar todos los parámetros de una y otra técnica, determina que desde el punto de vista económico —inversión, costes, etc.— ambos llevan a análogos valores, que la automatización puede aplicarse indistintamente tanto a la monococción como a la bicocción, y que la primera es válida para productos antihelacidad y la segunda para materiales para interiores donde el problema estético prevalezca sobre el técnico, es decir, cuando se asigne una función decorativa a la cerámica.

Creemos que todos estos comentarios y citas quedan suficientemente encuadrados los campos de aplicación de ambas tecnologías y justificado el tipo de producto que en cada caso puede lograrse. Por ello, pasamos a continuación a profundizar en el tema objeto de nuestra comunicación.

4. MONOCOCCION Y COCCION RAPIDA

La amplitud de este tema nos obliga a tratarlo, dada la limitación de tiempo de que disponemos, de forma un tanto esquemática. Por ello, lo vamos a desarrollar a través de los siguientes capítulos: 1. División y generalidades. 2. Descripción técnica de las diferentes tecnologías propuestas. 3. Cualidades del soporte. 4. Algunas reacciones que tienen lugar en las pastas y esmaltes durante los procesos de monococción. 5. Cualidades de los esmaltes; y 6. Conclusiones.

En todos ellos, sin entrar en grandes detalles, se procurará insistir y llamar la atención en aquellas facetas que se consideran más representativas y que

mejor pueden ilustrar las peculiaridades y características de la monococción.

4.1. DIVISION Y GENERALIDADES.

Según las características estructurales de los sistemas empleados para la cocción única, ésta se divide en:

1. Cocción a monoestrato.
2. Cocción poliestrato u horno túnel.

La primera, normalmente, se denomina cocción rápida por emplear ciclos inferiores a las cuatro horas, y la segunda, monococción lenta en la que los ciclos operativos están comprendidos entre doce y veinte horas.

Aun cuando esta técnica es conocida desde antiguo, su desarrollo para productos industriales es de fecha reciente. Los materiales cerámicos sanitarios fueron los primeros en servirse de la teoría de monococción debido a que su particular naturaleza y forma limitaban notablemente la posibilidad de obtenerlos por doble cocción.

Desde el punto de vista de la cerámica de la pavimentación y revestimiento, el año 1930 marca la iniciación del empleo de la monococción para su preparación. En esta fecha, en Estados Unidos fue introducida la escala industrial en el campo del revestimiento. Este hecho fue posible al utilizar como materia prima el talco y la wollastonita en cantidad notable, sustancias que existían en abundancia y a precios accesibles para la industria de este sector en dicho país. La composición inicial de la pasta estaba constituida por un 70 % de las dos materias citadas más un 30 % de arcilla y caolín. En crudo se pulverizaba con un esmalte semifritado con un 30 % de fritada.

El éxito de este proceso vino ligado fundamentalmente al coeficiente de dilatación del soporte, prácticamente lineal, sin cambios de volumen bruscos en su estructura cristalina y a un bajísimo contenido en sustancias que generaban gases durante su cocción.

Sin embargo, a pesar de este manifiesto logro, los precios de las materias citadas han impedido durante algún tiempo que se aplicara esta tecnología en Europa, Sudamérica y otros países industrializados de Asia, donde, por otra parte, ya debido a las buenas arcillas naturales (Italia y España) o a otras composiciones basadas en minerales de buena pureza (sílice, caolín, feldespatos, arcilla, carbonato cálcico, etc.) de los que se disponía con relativa facilidad, derivaron a otro tipo de tecnología con la que se llegaba a precios más bajos que utilizando la formulación americana.

Con todo, la fe de un grupo de investigadores en el campo cerámico llegó a mezclas en las pastas para las que resultaba interesante la utilización de aquel principio. Con ello se obtuvieron excelentes productos resistentes a las heladas, al ataque de los reactivos químicos, a la abrasión y fuertemente vitificados que les permitía aplicarlos en casi todos los tipos de usos, incluyendo los locales públicos. Hasta fechas muy recientes, en Europa el campo de la monococción se limitaba a la cerámica del pavimento; desde hace cuatro años se han montado algunas líneas dedicadas al revestimiento.

Un notable despegue de la difusión de la tecnología monoestrato se aprecia a partir de la crisis del 1970-71, llegándose a un auténtico "boom" en la que se está sufriendo en el presente. Rendimiento térmico y reducción de la mano de obra fueron los factores determinantes.

Ahora bien, con simultaneidad a esta expansión de la mencionada técnica el industrial de método clásico, horno túnel, empujado por la situación de angustia que sufre, en un desesperado intento de reducir sus costes, decide obtener sus productos esmaltados por cocción única utilizando sus instalaciones, en particular los hornos muflados de segunda cocción. Esta idea se generaliza, los numerosos problemas que surgen atraen al constructor tradicional y pronto se introducen sustanciales reformas en los sistemas de tratamiento del precalentamiento, en los equipos de combustión, el concepto de enfriamiento rápido se hace familiar, se mejoran los controles térmicos y de medida de ambientes (presiones, atmósferas oxi-reductoras, etc.) y finalmente la mecanización y racionalización de métodos de trabajo llevan a excelentes resultados completamente válidos.

4.2. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE DIFERENTES TECNOLOGÍAS

Hemos visto al principio del apartado anterior que existen dos tipos de monococción. Vamos en este punto a describir sucintamente las particularidades más destacadas de ambas técnicas.

Para la solución del concepto de monoestrato se han propuesto varias versiones. Todas ellas cuentan con la limitación que supone el tratar un producto que experimenta una notable deformación durante su gresificación, por lo que se han visto obligados a depositar la pieza cerámica sobre una placa de refractario rígida e indeformable. Igualmente tienen de común la necesidad de aplicar al proceso un ciclo corto; el calor atraviesa la pieza a cocer junto con dicho soporte en el sentido de su espesor y la transmisión de este calor es siempre directa, alcanzando un elevado rendimiento térmico todas ellas. En algunos casos, para lograr unidades productivas patrón usan dos o más estratos, en cuyo caso aparece un nuevo inconveniente, el que supone el conseguir idéntico perfil de temperatura y de cocción de dichos canales.

Entre estas distintas soluciones creemos interesante citar las siguientes:

1. *Horno de cinta de acero inoxidable.*—Esquemáticamente la solera del horno está constituida por una cinta transportadora de velocidad regulable sobre la que se depositan las baldosas a cocer, previamente apoyadas en una placa de refractario. La imposibilidad de utilizar esta técnica para ciclos de temperatura elevada, 1.000°-1.200° C, por la dificultad de lograr una malla que pueda resistir dicho tratamiento, ha hecho que su uso en la actualidad quede circunscrito a productos de baja cocción de artesanía o de formas muy particulares.
2. *Hornos monoestrato de placa deslizante.*—Responde este concepto al aplicado en los hornos bicanales. Su sección es muy baja y su anchura de 50 cm aproximadamente. Existen unas 40 ins-

talaciones de este sistema, mecanizadas formando un circuito por una soportería metálica exterior, tal como podemos ver en la actualidad en la automatización de algunos de los hornos de arrastre montados. La relación masa inerte baldosa es grande y la capacidad de aireación del material escasa. En realidad esta técnica se aplica a la obtención de revestimientos en los que la composición de la pasta del soporte es muy particular y encuentra cierta aplicación en la cocción de vajilla y cerámica doméstica.

3. *Horno con vagonetas de un solo plano.*—En realidad es una variante del anterior sistema, con el que comparte todas sus dificultades y particular aplicación, siendo mayor en este caso el cociente masa inerte-producto cerámico.
4. Durante algunos años ha funcionado en Italia, para monococción en monoestrato, un horno de la casa Drago en el que el movimiento del producto cerámico se realiza por el sistema llamado de "paso de peregrino". Personalmente hemos podido comprobar su funcionamiento, y aun cuando el concepto de la instalación global parece bastante interesante, lo cierto es que en la actualidad las tres instalaciones que existen en España no están funcionando. Esperamos que se pueda salir de dudas en fechas próximas sobre la validez de estas instalaciones.

Hasta aquí se puede decir que para obtener un resultado aceptable con estas tecnologías se deben realizar minuciosas experiencias previas, tanto sobre la mezcla del soporte como de los esmaltes que se intentan emplear. Las materias deben de carecer de materia orgánica, dadas las dificultades de ventilación que implica. Este inconveniente ha dado lugar a nuevas ideas para minimizarlos. En las vagonetas se ha dispuesto el material sobre púas de acero de 10 cm de altas o bien se ha establecido un sistema de parrilla de material refractario sobre el que se apoyan las baldosas. En ambos casos, aun cuando se ha conseguido mejorar las posibilidades de desgasificación de los productos, puede decirse que se encuentran en estado de experimentación y que no ha podido superarse la resolución práctica de estos materiales de soporte.

5. *Horno monoestrato a rodillos.*—Es, sin duda alguna, el sistema que ha llegado a resultados más espectaculares. Sus 200 instalaciones distribuidas por todo el mundo avalan la confianza de que gozan en la actualidad. Su desarrollo ha sido posible, tras veinticinco años de estudios, por el gran equipo humano que en su realización han intervenido.

Existen tres tipos de hornos de rodillo.

- a) Horno multicanal con rodillos refractarios para temperaturas de hasta 1.250° C para monococción con soportes refractarios, dedicados a baldosas antihielo, gresificados.
- b) Hornos a rodillos monocanal sin placas refractarias. Dedicados a la producción de baldosas no gresificadas, de soporte poroso para temperaturas del orden de 1.040-1.060° C.
- c) Hornos a rodillos SITI multicanal tipo F. 1.

Sin duda alguna, el más conocido es el primero, sobre el que vamos a insistir con más detalle. Aun cuando el horno inicialmente estuvo concebido para ser calentado eléctricamente, se transformó pronto, usando como fuente térmica gases combustibles, incluso aquellos cuyo poder calorífico constante era de alrededor de las 2.800 Kc/m³.

El horno en cuestión tiene 15 canales, distribuidos en tres estratos de 45 m de largo, que con un ciclo de más de tres horas alcanza la producción de 1.500 metros cuadrados/día. Viene dotado de 74 grupos de quemadores dispuestos en ambos lados del horno y en la bóveda, interesando a la zona de precalentamiento y de cocción. La combustión es de tipo premezcla aire-gas controlada por medio de válvulas de interceptado y estabilización.

La regulación de la temperatura afecta a cada grupo de quemadores y obtenida potenciométricamente a través de termocopias situadas en la cámara de combustión de dichos grupos y provistos de un sistema proporcional-derivado-integral. Dispone de un sistema de enfriamiento rápido junto a la zona de cocción y otro directo regulable. Asimismo viene montado en su salida el correspondiente ventilador de contracorriente.

Los rodillos son accionados desde un lado del horno mecánicamente, por medio de piñones conectados a cadenas de transmisión, acoplados a un sistema de marcha regular controlado electrónicamente. Un grupo de espías por canal comprueba el correcto funcionamiento de cada uno de ellos.

Destinado a productos gresificados, va provisto de las respectivas placas refractarias para evitar que el producto en su reblandecimiento se deforme. De aquí también la necesidad de que dichos soportes sean completamente planos. En estos se moldean unas nervaduras para reducir la superficie de contacto y disminuir su peso, aumentando su rigidez. Como segunda misión tienen estos nervios la función de facilitar la desgasificación del soporte por su cara inferior.

Igualmente, este sistema ha adoptado los procesos de mecanización más avanzados, habiendo logrado un espectacular rendimiento, cifrado entre 45-50 m²/hombre. Mediante este método las baldosas sólo son tocadas en el momento de su clasificación o tonificado. En el resto del procesado la presencia de operario tiene como función sólo una misión de vigilancia.

Como técnica válida, ha sufrido varios intentos de competitividad comercial. Dentro de esta faceta y por el interesante estímulo que puede derivarse para todos, constructores de hornos, industriales, etc., nos parece adecuado citar una nueva tecnología presentada en la Reunión de Bolonia, y que la mencionamos más por su concepto que por la bondad de sus resultados, pendientes todavía de su confirmación definitiva experimental.

Se trata de la línea de horno monoestrato comentada por M. Poppi en dicha reunión, en cuya oficina técnica se ha desarrollado este horno y cuya automatización ha sido puesta a punto por System SpA. Prescindiendo de esta última aportación, que hemos soslayado en los casos anteriores también, y centrándonos en el elemento de cocción, éste ofrece las siguientes peculiaridades:

1. El horno es totalmente prefabricado con estructuras modulares que se componen "in situ".

2. El retorno de la vagoneta una vez cocida se efectúa por la parte inferior de la estructura metálica del horno y en sentido contrario al de las vagonetas en fase de cocción.
3. Los quemadores utilizados son del tipo intensivo de llama en abanico, con una gama de funcionamiento desde un 20 % de defecto de aire hasta un 1.000 % de exceso.
4. El revestimiento interno se realiza con material aislante de fibras cerámicas, incluso el techo de tipo suspendido, de bajísima energía térmica y elevado coeficiente de transmisión de calor, material que interviene igualmente en la construcción de la vagoneta. Esta, a su vez, dispone de cilindros cerámicos revestidos de fibra cerámica sobre la que se apoyan las baldosas, en caso de emplearlo como línea de segunda cocción o monococción de material poroso, o sobre placas refractarias cuando se destina a monococción de gres esmaltado, antigélido.

Prescindiendo, como se ha dicho, de la automatización global, el ciclo del horno se realiza de la siguiente forma: La vagoneta vacía y que procede de la vía inferior sube por medio de un elevador, pasando los pivotes montados en la misma entre las correas del pulmón, alimentado automáticamente desde la esmaltadora o bien desde el parking de bandejas almacenadas. Inicia su movimiento sobre la vía superior y una vez cocida vuelve a descender, quedando las baldosas depositadas sobre unas correas transportadoras que las dejan o bien sobre bandejas durante la noche o los días festivos o bien directamente sobre la máquina de clasificar. Seguidamente la vagoneta pasa por la vía inferior e inicia un nuevo ciclo.

El horno carece de puertas, emplea como aislamiento del ambiente cortinas de aire, tiene quemadores como los descritos en la zona de precalentamiento, los gases de combustión son aspirados desde la chimenea por el hueco que ofrecen los pivotes y el enfriamiento está dividido en tres zonas. La primera, inmediatamente después de la zona de cocción, de forma directa enviando aire frío arriba y abajo del plano de carga. El segundo tramo es indirecto y el tercero vuelve a ser directo, insuflando sobre el material grandes volúmenes de aire.

Como se ha dicho, esta línea está en fase de experimentación, sus resultados son prometedores y abre un nuevo campo en la tecnología cerámica, tanto en lo que respecta a los elementos constructivos del horno como al concepto de automatización general.

En la monococción de segundo tipo, poliestrato, se recurre siempre al horno túnel. La baldosa se apoya igualmente sobre una placa refractaria. Esta placa puede ser independiente, con pequeños apoyos en sus vértices para colocarlas unas sobre otras, o bien pueden venir fijadas entre los dientes de casillas refractarias. El empleo de uno u otro sistema depende de la técnica de automatización que se proyecte.

Su origen, como se ha citado, procede de los hornos túnel de segunda cocción. En estos se tropezó inicialmente con algunas dificultades. En el precalentamiento se obtenían dos curvas, separadas según la calidad del horno, la primera correspondiente a la que sigue el material de la parte superior de la vagoneta y la inferior la que sufre el producto de la zona baja y central de la misma.

En la zona de cocción, con aplicación de quemadores a gas, se llegó a resultados aceptables.

En el enfriamiento el aumento de masa inerte hizo disminuir sensiblemente la capacidad de producción del horno y las dos curvas que igualmente se obtenían eran fuente de serios problemas.

Sobre este esquema clásico de un horno muflado se han introducido notables modificaciones que han permitido procesos de gran homogeneidad térmica y productos de excelente calidad. En principio se ha prescindido de las puertas de entrada y salida, supliendo su función cortinas de aire que frenan el flujo de aire que procede del exterior y que era solicitado por la aspiración de la chimena. Este detalle lleva consigo otra mejora, y es la de permitir una mejor automatización en la alimentación y salida de vagonetas del horno. Estas, a su vez, están sometidas a un aumento progresivo de su temperatura sin sufrir cambios bruscos, como ocurre en los sistemas convencionales y que tan desastrosas consecuencias acarrea en determinadas épocas del año, provocados por inesperados cambios de temperatura ambientales.

En esta zona se han dispuesto, asimismo, registros que hacen posible a voluntad la mezcla de aire con el que procede de los canales semimuffados, e incluso se han montado generadores ocasionales que suministran aire convenientemente calentado para afinar más los escalonamientos de temperatura y al mismo tiempo aportar el aire fresco que se necesita para mantener los procesos de oxirreducción en los niveles que sean deseables. Evidentemente esta situación contrasta con los sistemas anteriores, en los que para el precalentamiento sólo se podía contar con los gases agotados de la combustión.

Próxima a la zona de cocción se montan quemadores de alta velocidad, donde además de seguir manteniendo una recirculación con abundante aire se inyecta a la temperatura adecuada. Estas recirculaciones homogenizan considerablemente el tratamiento de la masa a cocer, crean una atmósfera oxidante continua y sobre todo las curvas de precalentamiento citadas se hacen prácticamente coincidentes en toda su extensión.

En la zona de combustión las modificaciones han sido menos drásticas. En general se vienen utilizando dos sistemas. Uno que consiste en provocar la combustión en cámaras independientes desde las que se solicitan los gases calientes a nivel de la carga de las vagonetas y de su parte superior, de forma siempre controlada y de acuerdo con un programa de temperaturas preestablecido. De ordinario viene reforzada esta cocción por la ayuda de quemadores "bajo carga", que inyectan la llama entre el piso que soporta la carga y el hormigón del encofrado de las vagonetas. Con ello el "triángulo negro" tradicional viene eliminado.

Mediante el segundo se dispone de quemadores que hacen servir el espacio hueco entre hormigón y placa de carga como de cámara de combustión y con un dispositivo constructivo determinado situado en la parte opuesta de la tobera se obliga a ascender a gases de esta combustión a flujo lento (10 m/seg) lamiendo el material que se está cociendo. Es indudable que este sistema deriva en un mayor rendimiento; sin embargo, el primero tal vez permite una mejor distribución del calor y evita casi siempre los problemas que surgen de una mala combustión o del fallo accidental

de alguno de los elementos de la misma. Las rotaciones alternativas que estas técnicas originan en la transmisión de calor han llevado a resultados realmente satisfactorios, a una gran homogeneidad de cocción, tanto más acusada cuanto mayor sea la permeabilidad de la carga, circunstancia que se da favorablemente en el caso de la monococción.

El enfriamiento es la zona del horno que ha sufrido cambios más intensos, como evidentemente corresponde a la parte en la que el material precisa de un tratamiento más particular. En efecto, no debe de olvidarse que la temperatura de los 573° C marca la transición estructural de las especies mineralógicas cuarzo α y β , en cuyo momento se provocan notables cambios de volumen, originándose así determinadas solicitudes mecánicas que pueden llegar a la rotura de la pieza. Finalmente, y cuando el material presenta características cristobalíticas más o menos acentuadas, caso frecuente en los productos tratados a elevada temperatura, deberán de tomarse igualmente los mismos cuidados que se adopten en el anterior caso del cuarzo.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, en el horno se instala una recirculación de aire calentado a 400° C que hace descender la temperatura de cocción cerca de los 573° C, en cuyo intervalo el coeficiente de dilatación es lineal y el material suficientemente elástico para absorber este cambio rápido y dejar más tiempo para que se cumplan las siguientes fases. Dicho aire se inyecta de forma turbulenta y es frecuente ver instalados entre esta inyección y la zona de cocción los llamados quemadores de "placa radiante" para impedir que influyan desfavorablemente estas recirculaciones de aire más frío que el del ambiente del producto en los últimos quemadores de combustión según el sentido de la marcha del tren de vagonetas.

Con ello se consigue:

a) Aumentar la presión de esta zona del horno e impedir que los hornos y gases de combustión sigan el camino del material.

b) Provocar una fuerte turbulencia que contribuya a homogeneizar la temperatura de esta sección y hacer coincidir las curvas que sufren los productos colocados en la pasta superior e inferior de la carga, y que en esta sección, en un horno normal, tienen una posición inversa a la respectiva del precalentamiento, es decir el material exterior y el superior se enfría más rápidamente que el interior.

A partir de la citada zona se siguen instalando inyectores que alimentados indistintamente por aire caliente y frío permiten acoplar a voluntad cada tramo del horno. Como en el sistema tradicional un ventilador de contracorriente facilita el dirigir el flujo de los gases interiores y el controlar la velocidad más adecuada que deba seguir el proceso, a su vez nuevas tomas laterales o en la bóveda suministran una valiosa ayuda complementaria para mantener la presión interior dentro de los límites preestablecidos.

Estos son a grandes rasgos los recursos y medios de que puede disponer un horno túnel construido y dedicado específicamente a la producción de baldosas esmaltadas por monococción, y que si bien no han supuesto notables cambios, teniendo en cuenta sus dimensiones y volumen de inversión, sí ha sido en cuanto a sus lógicos resultados, avalados por las experiencias acumuladas.

A la vista de estas descripciones surge la cuestión

de cuál de las dos técnicas es la más conveniente. No es fácil dictaminar sobre ello; con todo remitimos al lector a los trabajos del Ing. H. Mori, presentados en la última reunión celebrada con motivo de la Feria de Bolonia. En dichos trabajos se realiza en primer lugar un minucioso estudio de los factores económicos que intervienen en cada tecnología. Comparados los parámetros: *a)* mano de obra; *b)* combustible; *c)* energía eléctrica; *d)* gastos de manutención, y *e)* amortización, se llega a las cifras de 285 liras/m² para el horno a rodillos y 269 liras/m² para un horno túnel de "baja carga" tipo Jolly SR. Si aceptamos que esta última instalación requiere mayor superficie y suponemos diez años el tiempo de amortización para las construcciones de naves, obra civil, etc., y veinte para la amortización del terreno, el valor correspondiente al último coste aumenta 15 liras.

Se llega a resultados igualmente sorprendentes si se analizan simultáneamente las principales exigencias de la industria cerámica en orden a su procesado, tales como: *a)* máxima uniformidad de cocción; *b)* mínimo consumo de combustible; *c)* mínimo empleo de mano de obra; *d)* rapidez en la "puesta a régimen" del horno; *e)* elevada capacidad productiva; *f)* multiplicidad de formatos; *g)* control de la producción; *h)* reproducibilidad de la producción. Para deducir un valor numérico de esta comparación se asigna un tope de diez puntos para cada uno de los ocho parámetros citados y en función de la bondad o determinando cumplimiento de cada una de dichas exigencias se le asigna un valor, corroborado normalmente por los datos experimentales de que se dispone.

Siguiendo, pues, este camino se obtienen las cifras de 61 puntos para el horno a rodillos, 58,5 para el Jolly SR y 38,8 puntos para un horno tradicional. Hay que hacer notar que las mayores diferencias entre los dos primeros radican en la automatización (cinco puntos para el monoestrato y 10 para el Jolly) y en la rapidez de "puesta a régimen" (10 puntos para el primero y 3,3 para el horno túnel).

De este rápido resumen se deduce que: 1. Por ambos sistemas se llega a productos parecidos con la misma uniformidad de cocción, gasto de combustible, capacidad productiva, etc.; 2. Que la elección de uno u otro medio debe de basarse en premisas particulares para cada instalación, como pueden ser el deseo de reproducir en la nueva unidad materiales ya fabricados con hornos de ciclo tradicional, el requerir una mayor simplicidad de conducción por no disponer de operarios muy especializados, el decidirse por un ritmo de trabajo lento de las máquinas, incluyendo el horno, en otras ocasiones el proyectar una instalación con posibilidad de paro los fines de semana o festivos, el disminuir la cantidad de producto en proceso o el poder atender una necesidad de suministro rápido serán asimismo factores determinantes en este caso para la elección del sistema de horno a rodillos, y cuando prevalezcan las primeras características citadas para derivar la selección hacia el horno túnel.

4.3. CUALIDADES DEL SOPORTE

Hemos citado en otro punto de este comentario la composición del soporte con la que se inició la producción de monococción. Así hemos visto también que el factor precio limitaba la aplicación de aquellos produc-

tos en Europa. Con todo, es evidente que si las pastas que se pueden obtener responden a un comportamiento completamente irregular, mal se puede utilizar la potencialidad de las estructuras y tecnologías que se han venido discutiendo.

En general se considera que un producto ideal para procesado por monococción debe reunir las siguientes características:

1. Buen resultado práctico de calidad.
2. Consentir el secado rápido.
3. Dilatación térmica uniforme para todo el ciclo de cocción.
4. Amplio intervalo de cocción.
5. Disminución de la contracción total.
6. Contracción lineal durante el enfriamiento.
7. Precio de coste de las materias primas accesible y competitivo.

Frente a estas exigencias poco podía esperarse de las mezclas arcillo-feldespáticas convencionales en las que eran considerables los cambios dimensionales, presentan un reducido intervalo de cochura y acusan una elevada deformidad a alta temperatura que hacen inviable su adaptación a la moderna tecnología.

Ante esta situación se han seguido dos caminos diferentes para llegar a una mezcla que ofreciera las mínimas garantías. Según la Société Française de Céramique, se puede llegar prescindiendo de los componentes cuarzo y cristobalíticos, con lo que se llega a contracciones lineales durante el enfriamiento, disminuir el contenido de arcilla para circunscribirlo a su función de ligante durante la cocción y la de dar la suficiente cohesión al producto en crudo, sustituyendo esta arcilla con una sustancia inerte previamente preparada, que garantice un comportamiento uniforme en lo que respecta a la expansión térmica. Se aconseja un mineral sintético de calcio que contenga un elevado contenido de anortita para efectuar esta sustitución y además se considera interesante asociar a la arcilla presente un grupo de minerales calcáreos que haga posible durante la cocción la obtención de una estructura física y una composición química idéntica a la del producto inerte sintético.

Sin embargo, en Italia y subsiguientemente en España, se ha seguido una dirección diferente. En principio se han estudiado semi-industrialmente todas aquellas materias primas de que se disponía, o bien eran asequibles en países vecinos y secundariamente, en los medios de procesado se han insistido en aquellos puntos singulares en los que las posibles combinaciones presentaban comportamientos anómalos (los 573°C, de la curva de enfriamiento, por ejemplo). Resultado de este estudio ha sido el poder establecer límites en los porcentajes de los diferentes componentes, por ejemplo:

Arcilla plástica	15-20 %
Caolín	35-40 %
Cuarzo	35-40 %
Bizcocho deshecho	2-4 %

y de aquí determinar el correcto comportamiento para la curva de cocción, estableciendo la posibilidad, por ejemplo, de desgasificar los compuestos alcalino-térricos antes del inicio de la sintetización del esmalte. Como consecuencia de todo ello se puede concluir res-

pecto a las fórmulas propuestas que se han podido fijar por dos importantes factores:

1. Por un diagrama de cochura especialmente acoplado a las pastas sensibles en la zona de enfriamiento, con la adopción de los sistemas de enfriado rápido combinado directa e indirectamente junto a la zona de cocción.
2. El sistema de cocción en un solo estrato de baldosas sobre placa refractaria permite obtener las condiciones ideales de cambio de calor uniforme y velozmente, reduciendo al mínimo la fuerza interna provocada por los cambios de estructuras mineralógicas.

4.4. ALGUNAS REACCIONES QUE TIENEN LUGAR EN LAS PASTAS Y ESMALTES DURANTE LOS PROCESOS DE MONOCOCCIÓN

Las diferencias en composición de las materias primas que intervienen en la monococción, tanto en lo que se refiere a la pasta del soporte como a los componentes de los esmaltes, generan problemas siempre nuevos. Dichas reacciones, ya individualmente, ya superpuestas, dan origen a diferentes intensidades a diferentes temperaturas que provocan tensiones variables, contra las que el producto cerámico debe de aportar una resistencia termo-mecánica suficiente para impedir su destrucción o deformación.

La mayor parte de estas reacciones son procesos de desgasificación que van seguidas de una descomposición y evolución del gas después que ha sufrido la oxidación. El tiempo para estas operaciones es un factor importante, pero en el caso de la monococción sabemos que éste es muy escaso. Experimentalmente se ha visto que existen determinados límites de temperatura que se han de respetar, a fin de que tales reacciones puedan completarse en función de la conducta de la cocción de dicha temperatura y de la atmósfera del horno. Por todo ello la desgasificación juega un importante papel en la cocción rápida. Entre los diferentes problemas que pueden surgir durante dicho tipo de cocción, podemos citar: La importancia que previo a la cocción tiene el secado del producto de hasta por lo menos un 1% de agua residual; no debe de olvidarse que las materias primas con una granulometría muy fina, exigen de un período de secado prolongado, para evaporar todo el agua. Sin embargo, en dicha cocción debe de tenerse en cuenta que la variación de temperatura es veloz y que los cambios entre 100 y 200°C se alcanzan rápidamente; además, independientemente de la estructura del soporte, de su densidad, porosidad, espesor, velocidad de transmisión de calor, de la recirculación del aire, etcétera, y todo ello en poquísimos minutos, incrementado por el cambio de volumen que experimenta el agua al pasar del estado líquido al gaseoso.

Entre 470 y 700°C vuelve a presentarse una situación parecida debido al agua de cristalización; sólo que en este caso las proporciones son mucho más altas (de agua). La eliminación de los grupos OH de los estratos de silicato tiene lugar en un intervalo de tiempo más largo, con lo que las tensiones producidas se distribuyen mejor.

Ejemplo: En una pieza que pese 250 g con una humedad de entrada del 1% genera cuatro litros de

vapor. Suponiendo que existe un 50% de materia arcillosa, y que ésta esté formada singularmente por caolín, existirá un 12% de agua, que producirá unos 45 litros de vapor de agua.

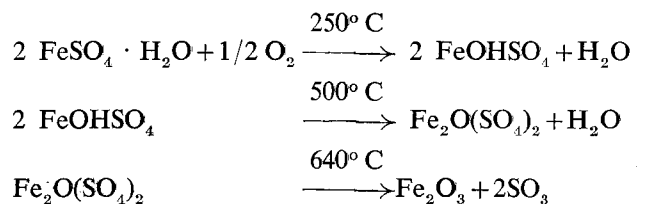
Hasta aquí la naturaleza porosa de la masa apenas sí desempeña papel alguno. Las reacciones subsiguientes vendrán influidas por el estado de finura de las partículas compactadas; cuanto más finas sean éstas más veloz será la reacción; por contra, serán más lentos los procesos de difusión. Además de la descomposición o eliminación de agua existen otras reacciones provocadas por otros componentes que se encuentran en dicha pasta, entre las que se puede citar los carbonatos (de Mg y Ca), el hierro, el azufre y carbono. Las reacciones a que cada uno de ellos da lugar son:

a) Carbonatos. Se encuentran normalmente en forma de maquesita, calcita o dolomita, cuyos porcentajes en CO₂ que generan son: 50, 43 y 45%, respectivamente. Sus temperaturas de descomposición no originan problemas de ordinario, salvo en los procesos de gresificación, en los que el CO₂ procedente de la calcita puede dar lugar a defectos muy definidos.

b) El grupo de los sulfatos. Punto no deseado por ningún ceramista, y aunque en pequeñas cantidades es inevitable su presencia en algunas materias primas. Su incidencia no siempre es puesta de manifiesto por los análisis normales y no siempre se les da la importancia que tienen. Su descomposición se realiza de la siguiente forma:

	T. ^a inicio de su descomposición °C	Descomposición rápida en °C	Producto de su descomposición
FeSO ₄	167	480	Fe ₂ O ₃ · 2SO ₃
Fe ₂ O ₃ · 2SO ₃	492	560	Fe ₂ O ₃ · 2SO ₃
Al ₂ (SO ₄) ₃	590	639	Al ₂ O ₃ + 3SO ₃
MgSO ₄	890	972	MgO + SO ₃
CaSO ₄	1.200	—	CaO + SO ₃

Con todo, los compuestos más importantes son los del Fe y S, que generan serios problemas cuando la velocidad de marcha del calor es elevada. Se ha sugerido el siguiente camino para la descomposición de estos productos:



Resumiendo un ambiente oxidante, el ión Ferroso se oxida a férrico antes de que se disocie con el sulfato. De aquí que el precalentamiento en un horno de cocción de bizcocho exija un ambiente oxidante; en caso contrario, el color del soporte vendrá muy influido por las condiciones, e incluso, si la atmósfera del ambiente es reductora o neutro aparecerán los defectos de la marcha, de tan desagradables consecuencias en los siguientes paros de la esmaltadora y segunda cocción.

c) El hierro está presente en forma de sulfato, tanto férrico como ferroso, como sulfuro (pirita) o

como componentes de algunos productos plásticos (arcillosos, clorita, etc.), y también en forma de sus respectivos óxidos o hidratos. Si la oxidación es insuficiente, la aspiración de chimenea escasa, si el aumento de temperatura es rápido o excesiva la presencia de sustancia orgánica, las oxidaciones serán parciales, en cuyo caso el bizcocho será verde-amarillento, la mancha manifiesta, y reaccionando con el SiO_2 dará un vidrio negro en el centro de la pieza (corazón negro), de tan funestas consecuencias para la calidad del producto.

d) Otra complicación viene a presentarse cuando en la pasta existen compuestos de carbono, ya como lignito, como sustancia carbonosa o como hidrocarburos oleos. Sus reacciones tienen lugar entre 350 y 400° C, a las que se descomponen en CO_2 , CO y H_2O , mientras que el carbono queda libre dentro de la masa. Una vez desprendida esta H_2O penetra el oxígeno y se inicia la oxidación de aquél. La velocidad de esta reacción viene influenciada de forma decisiva por la granulometría de la masa y, a su vez, por la temperatura.

Si existe simultáneamente sustancia orgánica y hierro, hasta que no se ha terminado y completado la oxidación del carbono no se inicia la oxidación del hierro.

Por todas estas situaciones se comprende que en la cocción rápida pueden existir notables diferencias de temperatura entre el interior del horno, la superficie del producto y la que le corresponde al interior del mismo, diferencias que se hacen tanto más notables cuanto mayor es la velocidad del ciclo.

Por otra parte, debe de tenerse en cuenta que en el caso de que la desgasificación no se haya realizado por completo puede dar origen a productos de una porosidad elevada (hasta de un 6 %), aun cuando presente un excelente nivel de sinterización el resto de la baldosa; situación que por otra parte provoca un acusado "pinchado" en la superficie del esmalte e incluso un "esponjado" del soporte.

4.5. CUALIDADES DE LOS ESMALTES

Hay que advertir que la tecnología sobre el desarrollo de esmaltes para monococción no ha alcanzado los mismos niveles que se han logrado en la formulación de los componentes de las pastas y en la técnica de su cocción. En realidad, ello debe de ser así, puesto que la posibilidad de trabajo en el campo de los esmaltes presupone la solución previa de los problemas que implica la obtención de dicho soporte. En la actualidad, los caminos que se están siguiendo se dirigen hacia las siguientes experiencias:

a) Según las composiciones usadas en la monococción y la de los esmaltes transparentes empleados en la línea automática SITI para la producción de platos de "vitro-china". Evidentemente, se trata de un recurso de transición. Hay que tener en cuenta que la pasta, según esta técnica, viene a costar unas 60 pesetas metro cuadrado, y si el esmalte, como mínimo, alcanza el mismo precio, los costes de la pieza así obtenida resultan un tanto gravosos. No es de extrañar, pues, el esfuerzo que se está haciendo para modificar esta situación.

b) Se pensó en un principio subir la temperatura de fusión de la frita a 1.080 (que exigía ser fundida a 1.560° C) aumentando el porcentaje de sílice y alúmina en aquélla. El pinchado superficial para las pastas alcalinas hizo desistir de este camino y adoptar el contrario, es decir, disminuir el punto de fusión incrementando el contenido de álcalis y óxidos alcalino-férreos; con ello se baja la viscosidad durante la cocción, con la subsiguiente disminución de los efectos superficiales, y por otra parte se provoca una interfase más intensa.

c) En una tercera etapa las investigaciones se han dirigido a partir de una frita standard y agregarle productos en "crudo" con vistas a desarrollar una determinada textura. Este supuesto ha resultado francamente satisfactorio para obtener baldosas mate y constituye hoy una orientación muy válida para rebajar los costes de los esmaltes que se emplean, circunstancias que justifican la intensidad en que se está investigando en este campo.

CONCLUSIONES

a) La monococción resulta adecuada para preparar productos cerámicos de baja porosidad (= 3 %), resistentes a las heladas y al ataque de los agentes químicos, es decir, para obtener materiales técnicos, mientras la bicocción será más indicada para aquellos casos en que se pretenda conseguir un mayor efecto o posibilidades estéticas.

b) La elección de una u otra Tecnología no puede basarse en conceptos económicos, ya que para ambas se obtienen los mismos valores.

c) La monococción rápida se basa, en los momentos presentes, en el horno monoestrato de rodillos, que es la instalación que ha alcanzado mayor difusión, sin que por ello se deban descartar otras tecnologías que en la actualidad están logrando resultados esperanzadores.

d) La monococción en poliestrato es específica del horno túnel; su ciclo es lento (doce-veinte horas); no existen razones económicas, de productividad, etc., que supongan un avance o mejoría entre las instalaciones de monoestrato en horno túnel, y la elección debe realizarse atendiendo a determinados factores de tipo práctico, tal como se ha descrito en el oportuno apartado.

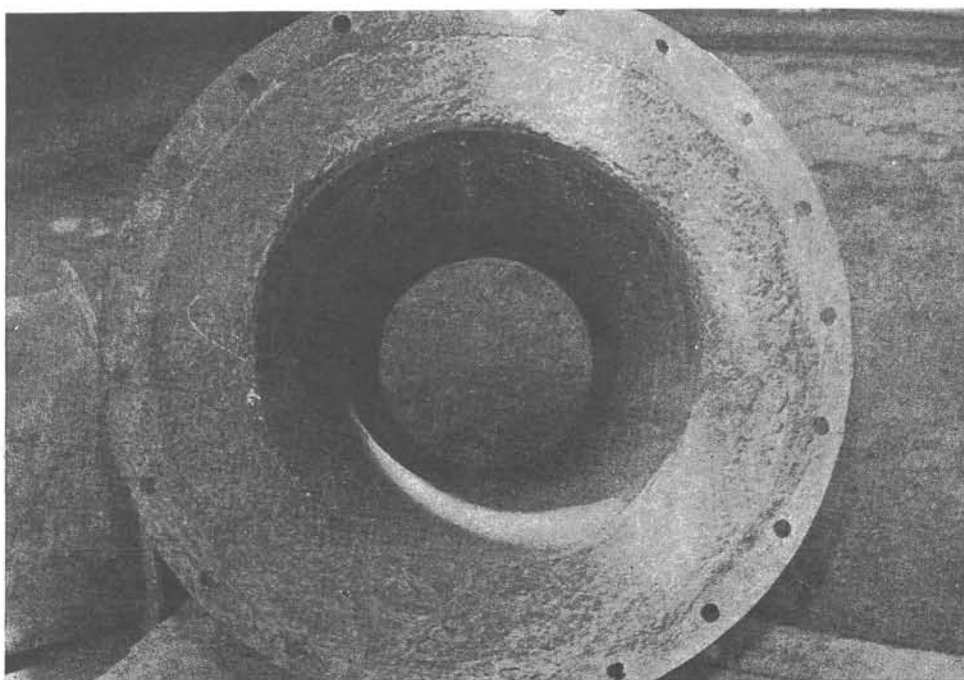
e) La incorporación de arcillas plásticas normales en las pastas para obtener el soporte han hecho descender considerablemente los costes por este capítulo, lo que ha hecho aumentar el interés por este sistema cerámico.

f) Aun cuando en la preparación en los esmaltes no se está al nivel que se ha logrado en otras facetas de esta tecnología, la evolución que en este campo se está experimentando hace suponer que en breve se podrá disponer de la suficiente variedad y calidad de esmaltes como para llegar a los más exigentes resultados prácticos.

CEMENTO ALUMINOSO FUNDIDO

ELECTROLAND

para usos refractarios



Revestimiento interior de una tubería, realizado a base de hormigón refractario de cemento aluminoso.

Solicite información a:

CEMENTOS MOLINS, S. A.

C. N.-340 - Km. 329,300 - Teléfono 656 09 11

SANT VICENÇ DELS HORTS

(BARCELONA)