

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE  
HUAMANGA**

**FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y METALURGIA**

**ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE  
INGENIERIA QUIMICA**



**INFORME DE EXPERIENCIA PROFESIONAL**

*"PRODUCCIÓN DE REVESTIMIENTOS CERÁMICOS EN  
LA EMPRESA ARIS INDUSTRIAL - CERÁMICOS GALA"*

**PRESENTADO POR: Bach. JOEL EDSON CORNEJO**

**PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO QUIMICO**

**AYACUCHO – PERU**

**2017**

*Dedico este trabajo a mi Querida Madre, por ser el pilar más importante, por haberme dado la vida y permitirme haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional, por su ayuda moral y económica a pesar de las dificultades, a mis hermanas que siempre me apoyaron, a mis maestros de la Universidad por su valiosa enseñanza, a mi querida esposa por su ayuda a concluir este trabajo y a mi amado hijo Thiago, el más grande motivo de mi superación.*

## INDICE

	Página
Objetivos.....	2
Introducción.....	3
<b>CAPITULO I: GENERALIDADES</b>	
1.1. LA EMPRESA.....	4
1.1.1. Razón Social.....	4
1.1.2. Ubicación geográfica.....	4
1.1.3. Organización.....	4
1.1.4. Organigrama.....	5
1.2. LOS PRODUCTOS.....	5
1.2.1. Productos elaborados en la Planta.....	5
<b>CAPITULO II: REVISION BIBLIOGRAFICA</b>	
2.1. MATERIAS PRIMAS.....	7
2.1.1. Arcillas.....	7
2.1.2. Caolinita.....	7
2.1.3. Sílice.....	9
2.1.4. Illita.....	10
2.1.5. Montmorillonita.....	11
2.1.6. Halloysita.....	12

2.1.7. Talco.....	14
2.2. MOLIENDA.....	15
2.2.1. Propiedades de los sólidos.....	15
2.2.2. Acciones a desarrollar en la molienda, elección de maquinas.....	17
2.2.3. Maquinas comúnmente usadas en instalaciones de molturación en seco.....	18
2.2.4. Constituyentes mineralógicos en la pasta de algunos productos cerámicos de pavimento.....	18
2.2.5. Ejemplos de análisis granulométricos con diversas tecnologías de molturación.....	19
2.3. PRENSADO.....	19
2.3.1. Sistemas de prensado en función del contenido de agua en la pasta (mezcla).....	20
2.3.2. Tipos de Prensa.....	20
2.4. SECADO.....	23
2.4.1. Materiales Arcillosos.....	24
2.4.2. Eliminación del agua de la arcilla en función del tiempo de secado.....	24
2.4.3. Comparación de secaderos túnel y secaderos rápidos verticales y horizontales.....	26
2.5. COCCION.....	28
2.5.1. Principios Generales.....	28
2.5.2. Análisis térmico y estudio del comportamiento del material en la cocción.....	28
2.6. ESMALTADO.....	36
2.6.1. Definición de fritas y esmalte.....	36

2.6.2. Mecanismo de formación y de formulación de un vidrio.....	36
2.6.3. Materias primas de normal uso y su influencia sobre la característica de los vidrios.....	37
2.6.4. Esmaltes blancos brillantes (mayólica).....	40
2.6.5. Esmaltes Mates.....	41
2.6.6. Engobes (fondos de preparación).....	41
2.6.7. Control a seguir sobre la línea de esmaltado.....	41

### **CAPITULO III: PROCESO DE PRODUCCION**

3.1. RECEPCION DE LA MATERIA PRIMA.....	42
3.2. MOLIENDA SECA.....	43
3.2.1. Molienda Primaria.....	43
3.2.2. Molienda final.....	44
3.2.3. Humectación - granulación.....	45
3.2.4. Controles en la molienda y humectación.....	46
3.2.5. Almacenamiento de la pasta.....	47
3.2.6. Diagrama de flujo de la planta de molienda seca.....	47
3.3. PRENSADO.....	48
3.3.1. Variables de prensado.....	50
3.3.2. Moldes y formatos.....	51
3.4. SECADO.....	52
3.5. ESMALTADO Y DECORADO.....	54

3.6. QUEMADO O COCCION DE LAS PIEZAS .....	56
3.6.1. Descripción de las zonas del horno .....	57
3.6.2. Controles en la etapa de quema .....	59
3.7. CLASIFICADO .....	60
3.7.1. Clasificación .....	60
3.7.2. Encajado y paletizado .....	61
3.8. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO PRODUCTIVO .....	62
3.9. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO PRODUCTIVO .....	63
3.10. BALANCE DE MATERIA DEL PROCESO PRODUCTIVO .....	65

#### **CAPITULO IV: CONTROL DE CALIDAD**

4.1. CLASIFICACION, CARACTERISTICAS .....	69
4.1.1. Clasificación por moldeo .....	69
4.1.2. Clasificación por absorción de agua .....	69
4.2. PRUEBAS DE LABORATORIO .....	70
4.2.1. Controles en el área de arcillas y molienda seca .....	70
4.2.2. Controles en el área de prensa - secadero .....	70
4.2.3. Controles en el área de esmaltado - decorado .....	71
4.2.4. Controles en el área de cocción (horno) .....	72
4.2.5. Controles en el producto terminado .....	72

**CAPITULO V: MANTENIMIENTO Y SEGURIDAD INDUSTRIAL.**

5.1. MANTENIMIENTO INDUSTRIAL.....73

5.2. SEGURIDAD INDUSTRIAL.....74

**CAPITULO VI: APORTES Y MEJORAS.**

APORTES Y MEJORAS.....75

CONCLUSIONES.....79

RECOMENDACIONES.....82

BIBLIOGRAFIA.....85

ANEXOS.....86

## OBJETIVOS

- Dar a conocer el proceso de producción de revestimientos cerámicos, las materias primas, las variables y controles respectivos.
- Hacer conocer la importancia de la mineralogía, humedad y granulometría de las arcillas en la molienda seca como variables de máximo control para garantizar que las distintas etapas subsiguientes se desarrollen correctamente.
- Hacer conocer la etapa de prensado, las variables que influyen como la humedad y granulometría de la pasta, así como las condiciones de los moldes, presiones, temperaturas y factores de carga de la prensa hidráulica.
- Conocer el proceso de secado en un secadero horizontal de cinco niveles, la curva de secado (Temperaturas) y el tiempo de secado (ciclo).
- Conocer la etapa de esmaltado y decorado, la importancia del control de las variables de los esmaltes como la viscosidad y densidad, peso de aplicación, y la clase de esmaltes utilizados en el proceso.
- Conocer el proceso de cocción de las baldosas en un horno monocanal, las etapas de la cocción, la curva de cocción, variables de control.
- Conocer los criterios de clasificación del producto final.
- Mostrar con diagramas de flujo el proceso productivo de revestimientos cerámico, así como el balance de materia.
- Conocer el control de calidad que se realizan en las diferentes etapas del proceso de producción.



## **INTRODUCCION**

La creciente demanda de materiales de acabado en el sector construcción en nuestro país y a la falta de oferta de los mismos a dado lugar a que exista un mercado insatisfecho, permitiendo de esta manera a que Aris Industrial, una empresa dedicada a la industria química y textil, incursione en el mercado de los revestimientos cerámicos, ya que en el Perú solo existen dos empresas dedicadas a este rubro.

La exigencia en la calidad de los productos por parte del mercado consumidor hace que esta industria esté preocupada por obtener materiales que cumplan con las normas y estándares exigidos, por esta razón Aris Industrial fabrica sus productos cerámicos bajo la Norma Europea y la Norma Técnica Peruana.

El presente informe tiene un alcance en el campo de la producción de revestimientos cerámicos para piso y pared; empezando con la molienda de las arcillas, la importancia de la humedad y la granulometría, seguido del proceso en sí de la fabricación iniciando con el prensado, secado, esmaltado, decorado, cocción de las baldosa, la clasificación y criterios de clasificación, los controles de calidad a la materia prima, producto intermedio y producto terminado.

También abordaremos nuestros aportes que hicimos para el mejoramiento del proceso y la calidad de nuestros productos en sus diferentes formatos.

## **CAPITULO I**

### **GENERALIDADES**

#### **1.1.LA EMPRESA**

##### **1.1.1. Razón Social**

Aris Industrial S.A es una empresa de capitales privados dedicada a la elaboración de productos químicos básicos, productos textiles y ahora con su línea de revestimientos cerámicos.

##### **1.1.2. Ubicación Geográfica**

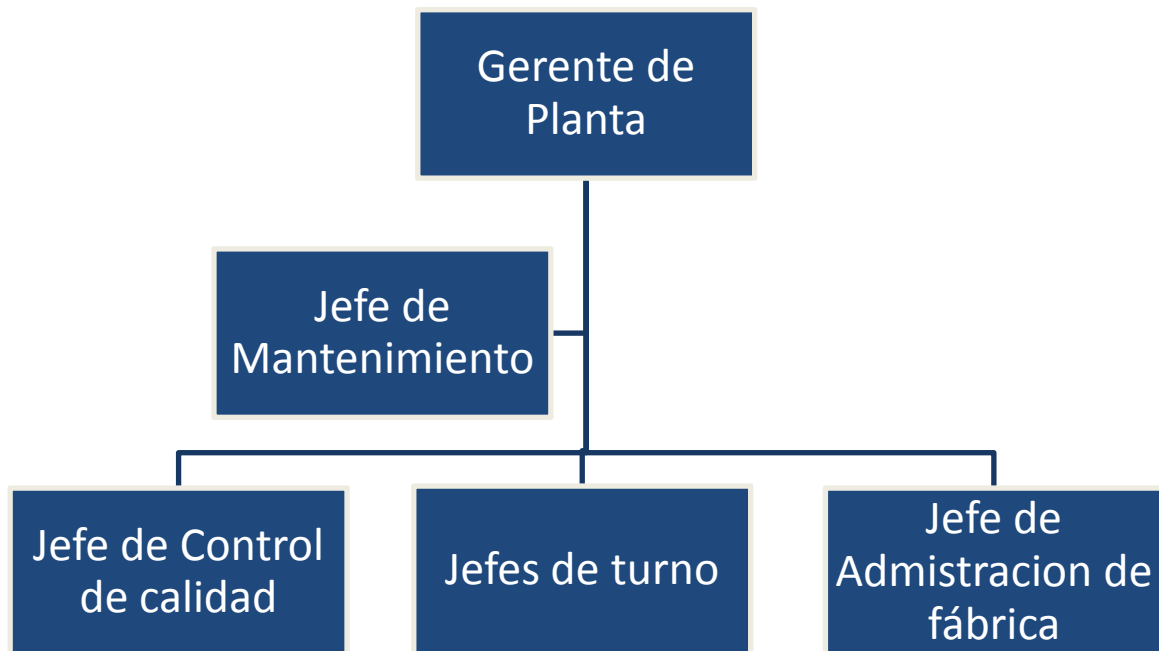
La Planta de revestimientos cerámicos está ubicada en el distrito de Lurín Km 40 carretera Panamericana Sur, departamento de Lima.

##### **1.1.3. Organización**

La Unidad de Revestimientos cerámicos de Aris Industrial S.A está organizada de la siguiente manera:

- Gerente de Producción
- Jefe de mantenimiento
- Jefe de administración de fabrica
- Jefes de turno
- Jefe de control de calidad
- Personal de planta.

#### 1.1.4. Organigrama



### 1.2.LOS PRODUCTOS

Aris Industrial S.A en su línea de revestimientos cerámicos elabora baldosas de dos formatos; 33x33 y 45x45, con múltiples diseños como lisos, mármoles, maderas, geométricos, rústicos, piedras, granillados, etc.

#### 1.2.1. Productos elaborados en la Planta:

Aris Industrial en su línea de cerámicos elabora los siguientes productos detallados en el siguiente cuadro:

**Cuadro N° 1.1****Productos que elabora Aris Industrial en su línea cerámica.**

<b>Tipo de Revestimiento</b>	<b>Formato 45x45</b>	<b>Formato 33x33</b>
Madera Chopa	X	
Madera Pianezza	X	
Madera pinotea	X	
Madera parquet olivo	X	
Madera Havana caramelo	X	
Madera Havana natural	X	
Madera Siena	X	
Madera Paraná	X	
Madera Aspen	X	
Marmol Onix	X	
Marmol Imperial	X	
Marmol Breccia	X	
Mármol alpi	X	
Mármol Aitana	X	
Mármol Savana	X	
Rustico coto	X	
Rustico compacto	X	
Rustico concreto	X	
Piedra trento	X	
Piedra aragon	X	
Piedra jakarta	X	
Piedra limo	X	
Mármol Zarci		X
Mármol emperador		X

## **CAPITULO II**

### **REVISION BIBLIOGRAFICA**

#### **2.1. MATERIAS PRIMAS**

##### **2.1.1. ARCILLAS**

Se entiende por arcilla, un material terroso, de grano generalmente fino y capaz de:

- Convertirse en una masa plástica al mezclarse con cierta cantidad de agua.
- Conservar la forma inicial después del secado y adquiriendo a la vez la suficiente dureza como para poder ser manejada.
- Adquirir gran dureza después de ser sometida a temperaturas superiores a 600°C y de forma que mantiene la forma original.

La arcilla es un silicato de alúmina hidratado, generalmente impurificado por otras sustancias <sup>(1)</sup>.

##### **2.1.2. CAOLINITA**

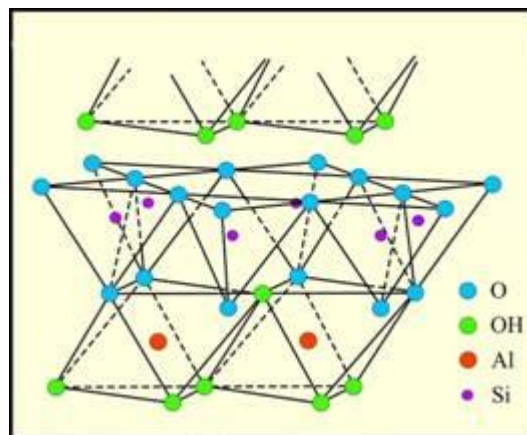
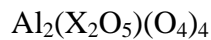
De la asociación de la palabra china “Kan. Ling”, que significa “Colina Alta”, que indicaba, en la provincia de Kiangsi, el primer lugar donde esta materia prima fue extraída para utilización cerámica.

El elemento base está constituido en la asociación de una capa tetraédrica, formada por cuatro átomos de oxígeno (cada uno con dos cargas negativas) situados en los vértices de los ángulos y un átomo de silicio (con cuatro cargas positivas) ubicado en el centro, y una capa octaédrica, formada por seis grupos OH (cada uno llevando una carga negativa) que ocupan todos los vértices de la estructura y un catión (generalmente trivalente aunque también puede ser bivalente) en posición central.

La unidad tetraédrica presenta así cuatro cargas negativas no saturadas; aunque la octaédrica es negativa con tres (si el catión es trivalente) o cuatro (si es bivalente) cargas no saturadas.

En el elemento base caolinítico las dos capas “se ligan” procediendo a la sustitución de un oxidrilo OH<sup>-</sup> de cada octaedro con la compartición del átomo de oxígeno, situado al vértice del tetraedro, que disponía de una carga libre. Este anión viene así compartido entre un tetraedro y dos octaedros en cuanto cada grupo oxidrilo OH<sup>-</sup> es enlazado por los cationes de aluminio de dos octaedros contiguos. Con este acoplamiento la estructura de la caolinita eléctricamente neutra; esta puede repetirse un elevado número de veces (en sentido vertical) conservando la misma distancia entre los planos iguales y próximos <sup>(1)</sup>.

### 2.1.2.1. Composición química



**Figura N° 2.1. Estructura química de la caolinita**

X = elemento en posición tetraédrica (Si<sup>4+</sup> y, como variante, Al<sup>3+</sup> y Fe<sup>3+</sup> que conllevan a la deficiencia de una carga positiva en la estructura).

La composición teórica de la caolinita es la siguiente:

SiO<sub>2</sub> = 46.54%; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 39.50%; H<sub>2</sub>O = 13.96%

La caolinita encuentra aplicación en una vasta gama de productos cerámicos (sanitarios, azulejos, vajilla, etc.) con funciones de ligante plastificante.

Los porcentajes de empleo varían de un producto a otro. Comúnmente, a grandes líneas, las cantidades utilizadas son las siguientes:

Sanitarios	22-20 %
Azulejos (Revestimiento poroso)	25 - 35 %
Monococción “semiblanca” (pavimento)	25 - 40%
Gres cerámico (porcelanato)	30 – 40%
Vajilla	20 – 35%

### 2.1.3. SILICE

Del latín Sílex, que significa “piedra dura”.

La estructura base de la sílice está formada de un tetraedro que tiene en los vértices los aniones de oxígeno y en el centro el átomo de silicio; de manera que un solo tetraedro posee cuatro cargas negativas.

La sílice anhidra se presenta bajo tres formas cristalinas: cuarzo, tridimita y cristobalita y una amorfa vítrea. Cada especie fundamental presenta la variedad que resulta estable entre determinados intervalos de temperatura.

La temperatura a la cual se producen las transformaciones más importantes son las siguientes:

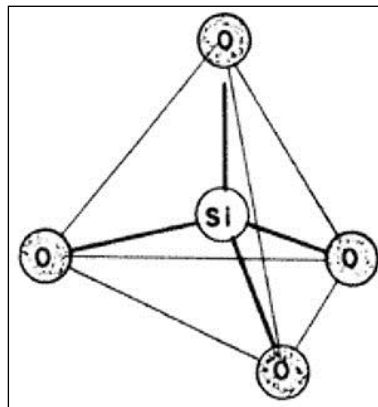
Cuarzo . Tridimita 870°C

Tridimita β1. B2 117°/163°

Cuarzo α . Cuarzo β 573°

Cristobalita β 220° + 270°

Tridimita . Cristobalita 1470°



**Figura N° 2.2. Estructura química de la sílice**

La cantidad de uso en la mezcla es cerca del 20-25%. La vajilla en loza requiere cerca del 10 – 15 %, mientras que los azulejos en pasta blanca para revestimiento esmaltado requieren entre 10 -20%.

Aunque las piezas para monococción, sea de pasta blanca o roja, también emplean pequeñas cantidades de arena (máximo 10-15%).

En el sector de las piezas monococción el principal es el de introducir inertes en la mezcla favoreciendo la desgasificación de eventuales impurezas presentes en la materia prima (Sustancia orgánica) y la extracción del agua durante el proceso de secado, además se obtiene una reducción de la contracción dimensional y de las deformaciones (en cocción) <sup>(1)</sup>.

#### 2.1.4. ILLITA

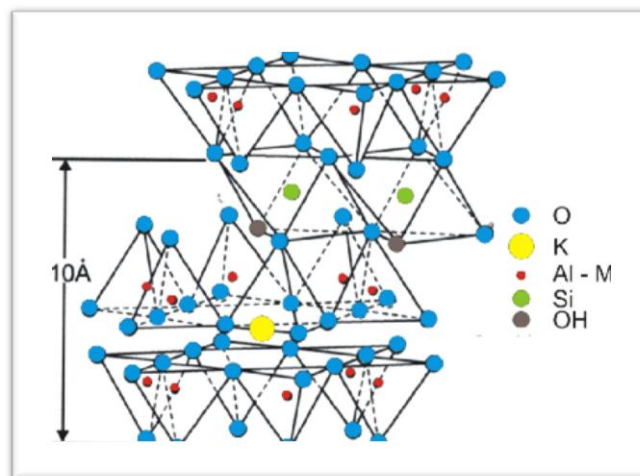
El termino deriva del estado norteamericano de Illinois del cual provenía el primer mineral identificado.

La estructura mineralógica es similar a la de la mica; la unidad base estructural está formada por dos “hojas” tetraédricas que parecen una octaédrica (forma trioctaédrica) y resulta prácticamente igual a la de la montmorillonita salvo que algunos cationes de silicio son siempre sustituidos por aluminio al cual se agrega el potasio que nivela el equilibrio eléctrico de la estructura.

El catión potasio esta sólidamente ligado y no resulta fácilmente sustituible como sucede con la montmorillonita <sup>(1)</sup>.

##### 2.1.4.1. Composición química

La formula de la moscovita es la siguiente:



**Figura N° 2.3. Estructura Química de la Illita**

La de la Illita es muy similar pero no completamente definible; el aluminio sustituye al silicio con menos frecuencia y en consecuencia, se requerirá la presencia de menos potasio.

La Illita se utiliza generalmente en:

- Soportes coloreados de alta porosidad (mayólica) para revestimiento esmaltado
- Soportes coloreados de media porosidad para pavimentos (Cottoforte) y revestimiento esmaltado, soportes no esmaltados tipo “Cotto Toscano”
- Vajillas rusticas, alfarería
- Ladrillos extrusionados de grandes dimensiones.



### 2.1.5. MONTMORILLONITA (SEMECTITA)

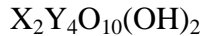
Deriva del nombre de la localidad de Montmorillon (Francia) donde fue localizado y sucesivamente identificado este mineral arcilloso.

La estructura base (Trioctaédrica) está formada por dos planos tetraédricos que forman uno octaédrico. Se trata de la estructura específica de la pirofilita. Algunos miembros de la familia de la montmorillonita derivan de la sustitución del silicio por aluminio en el tetraedro y la del magnesio y hierro bivalente en el lugar del aluminio en el octaedro.

Las fuerzas que ligan los cristales de los minerales de este grupo son particularmente débiles. De hecho no están ligados por el hidrogeno (como en la caolinita) en cuanto no exista la posibilidad de contacto entre los estratos octaédricos y tetraédricos aparece una estructura base diferente, siendo el primero “prisionero” en el interior del segundo. El único enlace existente está constituido por las débiles fuerzas de Van der Waals y por tanto resulta extremadamente fácil la inserción de moléculas de agua con el resultado de hacer “Expandir” la estructura cristalina hasta casi seis veces el volumen original.

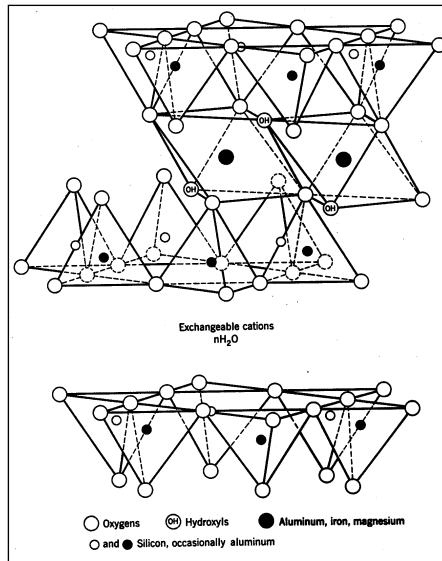
Una característica de la montmorillonita que explica una parte del comportamiento peculiar es la extremadamente reducida dimensión de las partículas. Existe pues una fuerte diversidad entre la montmorillonita sódica y cálcica, la primera registra valores de plasticidad y de capacidad de cambio iónico muy elevados <sup>(1)</sup>.

#### 2.1.5.1. Composición química



X = catión aluminio trivalente y sustituto magnesio bivalente (plano octaédrico) más cationes mono o bivalentes que se adhieren a la estructura para equilibrar las sustituciones eléctricamente no equilibradas.

Y = catión silicio tetravalente y sustituto Aluminio trivalente (plano tetraédrico) más cationes mono o bivalentes que se adhieren a la estructura para equilibrar las sustituciones eléctricamente no equilibradas.



**Figura N° 2.4. Estructura química de la Montmorillonita**

### Composición teórica:

$SiO_2 = 66.7\%$ ;  $Al_2O_3 = 28.3\%$ ;  $H_2O = 13.96\%$

Mientras que el empleo de materias primas arcillosas conteniendo montmorillonita en estratos mixtos con Illita es bastante generalizado (especialmente en la producción de azulejos, ladrillos, vajillas), los materiales exclusivamente montmorilloníticos están muy limitados por su comportamiento expresado en el apartado anterior. En particular se nota que la montmorillonita interfiere negativamente y de manera muy acusada en las propiedades reológicas de la barbotina. La bentonita cuando se hidrata se hincha enormemente y adquiere el aspecto de un gel coloidal<sup>(1)</sup>.

### 2.1.6. HALLOYSITA

Se trata de un mineral de familia de la caolinita, constituido por tanto, por la asociación de un plano tetraédrico con un octaédrico con la particularidad de estar hidratado (dioctaédrico).

La presencia de un interestrato de moléculas de agua confiere un cierto “movimiento” a la “lamina” que tiende así a enrollar en forma cilíndrica como se observa claramente en el microscopio electrónico. Para explicar este comportamiento característico se recurre a las tensiones diferenciales entre el plano tetraédrico y el octaédrico. La atracción entre los planos es evidentemente superior a la tensión diferencial, dado que en caso contrario se derivaría a la destrucción del retículo mismo.

Los cilindros pueden enroscarse y apilarse pasando a la metahalloysita, caracterizada por una menor presencia de agua y de una distancia reticular de  $7.4\text{Å}$  (contra  $10.1\text{Å}$  de la

halloysita). La metahalloysita pierde toda el agua del interestrato en torno a los 200°C adoptando irreversiblemente una estructura similar a la de la caolinita.

Es interesante observar como las dimensiones de los cristales de varios minerales de la familia de la caolinita son dependientes con el grado de estabilidad (y del orden) de la estructura. Se observa así que las partículas más pequeñas pertenecen a la halloysita mientras que las más gruesas son los de la caolinita <sup>(1)</sup>.

### 2.1.6.1. Composición química



**X** = elemento en posición tetraédrica (prácticamente se trata siempre de  $\text{Si}^{4+}$  en cuanto no se observa casi nunca la sustitución con variantes tipo  $\text{Al}^{3+}$  o  $\text{Fe}^{3+}$  que, como se observa, conlleva la deficiencia de una carga positiva de la estructura)

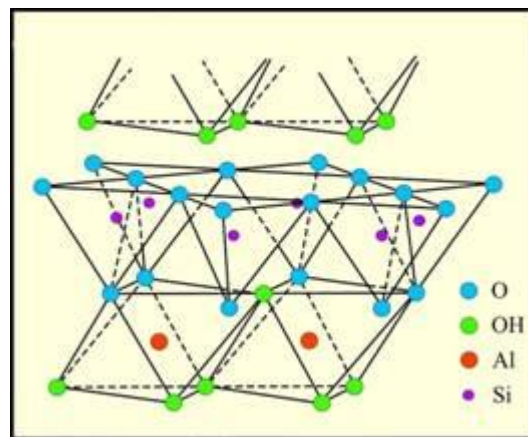


Figura N° 2.5. Estructura química de la Halloysita

Se utiliza para producir piezas más o menos coloreadas (generalmente en composición con otras materias primas, de granulometría gruesa, para corregir el comportamiento en el secado).

En tal producción el empleo de halloysita encuentra justificación cuando de intenta aumentar la plasticidad de la mezcla. Se observa que este mineral tiene un comportamiento reológico muy pobre por lo cual el empleo en molienda húmeda deflocula la pasta.

En general el uso de una materia prima halloysitica debe ser siempre conteniendo (5-20%); en este porcentaje puede encontrar aplicación bastante generalizada <sup>(1)</sup>.

## 2.1.7. TALCO

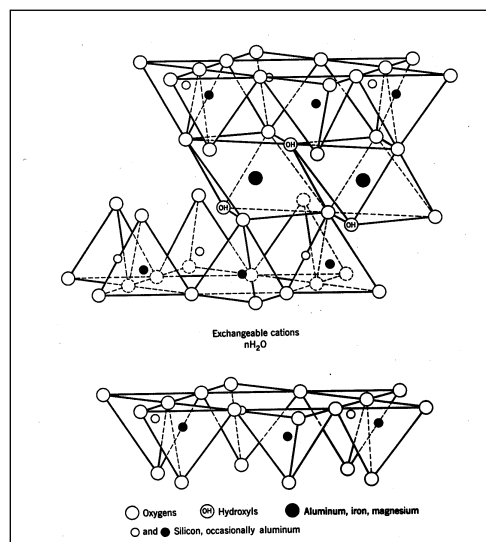
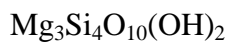
Se trata de un mineral que tiene una estructura tipo mica con una “hojas” elementales constituidas por dos planos hexagonales de tetraedros de sílice conteniendo un plano octaédrico  $Mg^{2+}$ .

El elemento estructural de base resulta neutro y goza de una gran estabilidad.

El talco, a causa de la propia estructura, puede ser considerado como perteneciente a la familia de los minerales arcillosos. Posee una característica estructura esquistos laminar (talcoscita) y presenta una cierta “untuosidad” al talco. Existe una variedad de estructura más maciza, conocida con el nombre de esteatita <sup>(1)</sup>.

### 2.1.7.1. Composición química

Es un metasilicato ácido de magnesio que tiene la siguiente fórmula:



**Figura N° 2.6. Estructura del Talco**

No es posible ninguna sustitución con elementos catiónicos de carga deficitaria; no se puede siquiera introducir cationes alcalinos. También las rocas de talco contienen generalmente varias impurezas que influyen marcadamente las propiedades.

Como media el talco está formado por cerca de 50% de sílice, un 30% de magnesio y un poco menos del 10% de alúmina.

La introducción del talco en empastes cerámicos se hace con la función de controlar la expansión térmica.

El aspecto dilatométrico asume particular importancia en la producción de azulejos. A temperaturas más bajas (o sea, antes de que se desarrollen las reacciones en estado líquido) esta caracterizado por un elevado coeficiente de dilatación que favorece el acuerdo entre el esmalte y el soporte, de manera que se comporta como sustituto de los carbonatos.

A temperaturas más elevadas tiene a veces un efecto opuesto y se introduce para mejorar la resistencia al choque térmico de los productos cerámicos que sinterizan a estas temperaturas.

En gres y vitrificados en monococción pequeños porcentajes (sobre 5%) reduce la temperatura de cocción y aumenta la velocidad del ciclo.

## **2.2. MOLIENDA**

Cuando se habla de la molturación de sólidos, se entiende toda una serie de operaciones tendentes a la reducción de las dimensiones del material que van desde la premolturación hasta una pulverización.

Pero la molturación no tiene por objeto la simple obtención de pequeñas partículas de tamaño menos grueso que de partida; sino producir un material con un determinado diámetro medio de partículas y una distribución granulométrica adecuada para el producto que se desea obtener.

En general, los objetivos finales del proceso de reducción de las dimensiones de los sólidos son variados, pero se puede afirmar que el aumento de la superficie específica del material permite la obtención de elevada homogeneidad de las masas, y además la obtención de reacciones químicas más completas en tiempos breves.

### **2.2.1. Propiedades de los Sólidos**

Algunos factores y propiedades de los materiales influyen notablemente en la eficacia de la molturación, los más importantes son:

#### **a) Dimensiones lineales**

- El diámetro en el caso de partículas esféricas.
- La arista, en el caso de partículas de forma cubica, etc.

La arcilla se suministra en general al productor de cerámica en trozos máximo de 10 a 20 cm.

## b) Dimensiones de la superficie externa de las partículas a molturar

El cálculo podrá ser fácil si se trata de formas esféricas o cúbicas. Pero será de cualquier modo siempre posible aunque la pieza sea más compleja o irregular.

Los materiales duros como la calcita, dolomita, feldespato y sílice se presentan con formas cúbicas o de paralelepípedo, con aristas más o menos redondeadas, también en placas de diversas dimensiones.

## c) Dureza

Es uno de los parámetros más importantes para la molturación de los materiales; resulta fundamental el conocimiento de la:

- **Resistencia a la compresión;** particularmente importante para la molienda en seco de materiales duros.
- **Resistencia al choque;** entra en juego en el caso de la molienda en seco de la arcilla y de la molienda húmeda de materiales duros.
- **Resistencia a la abrasión;** importante en la molienda húmeda de materiales duros.

En el caso de la materia prima para la cerámica, la resistencia a la abrasión se expresa en valores absolutos en la escala de Rosiwal (referidos al corindón), Mide en una escala absoluta la dureza de los minerales, se expresa como la resistencia a la abrasión medida en pruebas de laboratorio y tomando como base el corindón con un valor de 1.000, variando enormemente de un tipo a otro, por ejemplo:

Arcilla normal	= valor inferior a	0.03
Arcilla compacta	= valor entre	0.03 y 0.3
Arcilla esquistosa	= valor entre	0.30 y 4.5
Talco	= valor inferior a	0.3
Calcita	= valor inferior a	5.60
Feldespato	= valor inferior a	59
Cuarzo	= valor inferior a	175.

## d) Estructura del material

Pueden ser compactas o heterogéneas, con planos de fractura causal o con planos de exfoliación bien determinada.

Los materiales duros presentan estructura compacta, como el cuarzo, feldespato, calcáreas sedimentarias y metamórficas muy fisuradas como la calcita y dolomita de sedimentación y no excesivamente meteorizada.

## e) Peso específico

No tiene mucha importancia para la molturación de los materiales sólidos compactos.

**f) Humedad e higroscopicidad**

Ejercen un efecto importante para la eficacia de la molturación, en cuanto reducen el rendimiento de las maquinas.

Con el aumento de la humedad disminuye la capacidad productiva de molturación, naturalmente del grado de finura logrado.

**g) Tendencia a la aglomeración conglomerado o a la floculación**

Produce una reducción en el rendimiento de la molturación.

**2.2.2. Acciones a Desarrollar en la Molienda, elección de las maquinas.**

Las acciones desarrolladas durante la molturación son:

- a) Compresión simple (aplastamiento).
- b) Percusión (del instrumento de la maquina sobre el material).
- c) Choque (del material sobre la parte apropiada de la maquina)
- d) Abrasión.
- e) Corte o cizallado.

Toda la maquinaria utilizada en los procesos de molturación trabaja sobre estos principios antes expuestos.

Para la definición de campo de acción de las maquinas más utilizadas y para tener una indicación, aunque sea a grandes líneas, para el usuario, en la elección de la maquinaria más adecuada, se puede seguir el siguiente esquema:

- a) Quebrantador de mandíbulas
- b) Quebrantador rotatorio
- c) Triturador o laminador dentado.
- d) Laminadores lisos o refinadores.
- e) Molinos a discos.
- f) Molinos a martillos de velocidad baja.
- g) Molinos de barros.
- h) Maquinas periféricas de baja velocidad (molinos de barras, de palas, de guijarros)
- i) Maquinas periféricas de velocidad media (molinos de anillos centrífugos, molinos de bolas).
- j) Maquinas periféricas de alta velocidad (molinos pendulares, molinos de martillos de velocidad alta).
- k) Micronizadores.

La elección de la tecnología de molturación depende en parte del grado de finura de las partículas, necesario para obtener un cierto producto sin menoscabo de otros factores.

La molturación en seco viene de hecho adoptada para mezclas compuestas de un máximo de 2 o 3 arcillas similares, ya sea en su contenido mineralógico o por sus características físicas.

Los resultados silíceos o arenosos demasiado gruesos contenidos en la arcilla, deben estar en proporción muy reducida.

La molturación en seco es por tanto utilizable para la producción de:

- Bizcocho de cottoforte y mayólica
- Bizcocho de gres y semigres de monocción – monoporosa para pavimento y revestimiento.

### **2.2.3. Maquinaria comúnmente usada en las instalaciones de molturación en seco.**

En la producción de piezas cerámicas se usan normalmente arcillas con una humedad máxima de 4-5%. La premolturación reduce el material de una dimensión máxima cercana a los 20 cm de entrada a una pieza de 6 cm máximo.

A continuación se sigue con una fracturación de aspas o rodillos dentados. El sucesivo desmenuzamiento (fracturación secundaria) de la arcilla está asegurada por el molino de impacto con coraza oscilante (Prall Mhule); el material se lleva así a un granulado con dimensiones máximas de 5 mm.

La verdadera molturación se consigue con molinos desintegradores centrífugos de barrotos, molinos de martillos fijos o móviles y molinos pendulares, según la finura elegida de las partículas.

Para la elección de la tecnología de molturación es importante algunos conocimientos sobre la materia prima como:

- Parámetros físicos más importantes; para cada tipo de producto se adopta un ciclo de molturación en función de algún parámetro fundamental.
- Propiedades Físicas; de la materia prima analizada, por ejemplo: tamaño, humedad en la mina, dureza, etc.
- Tipo de granulometría necesaria del polvo molturado para la conformación. Esta es típica, dentro de ciertos intervalos, del producto requerido.
- Tipos de minerales que constituyen las impurezas del material base y su relativa dimensión lineal<sup>(1)</sup>.

### **2.2.4. Constituyentes mineralógicos en la pasta de algunos productos cerámicos gresificado de pavimento.**

Mineralógicamente esta arcilla contiene:

Illita, caolinita, clorita y montmorillonita.....	50 al 80 %
Cuarzo libre.....	5 al 15 %
Minerales de hierro.....	5 al 15 %
Mica.....	0 al 10 %
Carbonatos de calcio y magnesio.....	0 al 3%

Para este tipo de producción se necesita una molturación fina de la arcilla, sobre todo para aumentar la reacción de los minerales de hierro y los alcalinos y poder obtener superficies a la vista, libres de puntos, lisas y lo más uniforme posible.



La molturación fina mejora en general el intervalo de gresificación del material, mientras aumenta sensiblemente la contracción en cocción; tratándose de pavimento con una porosidad muy baja <sup>(1)</sup>.

### 2.2.5. Ejemplos de análisis granulométricos obtenidos con diversas tecnologías de molturación.

**Cuadro N° 2.1**

#### **EJEMPLOS DE ANALISIS GRANULOMETRICOS POR TIPO DE MOLIENDA**

<b>GRANULOMETRIA DE ARCILLAS</b>					
<b>MOLTURACION SECA</b>				<b>MOLTURACION HUMEDA</b>	
	Arcillas terrosas		Arcillas compactas		
<b>Tamaño Malla (Micras)</b>	Triturador + M. de barrotes		M. de impacto + M. de barrotes	Molino pendular	Tambor rotativo
<b>Más de 500</b>			6.00		
<b>Más de 300</b>		11.40	25.00	2.40	
<b>Más de 250</b>	8.20	6.50	17.00	0.70	
<b>Más de 180</b>		11.00	4.00	2.50	
<b>Más de 125</b>	3.97	14.20	14.00	11.20	
<b>Más de 100</b>	6.37	7.60	5.60	7.90	
<b>Más de 75</b>	8.00	10.80	9.40	14.30	1.10
<b>Más de 60</b>	8.25	8.50	5.00	9.60	3.50
<b>Más de 50</b>	15.00	27.00	14.00	42.40	12.00
<b>Más de 40</b>	50.30	3.00		9.00	14.00
<b>Menos de 40</b>		0.00			69.40

Fuente: Asociación Técnicos Cerámicos (SACMI Imola).

### 2.3. PRENSADO

En el prensado suceden contemporáneamente tres operaciones:

- Formación de la pasta; en el sentido de dar a la materia prima, inicialmente sin forma propia, una geometría bien definida y prestabilidad.
- Compactación de la pasta; en el sentido de dar consistencia a la materia para resistir en crudo y en cocción todas las exigencias mecánicas, químico-físicas a que el material está expuesto.

- Compactación; en el sentido de limitar los vacíos existentes entre las partículas de la pasta (mezcla). La eliminación total de dichos vacíos es prácticamente imposible de alcanzar y llevaría a la pasta a su peso específico real.

Respecto a los otros sistemas de formación como el extrusionado, colado, electroforesis, etc. el prensado presenta las siguientes ventajas:

- Alta resistencia mecánica en crudo; debido a presiones específicas de 250-500 Kg/cm<sup>2</sup> sobre el material.
- Alta productividad; con el prensado se alcanzan grandes producciones horarias con empleo mínimo de mano de obra, además por la facilidad de automatizar las fases de acabado y transporte de las piezas.
- Facilidad de secado; es muy evidente sobre todo en el caso de prensado en seco y semi-seco.
- Facilidad de obtener en el producto acabado dimensiones y formas exactas.
- Mínimas deformaciones en las operaciones sucesivas al prensado, como el secado, esmaltado y cocción.
- Reducción de contracción; a causa de la reducción de los vacíos con la aproximación de las partículas de la pasta (mezcla), se limitan las contracciones que pueden ocurrir en el secado y en la cocción.

### **2.3.1. Sistemas de prensado en función del contenido de agua en la pasta (mezcla)**

#### **a) Prensado plástico.**

La mezcla tiene un porcentaje de agua del 20-25%, se utilizan moldes de yeso cementado sobre matrices de escayola.

#### **b) Prensado Semi-plástico**

La mezcla tiene un porcentaje de agua del 15-20%, se utilizan moldes metálicos con superficies muy pulidas.

#### **c) Prensado Semi-seco**

Los polvos tienen una humedad del 10-15%.

#### **d) Prensado en seco**

El polvo presenta una humedad del 0-10%.

### **2.3.2. TIPOS DE PRENSA**

Hechas las premisas necesarias, procedemos ahora a hablar del prensado en seco, utilizado en la producción de azulejos. Puede haber tres tipos fundamentales de prensas según el principio que utilicen en la formación del producto:

- Prensas Mecánicas
- Prensas hidráulicas
- Prensas isostáticas.

## **A.- Prensas Mecánicas**

Trabajan sobre el polvo de manera veloz y violenta, mediante una acción dinámica, o sea mediante un golpe instantáneo.

Se convierte en una cierta cantidad de energía cinética, acumulada normalmente en un volante de rotación, en trabajo de deformación por compresión a través de un sistema de enrollamiento (prensa a rodillera) o a través de un acoplamiento tornillo y tuerca (prensa de balancín o fricción).

## **B.- Prensa Hidráulica**

La acción de prensado viene efectuada mediante la transformación de energía hidráulica en fuerza de deformación según la siguiente fórmula:

$$F = S \times P, \text{ donde}$$

F = fuerza deformante (Kgf)

S= superficie (cm<sup>2</sup>)

P= Presión del aceite (Kgf/cm<sup>2</sup>)

En este tipo de maquina vemos una estructura mecánica, una central hidráulica, un automatismo electrónico. Como estructura, la maquina es muy simple, siendo prácticamente el órgano principal de movimiento y de empuje un pistón a doble efecto que se mueve dentro de un cilindro.

La principal, y la más importante particularidad de la prensa hidráulica, es la constancia de la cadencia de los ciclos en el tiempo.

## **C.- Prensas Isostáticas**

El material no es comprimido entre órganos mecánicos rígidos, sino directamente de una presión hidráulica, que actúa sobre la pasta a través de una pieza elástica (molde de goma). El material está expuesto en cada punto de la superficie a la misma presión.

El molde está inmerso en un líquido contenido dentro de un depósito, el cual se pone en presión.

### **2.3.2.1. Ciclo de Prensado.**

Hay una primera fase de carga de polvo en el molde, durante el cual, el carro deslizándose bajo la tolva extrae el polvo y lo descarga en los alveolos del molde.

Sigue la fase de cierre del molde y trabajo de los punzones mandados por los órganos previstos, se efectúa entonces una primera prensada la cual debe ser oportunamente dosificada su intensidad y la duración para favorecer la expulsión del aire del material. La expulsión de aire viene sobre todo en una fase siguiente denominada aireación en la cual se favorece la salida del aire del material disminuyendo la velocidad y abriendo parcial o totalmente el molde.

Siguen después una a dos fases de verdadero prensado, en el cual usando de manera diferenciada la fuerza de la maquina, se tiende a obtener suficiente resistencia mecánica y una compactación del producto.

Se llega por fin a la fase de formación con apertura del molde y extracción del azulejo. Esta operación es simultánea a la carga del polvo en el alveolo del molde y el ciclo esta completo.

El prensado está condicionado fundamentalmente por la composición y por la tecnología de preparación de la mezcla.

La composición mineralógica, las características químico-cerámicas y las condiciones físicas de la mezcla a prensar pueden influenciar en las características finales y los defectos del material en todas las fases del ciclo productivo.

Si no viene distribuido o prensado uniformemente el polvo, en el alveolo del molde, se pueden encontrar descartes por rotura de secado y de precalentamiento, desventados de enfriamiento y otros defectos, pero no se modifican los parámetros del producto como: contracción, absorción de agua, porosidad, carga de rotura, coeficiente de dilatación.

**Cuadro N° 2.2****CARACTERISTICAS ÓPTIMAS EN CRUDO DE ALGUNAS PASTAS PARA PAVIMENTO.**

		<b>MOLIENDA EN SECO</b>	<b>MOLIENDA EN HUMEDO</b>	
		<b>Mezcla plástica</b>	<b>Mezcla plástica</b>	<b>Mezcla Magra</b>
	<b>HUMEDAD POLVO</b>	6.5 - 7.5	4.0 - 5.0	6.0 - 8.0
<b>POLVO</b>	Granulometría	sobre 600 micrones sobre 200 micrones sobre 180 micrones sobre 125 micrones sobre 75 micrones bajo 75 micrones	2 -3 % 55 25 10 5 Tr	Tr % 30 50 15 5 Tr
	Peso Específico aparente	0.70 a 0.75	1.0	1.15
<b>AZULEJO</b>	Relación de Reducción	3	2.1	1.9
	Carga de rotura en verde	16 a 19	12 a 14	7 a 10
	Carga de rotura en seco	45 a 55	30 a 35	16 a 18
	Prensabilidad Ps	2.8 (2.4 a 3.4)	2.5 (2.1 a 2.9)	2.0 (1.6 a 2.6)

Fuente: Asociación Técnicos Cerámicos (SACMI Imola).

**2.4. SECADO**

El agua, en estado líquido o de vapor contenido en un material da lugar a mecanismos más o menos complejos que modifican mecanismos que a su vez modifican las propiedades físicas del cuerpo según su contenido de humedad.

El secado es una operación que consiste en eliminar el agua de un cuerpo, es decir suministrarle una cierta cantidad de energía que le permita eliminar las moléculas de agua fijadas. Esta energía que depende primordialmente de la temperatura y del contenido en humedad de la atmosfera circundante a la sustancia a secar, a un determinado valor no es bastante suficiente para eliminar toda el agua fijada a la materia sólida. En este caso se

establece una condición de equilibrio entre la sustancia sólida y la atmósfera del secadero en cuanto que subsiste dentro del cuerpo una humedad residual que se elimina únicamente cuando se alcanzan condiciones de secado con aporte de mayor cantidad de energía. Con el fin de precisar mejor las condiciones precedentes es útil recordar algunas definiciones, fundamentalmente ligadas a las magnitudes higrométricas de la atmósfera y de los parámetros físicos concernientes al material húmedo <sup>(1)</sup>.

- **Humedad absoluta de un gas**

Es la masa de agua en estado de vapor que contiene la unidad de volumen del gas, viene expresada en g/m<sup>3</sup>.

- **Humedad de un cuerpo sólido**

Es la cantidad de agua relacionada a la unidad de masa del sólido seco (Tratado a 105°C), se expresa en %.

- **Humedad relativa o grado higrométrico de un gas**

Mide la relación entre la presión parcial del vapor de agua a la presión máxima a la misma temperatura.

$x = p/P$ , expresada en %

- **Punto de Rocío**

Es la temperatura a la cual el vapor de agua presente satura el gas. En estas condiciones el vapor comienza a condensarse bajo forma de pequeñas gotitas en suspensión.

- **Humedad residual de un cuerpo sólido secado**

Un material sólido seco dentro de una atmósfera que posee un cierto grado higrométrico no puede perder totalmente el agua y posee siempre una humedad residual en equilibrio con dicha atmósfera.

- **Energía de secado**

Cuando un cuerpo húmedo se seca, una cierta cantidad de energía hace pasar el agua desde el estado líquido al estado vapor. Esta energía puede ser relacionada a la unidad de masa o a un mol. Se puede admitir que la energía será el trabajo del vapor suponiendo gas perfecto, a la misma presión y a la presión parcial de la atmósfera de secado, por mol será:

$$W = R T \ln(P/p) = -R T \ln x$$

Expresándose, W en kilocalorías por kg de agua y "x" en % se tendrá:

$$W = -0.254 T (\log x - 2)$$

En el caso del gas, las nociones de humedad absoluta y humedad relativa dependen de la atmósfera a la cual el gas se encuentra. Por ejemplo; aire a 30°C y una humedad relativa del 40% contiene 12g de agua por m<sup>3</sup>, mientras a 5°C y al 80% contiene 5.4g de agua por m<sup>3</sup>. Esto deriva del hecho que el punto de rocío correspondiente al aire a 30°C y al 40% de humedad es más alto que el correspondiente a las condiciones de 5°C y al 80%.

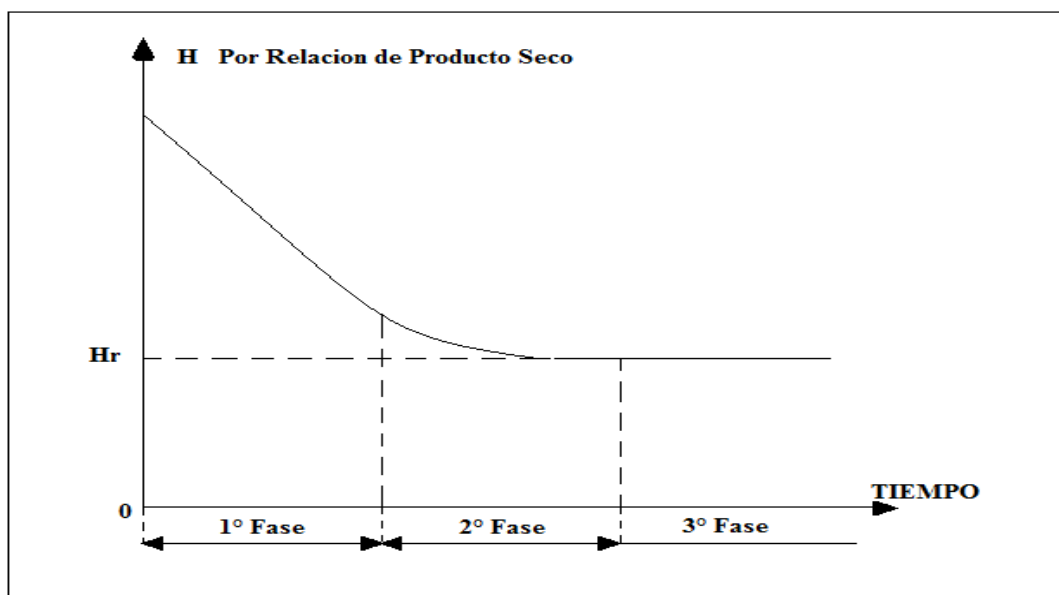
### 2.4.1. Materiales Arcillosos

Las materias primas utilizadas tradicionalmente en la industria cerámica están esencialmente constituidas por silicatos o silicoaluminicos naturales más o menos complejos. Estos silicatos, arcillas y caolines, presentan una estructura generalmente laminar y con propiedades de plasticidad notables en presencia de agua. La elevación de la cantidad de agua de las mezclas arcillosas crea un hinchamiento de la materia prima, mayor cuanto mayor es el contenido de agua. La operación inversa de secado tendrá lugar con una disminución de volumen de la pasta caracterizada por la contracción lineal observable en la pasta cruda.

Las moléculas de agua que están en contacto con las partículas arcillosas, las transforman en coloides caracterizados por micelas rodeadas de agua fuertemente ligada por fuerzas eléctricas, permaneciendo como agua intersticial más o menos fijada. De esto se deduce que el secado será bastante simple cuando se trata de eliminar agua intersticial o agua libre, mientras que presentara mayor dificultad el agua fuertemente ligada a las partículas arcillosas. Por consiguiente se puede dividir en mas fases el paso el paso del producto verde (material húmedo) al producto seco (características de una cierta humedad residual) <sup>(1)</sup>.

### 2.4.2. Eliminación del agua de la arcilla en función del tiempo de secado

Antes de estudiar la evolución de la contracción es preferible conocer la cinética del secado y registrar en función del tiempo la pérdida de peso de una muestra de arcilla de “pasta normal”. Para hacer esto se necesita un ambiente a higrometría constante, (resultado por medio de un psicrómetro) dentro del cual hay una balanza registradora, tipo balanza de Martin. La Figura N° 2.1 muestra una curva que es la misma para todas las arcillas y de la cual podemos distinguir tres fases en el tiempo.



La Figura N° 2.1. Curva de secado para arcillas

### **1° Fase: la velocidad de evaporación es constante.**

Se puede suponer que el agua libre se evapora en la superficie de la muestra y el agua libre en el interior de la muestra emigra hacia la superficie con una rapidez suficiente para mantener la periferia de la muestra húmeda. Parece que ésta velocidad es independiente de la naturaleza de la arcilla en estudio.

### **2° Fase: la tasa de evaporación disminuye.**

En este caso la contracción aproxima las micelas de arcilla, el agua libre en el interior no es capaz de llegar a la superficie con la velocidad suficiente para mantener la periferia de la pieza húmeda. En este momento la evaporación se transmite progresivamente al interior de la pieza y se ralentiza. En el transcurso de esta etapa se establece un gradiente de humedad.

### **3° Fase: la tasa de evaporación es prácticamente nula.**

La humedad de la muestra permanece estacionaria y corresponde al agua ligada que queda en la masa de la muestra. Esta agua está en equilibrio con la atmósfera húmeda del ambiente y su cantidad depende del grado higrométrico reinante en el ambiente. La muestra presenta una cierta sequedad media como la inversa de la humedad residual.

$$S = 1/Hr$$

### **2.4.3. Comparación de Secaderos Túnel y Secaderos Rápidos Verticales y Horizontales.**

Actualmente se usan casi exclusivamente dos tipos de secaderos:

- Secadero a túnel.
- Secaderos rápidos verticales/horizontales.

El tipo de producto o el tipo de cocción determinan ya una primera elección del secadero, de hecho usualmente para productos porosos y para bicocción se usa el secadero rápido.

Haciendo excepción a esta regla los grandes formatos (superiores a 25x 25 cm) en cottoforte o cualquier material que no soportan del todo el secado a pilas.

En el Cuadro N° 2.3 vienen divididos los diversos productos con sus respectivos tipos de secado tradicionales.



### Cuadro N° 2.3

#### Tipos de Secaderos y los diversos productos

<b>SECADERO TUNEL</b>	<b>SECADERO RAPIDO</b>
<b>Pasta Blanca</b>	Cottoforte (grandes formatos)
<b>Mayólica</b>	Gres Rojo
<b>Cottoforte (pequeños formatos)</b>	Monocción en todas las diversas pastas y métodos de cocción. Pastas particulares (con alta contracción de secado)

Fuente: Asociación Técnicos Cerámicos (SACMI Imola).

Los defectos que se pueden encontrar durante el proceso de secado, que es una de las fases más importantes del ciclo de producción, pueden ser múltiples y frecuentes no aisladas. Puede suceder que la pieza, controlada con gasoil no esté rota, sino simplemente debilitada, por lo cual solo en la cocción se verifica la rotura de la pieza. Con el secadero rápido es posible efectuar con bastante rapidez un gran número de pruebas, hasta determinar el diagrama de secado óptimo, con grandes posibilidades de intervenir sobre muchos parámetros, por ejemplo; cantidad de volumen, temperatura, humedad relativa, introducción de aire caliente y húmedo en zonas diferentes en la cámara de secado.

El secadero túnel, tiene menores posibilidades de maniobra, por el problema del mucho tiempo que hay que esperar para ver los resultados de la maniobra, ya que hay que esperar por lo menos el tiempo del ciclo para que se estabilicen la humedad y la temperatura a lo largo de todo el secadero.

Se ha observado experimentalmente, que para materiales porosos apilados a pilas altas, es muy importante el valor de la contracción de secado.

Serie de valores:

- Pasta blanca, valor máximo de contracción.....0.2 – 0.3 %
- Mayólica, valor máximo de contracción.....0.3 – 0.4 %
- Cottoforte, valor máximo de contracción.....0.2 – 0.3 %

Cuando una pasta supera los valores indicados es muy fácil que se presenten los defectos de agrietamiento en las piezas

Este problema es similar al provocado por una mala carga de la prensa, provocando grietas centrales.

Las grietas laterales, pueden ser provocadas por una excesiva sequedad del aire en la primera zona, de una humedad de prensado excesivamente alta, de una desuniformidad del polvo en la prensada, de golpes de aire sobre el material antes de entrar al secadero.

## 2.5. COCCIÓN

### 2.5.1. Principios Generales

La cocción es la fase central del proceso cerámico, caracterizada por un conjunto, bastante complejo, de transformaciones físicas y reacciones que es necesario conocer para poder gestionar y controlar este proceso.

Para adquirir el conocimiento del conjunto de transformaciones físico-químicas que se producen en el cuerpo cerámico expuesto a cocción, nos servimos de instrumentos de laboratorio que nos permiten seguir una serie de análisis que son la base de partida para definir los parámetros de la cocción de cada material cerámico.

Es oportuno dar una indicación de aquellos fenómenos más importantes que se producen en un cuerpo cerámico durante la cocción, teniendo en cuenta que diversos productos, pueden tener características de comportamiento diferente, y a veces contradictorio. En general se puede decir que en las diferentes fases de la cocción se producen los siguientes fenómenos:

- Próximo a los 100°C se produce la eliminación del agua higroscópica de la humedad residual, después de un mal secado, o absorbido en el esmaltado o del ambiente.
- Próximo a los 200°C se produce la eliminación del agua ceolítica, cuyas moléculas están ligadas por absorción en la estructura cristalina.
- Entre 350°C y 650°C se produce la combustión de la materia orgánica, que en diversa cantidad puede estar contenida en la arcilla, y, disociación de sulfatos y sulfuros con liberación de anhídridos sulfurosos.
- Entre 450°C y 650°C, eliminación del agua de constitución y consiguiente destrucción del retículo cristalino.
- A 573°C, se produce la transformación alotrópica del cuarzo  $\alpha - \beta$ , determinando un brusco aumento de volumen.
- Entre 800°C y 950°C descarbonatación de la cal y de la dolomita con liberación de CO<sub>2</sub>.
- A partir de 700°C formación de nuevas fases cristalinas constituidas de silicatos y silicoaluminatos complejos.

### 2.5.2. Análisis térmico y estudio del comportamiento del material en la cocción.

Las reacciones y transformaciones que suceden durante la cocción, están acompañada por emisiones o absorciones de calor, variaciones en el peso y en las dimensiones del cuerpo cerámico; estas variaciones se ponen en evidencia mediante análisis que serán brevemente descritos, teniendo en cuenta que estos exámenes dan un cuadro del comportamiento de diferentes materiales a diversas temperaturas, elemento esencial para poder dimensionar y controlar los hornos que las deberán producir.

### 2.5.2.1. Análisis termoponderal (TG)

Se realiza mediante una balanza especial de precisión que permite trazar un diagrama de la pérdida de peso que sufre una muestra mientras se calienta en pequeño horno eléctrico con gradiente térmico prefijado, de esta manera para cada temperatura de la muestra se tiene la pérdida relativa en peso y se pueden deducir las reacciones que ocurren en la pieza. La Fig. 2.2 muestra una curva termoponderal relativa a una arcilla illítica (Gres rojo). Se pueden apreciar dos rápidas variaciones, una entre los 100°C y los 150°C y otra entre 500°C y 600°C relativa a la pérdida de agua higroscópica la primera, y al agua de constitución la segunda.

La pérdida de peso total corresponde a la pérdida al fuego que es un dato aportado en cada análisis químico de arcillas. En la Fig. 2.3, relativa a una arcilla mayólica, se puede apreciar una brusca inclinación en torno a los 800°C, debido a la descomposición de carbonatos y dolomitas con liberación de  $\text{CO}_2$ <sup>(1)</sup>.

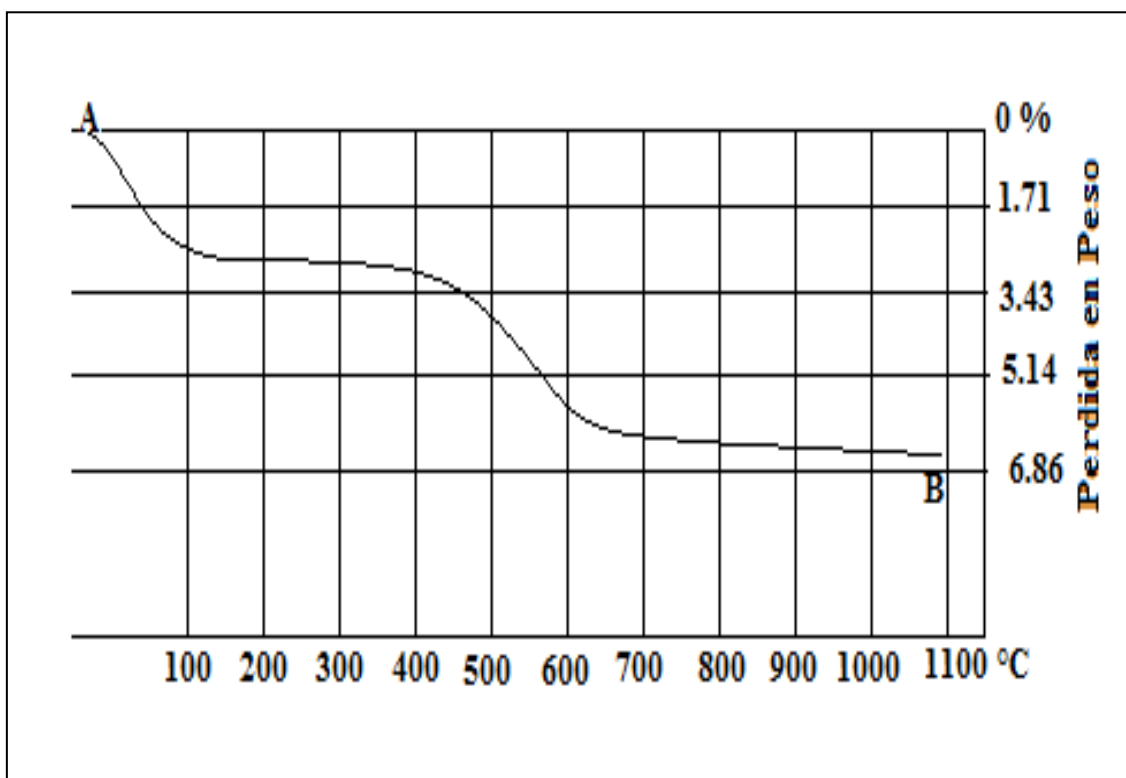
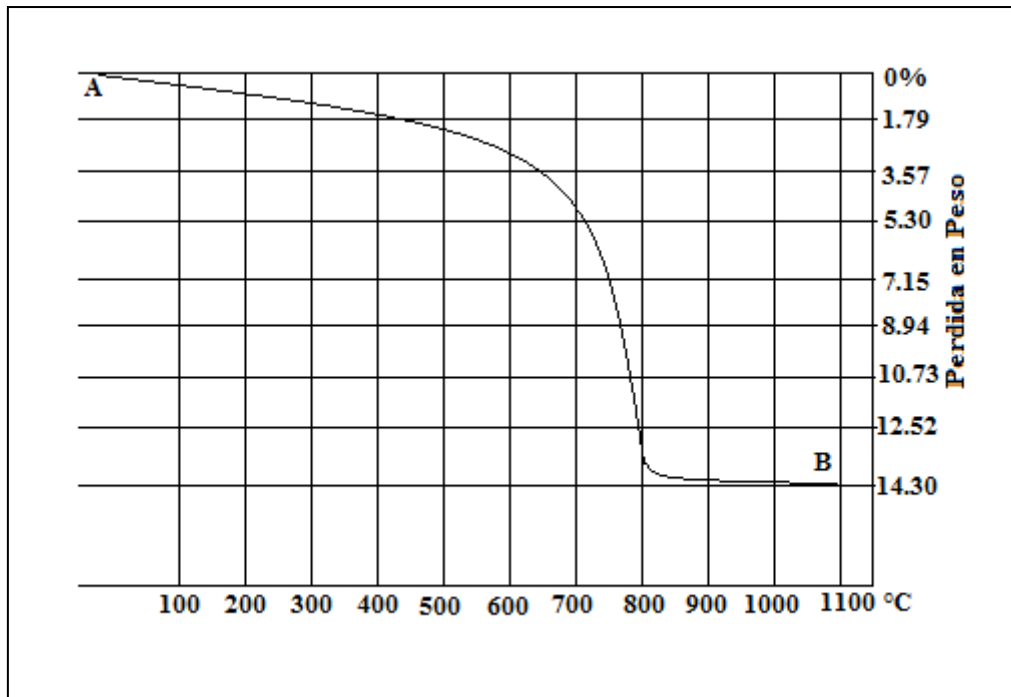


Figura N° 2.2. ANALISIS T.G. A ARCILLA GRES ROJO



**Figura N° 2.3. ANALISIS T.G.A ARCILLA DE MAYOLICA**

### 2.5.2.2. Análisis Dilatométrico

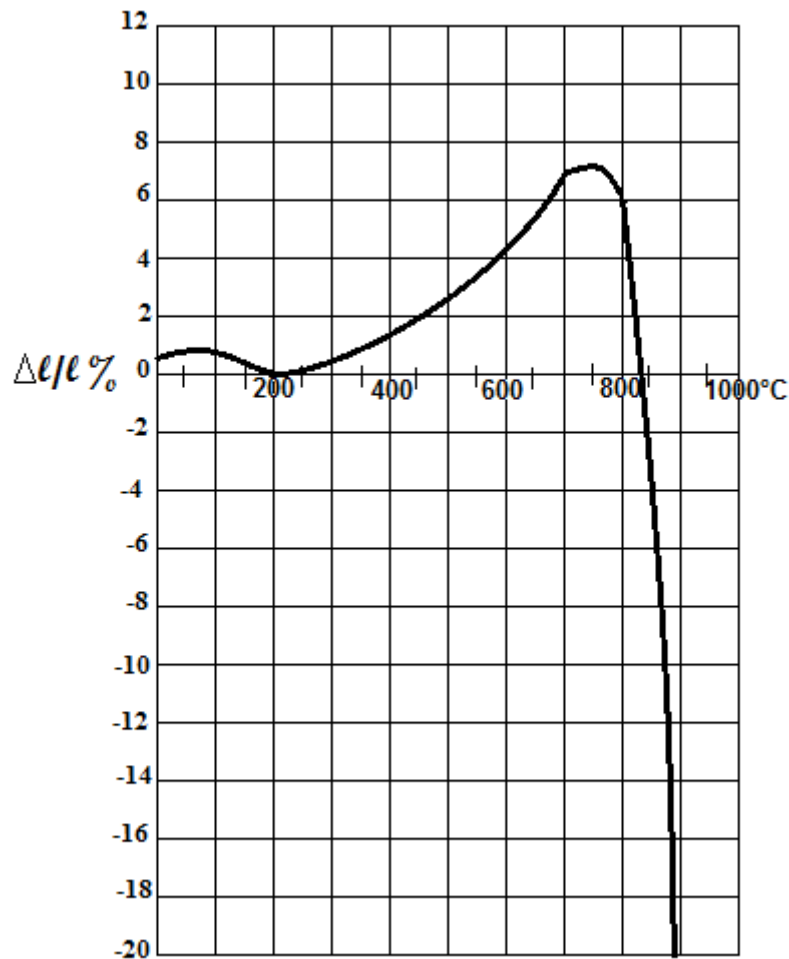
Sometiendo a calentamiento muestras de arcillas y controlando las variaciones dimensionales, se obtienen curvas dilatométricas que permiten prever, con una buena aproximación, cuales son los puntos críticos que hay que tener en cuenta en el planteamiento del diagrama de cocción.

En la Figura N° 2.4 muestra una curva dilatométrica de una arcilla illítica. La pendiente de la curva queda bastante constante hasta 800°C, excepto por dos tramos correspondientes a 100°C – 200°C y de los 500°C – 600°C, influenciados por una cierta contracción, debido a la eliminación del agua, que sobreponiéndose a la dilatación térmica la compensa. De los 850°C a los 950°C, se observa un trazo casi horizontal, debido a una compensación casi total entre la contracción y la dilatación térmica. Esta contracción es debido a la formación de una fase vítrea que llena el poro del cuerpo cerámico, compactándolo, variando según los materiales: para una monococción gresificado la contracción varía del 5% al 7%. Teniendo en consideración material gresificado es necesario introducir un nuevo elemento, el intervalo de gresificación, que es el intervalo de temperatura entre el inicio de la vitrificación y el inicio de la fusión y por consiguiente de la deformación.

La temperatura óptima de cocción deberá hallarse en el punto intermedio de dicho intervalo en el cual la curva dilatométrico tiene una inclinación mínima, lo que significa que, por una diferencia de algún grado, las dimensiones de la pieza no cambian. En la práctica un material con buen intervalo de gresificación permite producir azulejos sin calibres aun también en presencia de pequeñas variaciones de temperatura del horno de cocción. En

estrecha conexión con la contracción esta la porosidad del cuerpo cerámico, que, disminuye al aumentar la contracción. La porosidad es medida en base a la cantidad de agua absorbida por la pieza después de la cocción y varía según el diverso tipo de material: para la monoporosa varia del 10% al 18%, para una monococción de pavimento clasificada antihielo va de del 0.5% al 3%, para un gres porcelanico o producto similar, es normalmente inferior a 0.1%.

El análisis dilatométrico, pone en evidencia la presencia en una pasta de sílice libre (cuarzo): la curva del cuarzo muestra en torno a los 573°C una brusca acentuación de la inclinación, también una gran dilatación, por efecto de la modificación de la forma cristalina del cuarzo, que pasa del cuarzo  $\alpha$  a cuarzo  $\beta$ . Este fenómeno corresponde a un típico punto crítico, en el diagrama de cocción, poniendo en peligro la integridad de la pieza, tanto en la fase de calentamiento como de enfriamiento<sup>(1)</sup>.



**Figura N° 2.4. ANALISIS DILATOMETRICO DE GRES ROJO**

### 2.5.2.3. Análisis Térmico diferencial (DTA)

Cada cuerpo cerámico durante la cocción, a consecuencia de las reacciones que tienen lugar en la masa (perdida de agua, combustión de la sustancia orgánica, transformación alotrópica del cuarzo, oxidación de sulfuros, descomposición de carbonatos), presenta fenómenos de absorción de calor (endotérmicos) o de cesión de calor (exotérmicos), que son observables a través del análisis diferencial, con la utilización de un aparato constituido por un horno de gradiente muy preciso, en el cual se introducen un inerte y una muestra de material en examen y por medio de un sensibilísimo termopar, son registradas las diferencias de temperaturas entre el uno y el otro, que corresponde a la reacción endo o exotérmica de la muestra misma. La Figura N° 2.5 muestra un análisis térmico diferencial de una arcilla illítica que pone en evidencia un primer punto negativo entre 100°C y 200°C, ciertamente debido a la eliminación de agua ceolítica, un segundo punto endotérmico del agua de constitución. Este punto probablemente sería mayor, sino fuese parcialmente compensado por la reacción exotérmica de la combustión de la sustancia orgánica. Hay que considerar también, en este intervalo de temperatura la transformación endotérmica del cuarzo  $\alpha$  en cuarzo  $\beta$  que se suma al efecto de la eliminación del agua de constitución. Otro punto negativo se nota en torno a los 900°C, correspondiente al calor absorbido en la descomposición del carbonato (425 Kcal/Kg de calcáreo) mientras marca un punto exotérmico en torno a los 1000°C, debido probablemente a la formación de nuevos compuestos cristalinos. También de este análisis se pueden traer indicaciones importantes sobre la naturaleza de los materiales a cocer y para el planteamiento del diagrama de cocción considerando los varios puntos críticos evidenciados (1).

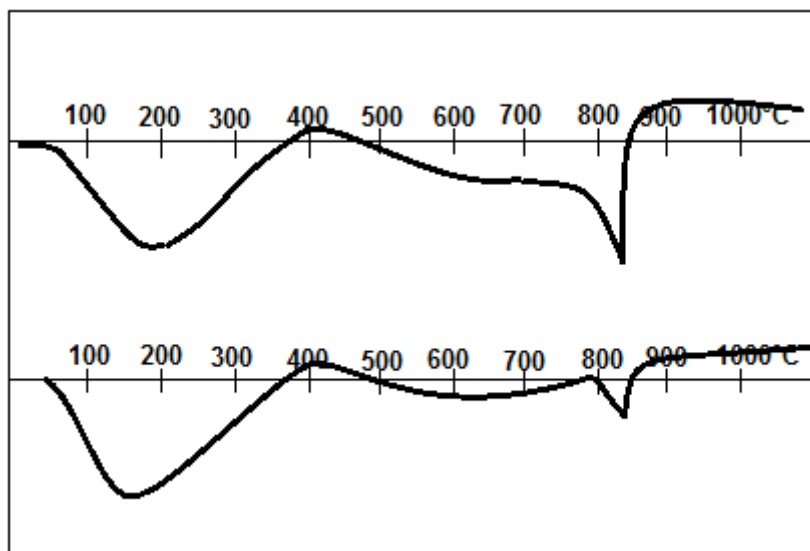


Figura 2.5. ANALISIS D.T.A ARCILLA COTTOFORTE

#### 2.5.2.4. Definición del Diagrama de Cocción

Para cada material a cocer, se determina una curva (temperatura/tiempo), que teniendo en cuenta los puntos críticos típicos del material, fija el ciclo y el gradiente térmico en cada fase de la cocción para asegurar un buen resultado. Analizamos por ejemplo, alguna curva de cocción relativa a diversos tipos de baldosas de pavimentos y revestimientos.

##### a) **Monococción blanca cocida en horno a rodillos, pavimento, porosidad 3%**

Como se puede ver en la Fig. 2.6, representado un diagrama de cocción, sobre el eje de las abscisas están indicadas las distancias en metros, desde la entrada a la salida del horno, mientras en el eje de las ordenadas están indicadas las temperaturas en °C. En algunos casos en vez de indicar la distancia se hace referencia a la duración expresa en minutos o en horas de la cocción (ciclo de cocción). La curva muestra un inicio bastante rápido hasta 500°C, con un gradiente térmico de 50°C/minuto, para luego suavizarse en torno a los 500°C – 600°C pasando a un gradiente de 10°C/minuto, para llegar a la combustión completa de una cierta cantidad de sustancias orgánicas y por tanto la evacuación de todo el gas que se ha formado en la baldosa, antes de que el esmalte aplicado comience a fundir formando una barrera a los eventuales gases todavía presentes. Es evidente que si esta fase no es suficientemente larga, la superficie del esmalte puede ser dañada por la formación de pequeñas burbujas, debido a la tardía expulsión del gas formado en la pieza.

Después de esta fase se puede notar una nueva subida, prácticamente con gradiente de 60°C/minuto hasta llegar a un tramo prácticamente horizontal con gradiente 0, correspondiente a la temperatura máxima de cocción, que es mantenida por un cierto tiempo a fin de conseguir la homogeneidad de temperatura en cada zona de la pieza. Sigue aquí, una fase de enfriamiento rápido, normalmente forzado, utilizando aire frío dirigido directamente sobre el material, en cuanto que a esta elevada temperatura no hay riesgo de tensión, pero sí que existe en torno a los 600°C y precisamente a los 573°C, temperatura de transformación del cuarzo. En este punto en efecto, el gradiente está atenuado para evitar la tensión que se crearía en la pieza si ahora el enfriamiento fuese demasiado rápido.

Después, la curva muestra una inclinación casi constante hasta la salida del horno, donde la temperatura del material varía de 50°C a 100°C

##### b) **Monococción Roja cocida en horno a rodillos, pavimento porosidad 3% + 5%**

Las observaciones a hacer sobre esta curva (Fig. 2.7), en comparación con la precedente son en particular, la permanencia más larga sobre 500°C – 600°C, para permitir la combustión de la materia orgánica presente en este tipo de arcillas, y la temperatura máxima más baja.

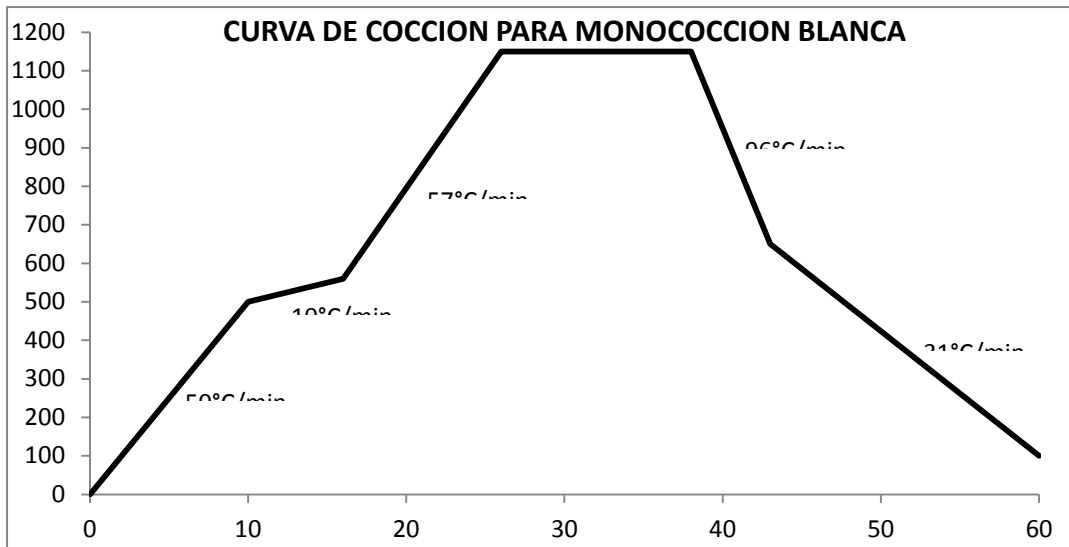


Figura N° 2.6. Curva de Cocción para monococción blanca

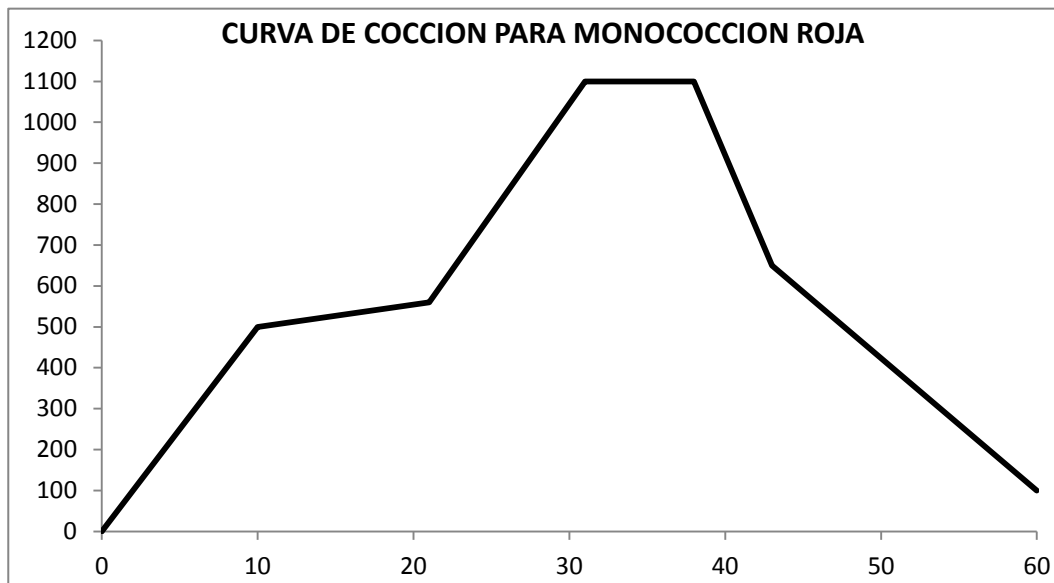


Figura N° 2.7. Curva de Cocción para monococción roja

### 2.5.2.5. Explicación sobre el diagrama de cocción

El diagrama de cocción teórico, constituido en la tabla sobre la base de los conocimientos sacados de las pruebas de laboratorio, y por tanto en base a nuestro conocimiento del material a cocer, no corresponde nunca perfectamente al diagrama real, o sea aquel que se llega a obtener regulando oportunamente el horno de cocción.



La curva de cocción real, se traza tomando la temperatura de las distintas zonas del aparato registrador conectado a los termopares colocados a lo largo de la pared del horno o sobre la bóveda. Es evidente que el diagrama estará más detallado cuanto más termopares sean instalados, teniendo en cuenta, que la temperatura que leemos es, en general, la del producto de la combustión o sea de los humos en el interior del horno y no la temperatura del producto que estamos cociendo, en efecto las dos temperaturas no coinciden prácticamente nunca, en el sentido de que hay siempre un cierto retraso en el material respecto a la temperatura del horno mismo.

Esto necesitamos tenerlo en cuenta en la regulación del horno especialmente cuando el ciclo de cocción es extremadamente corto.

### 2.5.2.6. Dimensionamiento del Horno de Rodillos

Puede ser útil indicar el criterio de dimensionamiento de un horno monoestrato de rodillos. Se ha tomado como ejemplo un horno para la producción de monococción de soporte blanco, funcionando con los siguientes parámetros.

- A) Ciclo de cocción: 45 min.
- B) Producción anual: 700 000 m<sup>2</sup>
- C) Formato: 200 mm x 200 mm – contracción 7%
- D) Funcionamiento 3 turnos, 7 días a la semana durante 330 días al año.

Tendremos entonces:

$$\frac{700000m^2}{330 \frac{\text{días}}{\text{año}}} = 2121 \frac{m^2}{\text{día}}$$

$$\frac{1440 \frac{\text{min}}{\text{día}}}{45 \frac{\text{min}}{\text{ciclo}}} = 32 \frac{\text{ciclos}}{\text{día}}$$

$$\frac{2121 \frac{m^2}{\text{día}}}{32 \text{ ciclos/día}} = 66.28 \frac{m^2}{\text{ciclo}}$$

$$66.28 \times 25 (\text{piezas/m}^2) = 1657 \text{ piezas / ciclo}$$

$$\frac{1657 \frac{\text{piezas}}{\text{ciclo}}}{6 \text{ piezas en la sección transversal del horno}} = 277 \text{ piezas en la longitud del horno}$$

$$277 \times (0.215 + 0.010) = 62.138 \text{ m de longitud total del horno.}$$

Longitud del horno = N° de piezas en la longitud del horno x (Dimensiones de la pieza cruda + 1 cm de tolerancia).

## 2.6. ESMALTADO

### 2.6.1. Definición de fritas y esmalte

El revestimiento cerámico está constituido por finísimas capas vidriosas que recubren la superficie de la pieza; su aplicación se obtiene esparciendo sobre el bizcocho, o bien sobre soporte crudo y seco la suspensión acuosa obtenida por molturación con agua de la fritas y los componentes crudos que la acompañan<sup>(3)</sup>.

- **Fritas o Barniz:** Son revestimientos transparentes típicos de la cerámica vidriada y las alfarerías tiernas y fuertes.

Un tipo particular de fritas, denominada “Cristalina” es aquella que en la fabricación de la cerámica mayólica viene aplicada como una ligera película encima de la decoración sobre esmalte y que le confiere un mayor brillo.

- **Esmalte:** tal término es atribuido a todo revestimiento vidrioso dotado de una densa opacidad. Característico de esto es el esmalte denominado “mayólica”, que viene aplicado en un espesor más grueso en el bizcocho de cerámica a fin de dar al producto terminado un aspecto blanco y brillante. La opacificación se obtiene introduciendo en la composición de una fritas un agente opacificante (silicato de zirconio, óxido de estaño, óxido de titanio).

### 2.6.2. Mecanismo de formación y de formulación de un vidrio.

Todas las masas vidriosas resultan de la fusión de varios tipos de componentes resumidos en el Cuadro N° 2.4:

#### Cuadro N° 2.4

##### COMPONENTES DE UNA MASA VIDRIOSA

---

##### Componentes de la masa fusible

Vitrificantes =  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{B}_2\text{O}_3$

Fundentes =  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{PbO}$ ,  $\text{B}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Li}_2\text{O}$

Estabilizantes =  $\text{CaO}$ ,  $\text{BaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{PbO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZnO}$

Opacificantes =  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$

Desvitrificantes =  $\text{ZnO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{BaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{TiO}_2$

---

Fuente: Asociación Técnicos Cerámicos (SACMI Imola).

La característica física fundamental de los vidrios es la isotropía, mientras es conocido que los cuerpos sólidos de estructura cristalina son anisótropos. Esto hizo suponer en un principio que los vidrios eran sustancias amorfas; pero en estudios recientes se ha podido establecer que la coordinación tetraédrica característica del silicio es mantenida también en el vidrio.

Mientras en los cristales la disposición de estos tetraedros corresponde rigurosamente a una regular construcción geométrica, en el vidrio la disposición es completamente caótica en cuanto se refiere a la periodicidad y simetría.

## Cuadro N° 2.5

### MATERIALES UTILIZADOS EN LOS VIDRIOS CERAMICOS.

OXIDOS	MATERIA PRIMA UTILIZADA
SiO <sub>2</sub>	Cuarzo, Feldespatos, Caolines
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Acido Bórico (*), Bórax, Colemanita
PbO	Minio, Litargirio
Na <sub>2</sub> O	Feldespatos, Bórax, Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , NaCl (*)
K <sub>2</sub> O	
Li <sub>2</sub> O	
CaO	Feldespatos, KNO <sub>3</sub> (*)
BaO	Feldespato, Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
MgO	Wollastonita, CaCO <sub>3</sub> , Feldespato, Dolomita
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaCO <sub>3</sub>
ZnO	MgCO <sub>3</sub> , Talco, Dolomita
SnO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Al(OH) <sub>3</sub> , Caolines, Feldespatos
TiO <sub>2</sub>	Oxido de Zinc
ZrO <sub>2</sub>	Oxido de Estaño
	Oxido de Titanio, Arena Rutilo
	Silicatos de Zirconio

Fuente: Preparación de Esmaltes – Aris Industrial

(\*) Materiales solubles en agua por tanto utilizables solo en fusión.

### 2.6.3. Materias primas de normal uso y su influencia sobre la característica de los vidrios.

#### A.- Sílice (Peso Molecular SiO<sub>2</sub>= 60.10)

Se introduce bajo la forma de cuarzo, arena cuarcífera, arena feldespática, feldespatos, caolín.

La sílice representa el elemento principal de la composición del vidrio, esto es debido a su propiedad de vitrificar bajo la acción del fundente dentro de un ancho intervalo de temperatura. Los fundentes o modificadores son: PbO, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, Li<sub>2</sub>O. Los revestimientos cerámicos muy ricos en sílice están dotados de gran resistencia a los agentes químicos y elevada dureza. Cuanto mayor es el contenido de sílice en un esmalte mayor será su temperatura de cocción<sup>(1)</sup>.

#### B.- Anhídrido Bórico (Peso Molecular B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 69.6)

Se introduce bajo la forma de ácido bórico, bórax sódico, Colemanita.

Después de la sílice, el boro es el elemento más importante por su propiedad de vitrificar. Solo no puede ser utilizado porque formaría vidrios muy solubles. Sobre el vidrio de sílice actúa como fundente; indispensable para vidrios sin plomo y de bajo punto de fusión; disuelve muchos óxidos colorantes, da brillo, disminuye la viscosidad y baja el coeficiente de dilatación en los vidrios donde se introduce<sup>(1)</sup>.

### **C.- Oxido de Plomo (Peso Molecular PbO = 223.2)**

El oxido de plomo le da al vidrio alta fusibilidad, aumenta el índice de refracción, aumenta la densidad, aumenta el brillo, pero tiene en contrapartida viscosidad débil, elevada toxicidad proporcional al contenido de plomo y a la forma con que va ligado al vidrio, son muy sensibles al ataque de los ácidos si el contenido en oxido supera cierta proporción <sup>(1)</sup>.

### **D.- Alcalinos (Peso Molecular K<sub>2</sub>O = 94.2; Na<sub>2</sub>O = 62.0; Li<sub>2</sub>O = 38.9)**

Son introducidos en forma de nitratos, cloruros, carbonatos o feldespatos. Estos álcalis son modificadores de redes, su introducción debilita la estructura reticular del vidrio bajando el punto de fusión.

Los iones Na<sup>+</sup> y K<sup>+</sup> se colocan en los intersticios que separan el tetraedro. Los iones K<sup>+</sup> que tienen dimensiones más grandes que los iones Na<sup>+</sup> forman enlaces más fuertes, de esto se deriva la fácil alteración de los vidrios sódicos.

Los vidrios sódicos son fácilmente solubles en agua.

Los álcalis en general aumentan el coeficiente de dilatación de los vidrios con excepción del litio, el cual al ser muy fusible permite, a paridad de resultados, el ser utilizado en porcentajes muy bajos (muy inferiores al sodio y al potasio).

Los álcalis, el litio en particular, confieren brillo a los vidrios, no pueden sin embargo solos constituir la parte básica de la composición de un vidrio, debido a su tendencia a la desvitrificación y por su carácter soluble en agua de los silicatos que forman. <sup>(1)</sup>

### **E.- Oxido de Calcio (Peso Molecular CaO = 56.1)**

Se introduce bajo la forma de carbonato cálcico, dolomita, wollastonita, anortita.

El oxido de calcio es un estabilizante, junto con un silicato alcalino elimina la alterabilidad del vidrio.

Sólo forma silicatos a altas temperaturas de fusión (Superior a 1400°C) mezclado con otros silicatos da lugar a la formación de masas vitrificadas.

Está claro que elevado porcentaje de oxido facilita la destrificación (mate de CaO). Introducido en la justa proporción (5 – 10 % en análisis en oxido), el calcio puede dar estabilidad, mejora la resistencia mecánica y la adherencia de los vidrios al soporte. En los vidrios cocidos a altas temperaturas provoca una disminución de la viscosidad.

### **F.- Alúmina (Peso Molecular Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 101.94)**

Se introduce como alúmina calcinada o hidratada, feldespatos, caolín, corindones.

La alúmina introducida en los vidrios cerámicos en la debida proporción (4 – 8% en análisis en óxidos para esmaltes a baja temperatura), les confiere las siguientes características: Aumenta la viscosidad, disminuye la tendencia a desvitrificar, aumenta la resistencia mecánica, baja el coeficiente de dilatación, aumenta la resistencia a los ácidos, mejora la opacidad.

El porcentaje de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  introducida en un esmalte será tanto mayor cuanto más alta sea la temperatura de cocción del mismo y viceversa. Será superior en esmaltes mates y satinados y menor en esmaltes brillantes. Este óxido tiene la propiedad, como sustancia anfótera a combinarse tanto con la sílice como con los óxidos básicos, es por tanto el más eficaz de los estabilizantes <sup>(1)</sup>.

#### **G.- Óxido de Bario (Peso Molecular $\text{BaO} = 153.44$ )**

Se utiliza normalmente como carbonato de bario ( $\text{BaCO}_3$ ).

Este óxido aumenta la densidad y la refracción y por consecuencia confiere brillo al vidrio. Fundente muy bueno en una fusión de silicatos, por esta propiedad puede en parte sustituir eficazmente al óxido de plomo, presenta elevada toxicidad.

En elevado porcentaje, como un 0.3% equivalente molecular, endurece el esmalte y lo induce desvitrificación. Un vidrio de bario funde más rápidamente y es menos viscoso que el de calcio <sup>(1)</sup>.

#### **H.- Óxido de Magnesio (Peso Molecular $\text{MgO} = 40.3$ )**

Se introduce normalmente como dolomita, carbonato de magnesio y talco.

El comportamiento en los vidrios del óxido de magnesio es muy similar al del óxido de calcio. Se diferencia de este sólo porque da lugar a vidrios más viscosos.

No se puede usar en porcentajes demasiados altos porque eleva la temperatura de cocción del vidrio.

El magnesio reduce el coeficiente de dilatación, pero eleva la tensión superficial <sup>(1)</sup>.

#### **I.- Óxido de Zinc (Peso Molecular $\text{ZnO} = 81.4$ )**

En vidrios ácidos y con alto contenido de alúmina, el óxido de zinc actúa como fundente. Este óxido según el porcentaje que se introduzca se comporta con acciones muy diversas como: a bajos porcentajes aumenta el brillo de los vidrios y de los colores con excepción de los colores verdes y azules, mezclado con alúmina mejora la opacidad y la blancura del esmalte, siempre que tenga un porcentaje bajo de  $\text{CaO}$  y en ausencia de  $\text{B}_2\text{O}_3$ . Reduce el coeficiente de dilatación, desvitrifica la masa vítrea impartiendo a la superficie del esmalte el característico aspecto mate, siendo mejor si el esmalte es básico, con porcentajes superiores cristaliza; se separan individuos cristalinos constituidos por silicato de zinc. Los vidrios muy ricos en este óxido son fuertemente atacados por los ácidos <sup>(1)</sup>.

### **J.- Oxido de titanio (Peso Molecular $\text{TiO}_2 = 80.1$ )**

El oxido de titanio mejora la resistencia química y cuarteo. Esta ultima propiedad se manifiesta rápidamente con pequeños porcentajes de oxido y permanece igual aunque el porcentaje aumente.

La adición de  $\text{TiO}_2$  colorea el vidrio; ya con el 2% da una tonalidad que vira al amarillo, al mismo tiempo que la superficie del vidriado toma un aspecto mate, hasta hacerse duro y rugoso por porcentajes crecientes de oxido.

Tiene propiedades opacificantes que mejoran en ausencia de  $\text{B}_2\text{O}_3$ , especialmente si la composición del vidrio es rica en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  <sup>(1)</sup>.

### **K.- Oxido de Estaño (Peso Molecular $\text{SnO}_2 = 150.7$ )**

Opacificante por excelencia aunque con bajo porcentaje (6 – 10%), pero es poco utilizado como tal por su elevado costo.

La opacidad aportada por este oxido es debida a su suspensión en la masa vítrea como pequeñas partículas finamente dispersas, por tanto su poder opacificante depende de la pureza del oxido, de la finura de sus partículas y de la naturaleza de la masa vítrea a la cual adjuntamos. Mejoran la opacificación de este oxido los elementos alcalinos y el boro <sup>(1)</sup>.

### **L.- Zirconio (Peso Molecular $\text{ZrO}_2 = 123.2$ )**

Se utiliza bajo la forma de oxido de zirconio, silicato de zirconio. Estupendo opacificante aunque no al nivel del estaño, respecto al cual tiene una gran ventaja, el ser mucho más económico.

Altos porcentajes de este oxido elevan la temperatura de cocción del vidrio. El silicato de zirconio se presenta como opacificante para todos los tipos de esmaltes cocidos en el intervalo de temperatura entre 940°C y 1300°C. El silicato de zirconio tiene la propiedad de estabilizar los colores <sup>(1)</sup>.

#### **2.6.4. Esmaltes Blancos Brillantes (Mayólica)**

Estos revestimientos están dotados de elevada opacidad y esta característica es lo que le diferencia de la cristalina.

Su principal utilización está enfocada principalmente a soportes coloreados (Bizcocho rojo)

La opacificación se obtiene introduciendo en la composición de la frita o en la composición del esmalte un agente opacificante (silicato de zirconio micronizado).

Aunque en este caso, para cocción a baja temperatura, se utiliza preferentemente frita (90 – 95%) <sup>(1)</sup>.

### 2.6.5. Esmaltes Mates

Se obtienen saturando el vidrio, que debe estudiado expresamente de elementos cristalizantes o endurecedores. Los óxidos de zinc, titanio, calcio, bario, magnesio, matizan por cristalización, mientras el óxido de aluminio y en cualquier caso el silicato de zirconio matizan por endurecimiento.

Los esmaltes matizados con óxidos alcalinos térreos se presentan siempre con coloración blanca y son normalmente muy viscosas. Los esmaltes matizados por endurecimiento son siempre compuestos de bases cristalinas fusibles y fuertemente endurecidas con alúmina, corindón y silicato de zirconio<sup>(1)</sup>.

### 2.6.6. Engobes (Fondos de Preparación)

Composición terrosa vitrificada lo suficiente para adherirse al soporte y no quedar porosa.

Esta composición viene utilizada normalmente para cubrir eventuales desgasificaciones de sustancias volátiles (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>) del soporte o para impedir que la sustancia contaminante presente en el soporte contamine el esmalte aplicado sobre el mismo (Tipo piritas).

### 2.6.7. Control a seguir sobre la línea de esmaltado

Para mantener constantes los parámetros de esmaltación, prefijados por los técnicos de producción deben efectuarse algunos controles de los cuales trataremos los principales:

#### a) Densidad

Se pesan 100 ml de esmalte, el peso dividido por 100 nos da la densidad en g/mL o Kg/L. la frecuencia de control es cada media hora y todas las veces que se añade esmalte en el depósito de la máquina de aplicación.

#### b) Viscosidad

Se expresa en grados Engler y nos indica la relación entre el tiempo transcurrido para vaciar de esmalte en caída libre, un cilindro de 100 mL a través de un agujero calibrado, y el tiempo necesario para la misma operación con agua.

$\mu = t_1/t_2$ , donde

$t_1$ = tiempo en segundos que tarda el esmalte

$t_2$ = tiempo en segundos que tarda el agua.

Muy a menudo se utiliza solo la referencia de los segundos que tarda en vaciarse el esmalte. La frecuencia de control es similar al de la densidad.

#### c) Peso Aplicado

De la línea de esmaltado se toma una pieza y en cada aplicación se procede del siguiente modo:

- Bicocción: se rasca el esmalte y se pesa.
- Monococción: se calcula por diferencia de peso de la misma pieza antes y después de la aplicación. En aplicaciones muy ligeras (aerógrafos) es conveniente hacer varias pasadas de la misma pieza.

## **CAPITULO III**

### **DESCRIPCION DEL PROCESO PRODUCTIVO**

El proceso productivo en la producción de cerámicos semi gres piso – pared en la Planta de Aris Industrial comprende las siguientes etapas:

- Recepción de materia prima
- Molienda seca
- Prensado
- Secado
- Esmaltado
- Decorado
- Quemado
- Clasificado
- Almacenamiento
- Distribución y venta.

#### **3.1. RECEPCION DE LA MATERIA PRIMA**

La materia prima con las que cuenta Aris Industrial es traído de diversas partes de Lima, para la formulación de la pasta se utilizan tres tipos de arcillas cada una de ellas con diferentes características que le dan a la pasta la proporción necesaria para obtener un producto que cumpla los parámetros de cocción.

Estas arcillas son:

- Arcilla Pachacamac
- Arcilla Roja
- Arcilla Cuenca



Son almacenadas en un patio de materias primas libres de contaminación arrumadas por un cargador frontal.

### 3.2. MOLIENDA SECA

La molienda seca comienza con la dosificación de las materias primas en las tolvas pesadoras, la proporción de las mismas es como sigue:

- Arcilla Pachacamac.....50%
- Arcilla Roja.....30%
- Arcilla Cuenca.....20%

La dosificación es programada mediante PLC desde una cabina de control, el flujo de arcillas es de 12 TM/hora, la formulación de la pasta se basa en análisis de contracción realizada en laboratorio para diferentes formulaciones.

#### 3.2.1. Molienda Primaria

La molienda primaria se realiza en un Molino PIG (Molino de martillos), donde la apertura de malla es de 20 mm, el producto de la molienda va hacia una tolva de almacenamiento de 20 TM antes de ser alimentado a la molienda final, las características de este molino son las siguientes:

**Cuadro 3.1**

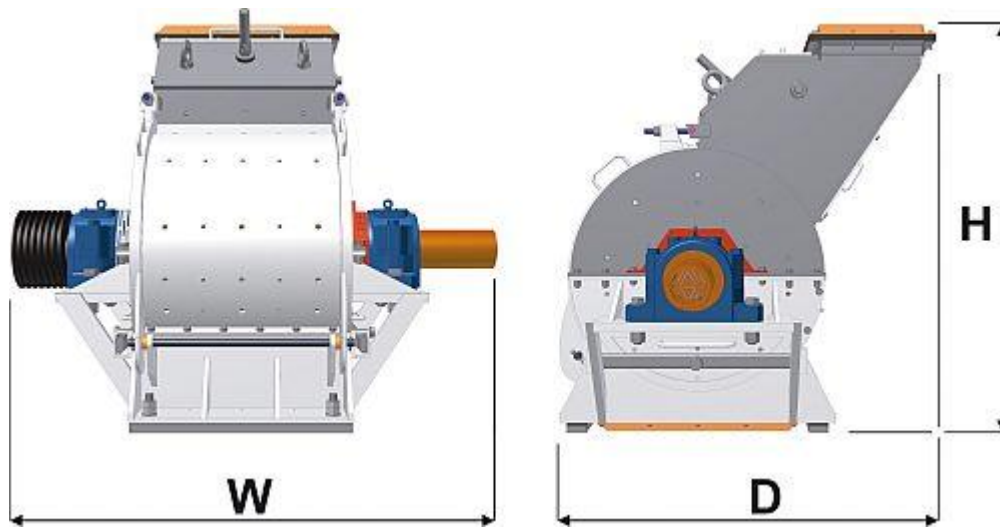
#### Especificaciones Técnicas del Molino PIG de 4 Martillos

Tipo de Molino	Cant.de Martillos	Dim. Boca de Carga (mm)	Tam.Max de Alim. (mm)	Produc. (TM/h)	Potencia (kW)	RPM
PIG./IIA	4	360x700	200-250	16-45	75-160	600-1600

Modelo	H (mm)	D (mm)	W (mm)
PIG IIA	1510	1850	1515

**Fuente:** Aris Industrial



**Figura 3.1. MOLINO PIG DE 4 MARTILLOS PARA MOLIENDA PRIMARIA**

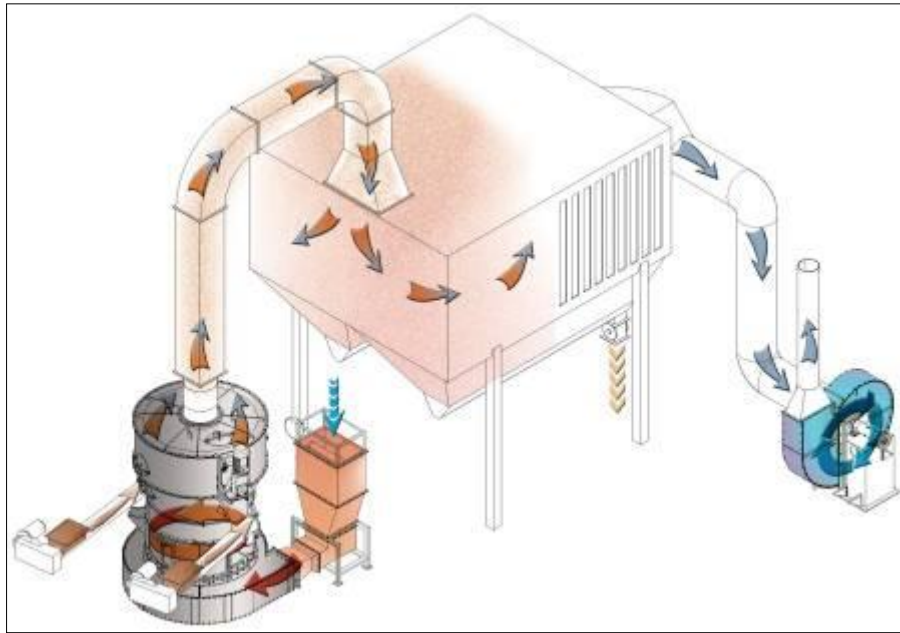
### **3.2.2. Molienda Final**

Luego de la premolienda el producto almacenado en la tolva de 20 TM, es alimentado a un molino pendular de 12 TM/h de cuatro péndulos, aquí la mezcla de arcillas es molida hasta un tamaño de partícula de 65% pasante malla 230.

El molido se realiza mediante péndulos de grandes dimensiones, que durante el rodamiento y bajo la acción de la fuerza centrífuga ejercitan una fuerte presión sobre la pista situada en la base del molino.

El material molido es transportado en la parte superior del molino mediante la aspiración de un filtro conectado a tierra. Además, el material es clasificado gracias a un separador fijado según el proceso de molido que se desea.

En los molinos pendulares de tipo MS-AIR, como el de Aris Industrial; el material molido es extraído y recogido por un filtro de proceso, que procederá a descargarlo en la fase sucesiva del ciclo de la instalación. Este tipo de instalación se conoce también como *de ciclo abierto*.



**Figura. 3.2. MOLINO PENDULAR CON ASPIRACION DE FILTRO DE MANGAS**

### **3.2.3. Humectación – Granulación**

Luego de la molienda final, la pasta, con una humedad promedio de 3% pasa por una fase de humectación en un equipo llamado Granulador, que inyecta agua a 3 bar de presión a través de 8 boquillas y controladas a través de sensores que miden la humedad en línea, hasta un valor promedio de 7.2 a 7.7% y luego la pasta granulada es almacenada en silos de 150 TM para su posterior reposo y sucesivo uso en la siguiente fase del proceso.

El granulador es utilizado específicamente para transformar la composición cerámica molida en seco en aglomerado apto para el prensado.

La máquina, gracias a su forma constructiva, garantiza el mezclado, homogenización, granulación y humidificación de los polvos tratados. El material introducido sigue una trayectoria en espiral en cuyo interior ocurren contemporáneamente todos los procesos descriptos precedentemente.

El producto obtenido, posee un alto grado de escurrimiento con un muy buen llenado del molde.



**Figura 3.3. GRANULADOR MANFREDINI SCHIANCHI**

#### **3.2.4. Controles en la Molienda y Humectación:**

- **Humedad:** El control de la Humedad se realiza en dos etapas del proceso de molienda, el primero a la pasta que sale del Molino Pendular y a la pasta que sale del Granulador.
- **Granulometría:** El control de la Granulometría también es realizado en dos etapas del proceso de molienda, a la salida del Molino Pendular y al producto del Granulador, la distribución granulométrica ideal se muestra a continuación:

**Cuadro 3.2**

**Distribución Granulométrica del Molino Pendular y del Granulador MS**

Malla	%Retenido Molino Pendular	% Retenido Granulador
20	0	0.12
40	0	0.53
60	0.57	2.95
120	13.65	18.42
230	25.30	23.95
-230 (Fondo)	60.48	54.03

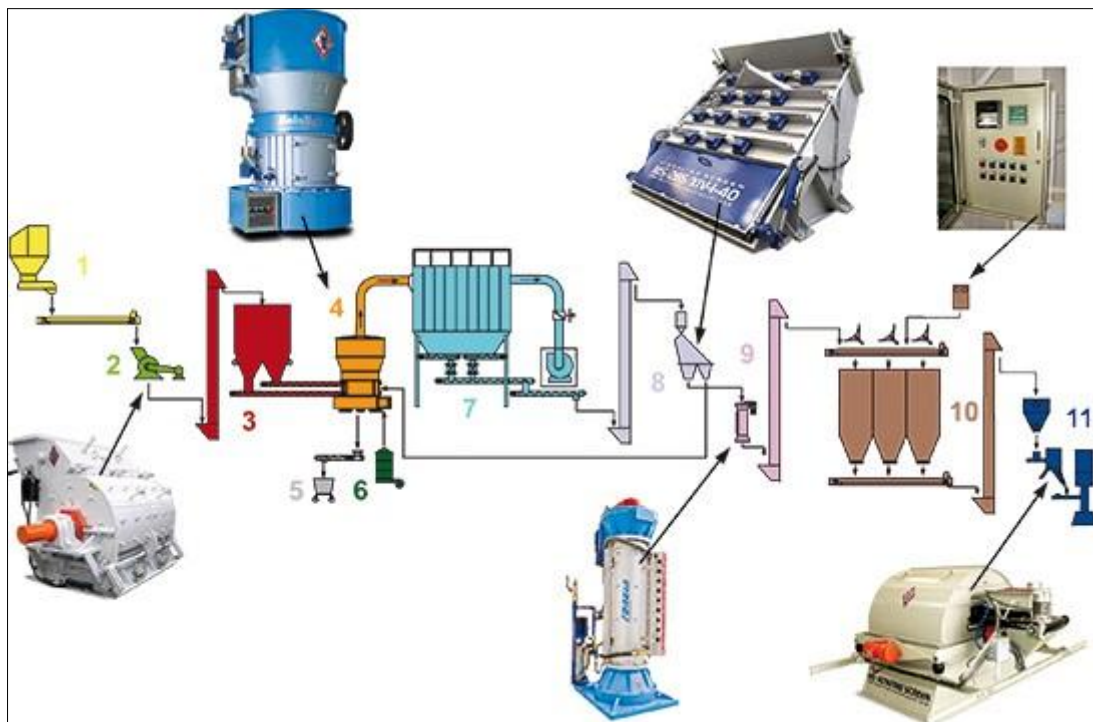
**Fuente: Elaboración Propia**

### 3.2.5. Almacenamiento de la Pasta

La pasta molida y granulada es almacenada en seis silos de 150 TM de capacidad cada una, el tiempo de reposo es una variable muy importante a considerar, ya que define la calidad de la pasta que va ingresar a la siguiente etapa del proceso, como mínimo el tiempo de reposo es de dos días luego de llenar el silo.

### 3.2.6. Diagrama de flujo de La Planta de Molienda Seca

La Planta de molienda seca de Aris Industrial comprende todas las etapas que se visualizan en la Figura 3.4.



**Figura 3.4. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PLANTA DE MOLIENDA SECA**

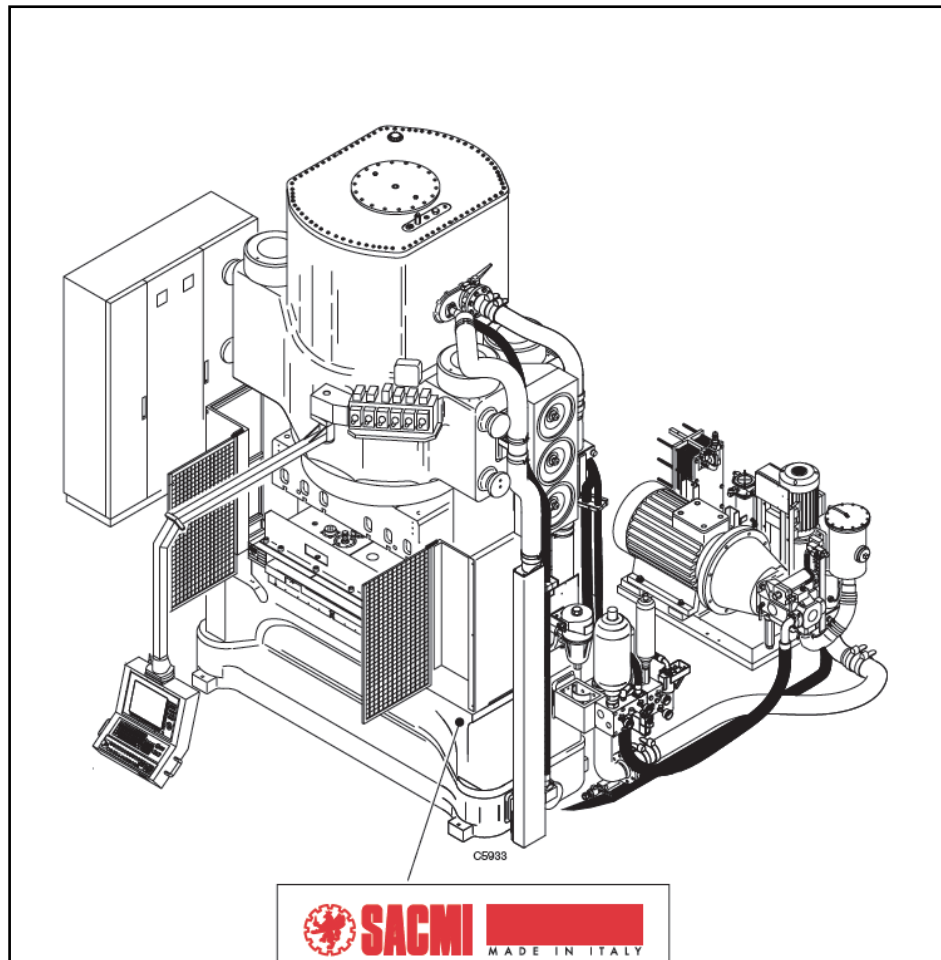
1. Tolvas de carga y cintas pesadoras
2. Molino primario P.I.G.
3. Elevador y silos con sin fin
4. Molino Pendular y Separador
5. Sin fin de limpieza
6. Quemador
7. Filtro con aspirador y chimenea de aire exhausto
8. Elevador y tamiz de control
9. Granulador FORGIA y elevador
10. Cinta con control de humedad, silos de almacenamiento y elevador
11. Silos pulmón, tamiz rotativo de control y de mezclado, Prensas

### **3.3. PRENSADO**

El prensado o conformado es la etapa de la cerámica que consiste en la compactación para dar forma a las piezas a base de materiales arcillosos con un grado de humedad (6.8% a 7.2%) y granulometría adecuada para cada tipo de conformado, se transforma la pasta alimentada en un producto en verde con las siguientes características:

- Forma, dimensiones y superficie controladas.
- Densidad y microestructura determinadas.
- La resistencia del producto en verde debe ser la suficiente para poder manejar el producto y, en su caso, realizar alguna operación de acabado en verde.

Aris Industrial cuenta con dos Prensas Hidráulicas SACMI PH 2590 de 2000 Kgf de fuerza.



**Figura 3.5. PRENSA HIDRAULICA PH 2590**

Características de la Prensa PH 2590:

- Presión de trabajo..... 150 bar
- Fluido de trabajo.....Aceite M46
- Tipo de molde Isostático.

El prensado o conformación comprende las siguientes etapas

- a) **Alimentación de pasta a las tolvas:** La alimentación de pasta a las tolvas de las prensas se realiza por un sistema automático de detección de nivel de tierra, mediante sensores de nivel. La programación de los silos a utilizar se realiza mediante un tablero con programación PLC, el transporte de la pasta se realiza mediante fajas transportadoras y elevador de cangilones para luego pasar por un vibrotamiz de 10 mm de apertura de malla que retiene las partículas gruesas, imanes magnéticos están fijados sobre las fajas para retener algún elemento metálico (Fierro) que podría dañar los moldes de la prensa.

- b) **Alimentación de pasta a la tolva del carro alimentador:** También es realizado por detectores de nivel de tierra.

La pasta pasa a través de un tamiz rotatorio de 1.6 mm de apertura de malla, el cual rechaza las partículas gruesas.

- c) **Etapa de Prensado en seco:** En esta etapa la alimentación hacia los moldes se realiza por el carro de la prensa sobre las cavidades de la matriz, tras la primera caída del punzón inferior. Después de esta etapa ocurre la segunda caída, en la cual todo el sistema está preparado para las fases de prensado que comienza con el proceso de desaireación, con el punzón superior penetrando en la cavidad de la matriz; comprimiendo el polvo con presiones intermedias y golpes sucesivos provocando la salida de aire. Tras la desaireación, se complementa con el último prensado en el cual el punzón superior avanza sobre el polvo con la fuerza ideal de compactación. En seguida se realiza la extracción de la pieza compactada, por el extractor de la prensa o sistemas específicos (SMU y SPE) y recomienza todo el ciclo.

### 3.3.1. Variables del prensado:

- a) **Presión Específica de Polvo:** Es la presión en  $\text{Kgf/cm}^2$  de compactación ejercida sobre el polvo.

Para el tipo de producto que Aris Industrial elabora, Semigres, la presión específica del polvo esta en un rango de 300 a 320  $\text{Kgf/cm}^2$ , esto va depender directamente de las condiciones del polvo, ya sea Humedad o granulometría, asimismo la presión específica va determinar la contracción en el secado y en la cochura (sobre todo a presiones altas), y la humedad residual después del secado.

- b) **Desaireación:** Es otra variable de prensado muy importante que determina la calidad de las piezas en verde, depende directamente de la calidad de polvo que se esté alimentando. Una alta o baja humedad o gran cantidad de partículas finas desestabilizan estas condiciones.

No existe un valor óptimo de trabajo, todo va depender de la calidad de polvo alimentado.

Una alta o baja humedad o demasiado polvo fino ocasiona el laminado de las piezas (Aire ocluido)



### 3.3.2. Moldes y Formatos

Los moldes son colocados según el formato que se quiera producir, en Aris Industrial se producen dos tipos de formatos; 33x33 y 45x45, con una caja matriz y punzones magnetizados isostáticos penetrantes.

Todas las materias primas cerámicas poseen características físico-químicas propias y, por lo tanto se debe conocer esas propiedades para el diseño de los moldes.

Podemos dar un ejemplo con los siguientes datos:

- Tipo de producto (poroso, semi-gres, gres, porcelánico, etc)
- Formato con dimensiones del producto quemado
- Retracción
- Expansión pos prensado
- Factor de compactación
- Tamaño del espaciador
- Presión específica
- Tipo y modelo de la prensa con características
- Tipo de estampo (penetrante, espejo, etc)
- Humedad de la materia prima
- Tipo y/o diseño de la marca
- Geometría o diseño de la cara bella del producto
- Tipo de carga y sus efectos (en caso que existan)
- Y todo lo que se refiere a datos del histórico de prensado y quema puede ser útil para corregir problemas futuros.

Luego del prensado la pieza compactada esta lista para pasar a la siguiente etapa del proceso. Para que una pieza pueda pasar a la siguiente etapa tiene que cumplir ciertas propiedades físicas como:

- **Espesor:** el espesor está definido por el tamaño de formato a prensar, cuando son piezas de 33x33 el espesor deseado debe estar entre 7.0 a 7.5 mm; cuando son piezas de 45x45 el espesor deseado debe estar entre 7.5 a 7.8 mm.
- **Diferencia de peso:** la diferencia de pesos entre las piezas de cada matriz no debe ser demasiado excesivo (no mayor de 50 g), si es mayor tiene que regularse la prensa.
- **MRF (Resistencia en verde), Kgf/cm<sup>2</sup>:** esta prueba es realizada en laboratorio, los resultados definen si se realiza cambios en los parámetros de prensado y/o cambio de pasta. Los valores ideales deben estar entre 3.5 a 4.5 Kgf/cm<sup>2</sup>.

### 3.4. SECADO

Para el secado de las piezas en verde Aris Industrial cuenta con un secadero continuo de rodillos de cinco pisos con una estructura modular cuyos (módulos de secado) están sometidos al tránsito de un flujo continuo de azulejos, transportados por un conjunto de rodillos con ejes paralelos y coplanos (superficie de rodillos).

El material pasa por cámaras provistas de tubos perforados que dirigen chorros de aire caliente en dirección perpendicular a la superficie de los azulejos a fin de facilitar la transmisión térmica hacia el material y la remoción de humedad.

La maquina expulsa una pequeña parte del caudal de aire caliente por medio de una chimenea, con lo que se mantiene el ambiente de trabajo en condiciones higrométricas ideales para el proceso.

El secadero cuenta con un sistema de transmisión de rodillos cuyo movimiento esta dado por una serie de motoreductores y dos maquinas llamadas “elevadores” colocadas en las puntas extremas del secadero alimentan y descargan los cinco canales superpuestos.



**Figura 3.6. Secadero multicanal para azulejos.**

El secadero cuenta con seis quemadores en módulos individuales. La temperatura de secado en cada quemador va depender del ciclo de quemado así como de la curva de secado (según el ciclo de las prensas), Aris industrial trabaja a un ciclo de 20 min con la curva siguiente:

Q1 = 120 °C

Q2 = 150 °C

Q3 = 190 °C

Q4 = 210 °C

Q5 = 175 °C

Q6 = 90 °C

Esto para un máximo de 18 golpes por minuto entre ambas prensas (9.0 cada una).

La pieza cerámica una vez conformada se somete a una etapa de secado, con el fin de reducir el contenido en humedad de las piezas tras su conformado hasta niveles los suficientemente bajos (0,2-0,5 %), para que las fases de cocción y, en su caso, esmaltado se desarrollen adecuadamente

En el secadero de la industria cerámica, el calor se transmite mayoritariamente por convección, desde gases calientes a la superficie de la pieza, participando ligeramente el mecanismo de radiación desde dichos gases y desde las paredes del secadero a dicha superficie.

Por lo tanto, durante el secado de piezas cerámicas, tiene lugar simultánea y consecutivamente un desplazamiento de agua a través del sólido húmedo y a través del gas. El aire que se utiliza debe ser lo suficientemente seco y caliente, pues se utiliza, no sólo para eliminar el agua procedente del sólido sino también para suministrar la energía en forma de calor, que necesita esa agua para evaporarse.

Luego del proceso de secado se realizan dos pruebas a las piezas secas:

- **MRF (Resistencia en seco), Kgf/cm<sup>2</sup>:** esta prueba es realizada en laboratorio, los resultados definen si se realiza cambios en los parámetros de secado/prensado y/o cambio de pasta. Los valores ideales deben estar entre 15 a 20 Kgf/cm<sup>2</sup>.
- **Humedad Residual:** También es realizada en laboratorio, los valores óptimos de humedad residual deben estar entre 0.2% a 0.5%, sin embargo en Aris Industrial trabajamos hasta valores de 1.0% de humedad residual.

La temperatura de las piezas a la salida del secadero deben estar entre 100°C a 120°C, temperaturas más altas ocasionan defectos de aplicación de esmalte (pinchazos), temperaturas bajas también ocasionan problemas de humedad antes del ingreso al horno.

### **3.5. ESMALTADO Y DECORADO**

#### **a) Esmaltado**

El esmaltado consiste en la aplicación por distintos métodos de una o varias capas de vidriado con un espesor comprendido entre 75-500 micras en total, que cubre la superficie de la pieza. Este tratamiento se realiza para conferir al producto cocido una serie de propiedades técnicas y estéticas, tales como: impermeabilidad, facilidad de limpieza, brillo, color, textura superficial y resistencia química y mecánica.

La naturaleza de la capa resultante es esencialmente vítrea, aunque incluye en muchas ocasiones elementos cristalinos en su estructura.

En Aris Industrial el esmaltado de las piezas se realiza en continuo bajo dos campanas que forman un velo que es regulado mediante una válvula.

El esmalte ya preparado es vaciado y pasado por un tamiz Malla 100 en un recipiente llamado “vasca”, que consiste en un tanque con agitador y con una bomba centrífuga que impulsa el esmalte hasta un cono de separación interno concéntrico, el esmalte cae por rebose al cono externo y por gravedad hacia la campana de aplicación.

El peso de aplicación va depender de las pruebas de laboratorio que se realicen, actualmente Aris Industrial trabaja con un peso de Engobe y Esmalte de 20 g cada uno medido en una bandeja 33x33 cm.

La pieza saliente del secadero es acondicionado (limpiado de polvo pegado en ambas caras de la pieza) para luego pasar por la cabina de aplicación de agua, el peso de agua aplicado depende básicamente de la existencia o no de pinchazos en la aplicación de los esmaltes, generalmente no debe sobrepasar de los 6 g en bandeja de 33x33 cm.

Luego de la aplicación de agua se aplica el engobe en la primera campana y el esmalte o base en la segunda campana.

La formulación aplicada de engobe es el mismo para todos los tipos de productos, mientras el esmalte utilizado va acorde al tipo de producto a producir (mates, semibrillos, base blanca, base coloreada).



**Figura 3.7. Campana de aplicación de engobe y base**



**Figura 3.8. Cabina de aplicación de agua (Pulverizador) y vasca (deposito de esmaltes)**

## **b) Decorado**

La decoración de las piezas se realiza mediante impresión tipo Inkjet con una maquina que contiene cinco cabezales llamada Kerajet.

El diseño es cargado a una PC desde el cual se envía la información hacia los cabezales, sensores de entrada detectan el ingreso de las piezas para luego imprimir el diseño cargado.

## **c) Aplicación de Protección**

La aplicación de la protección se realiza por distintos medios como rodillo, cabina de gotas, asimismo cuando se trata de productos granillados se utiliza la granilladora de cascada.

La aplicación de protección se realiza según el tipo de producto a realizar, en los productos mate generalmente no necesita protección.

## **3.6. QUEMADO O COCCION DE LAS PIEZAS**

La cocción es tal vez la fase más importante del proceso de fabricación de una pieza cerámica ya que es esta la etapa que confiere a la pieza las propiedades decorativas y/o utilitarias necesarias. Pero la etapa de cocción será exitosa siempre y cuando las etapas anteriores de preparación de materias primas, moldeo y secado se hayan hecho correctamente.

Una cocción eficiente y eficaz es aquella que evita todos los defectos que pudieran presentarse en la pieza, obteniendo así una pieza de buena calidad apta para el mercado. Para llegar a sacar el mejor provecho de una cocción, sin importar la técnica que estemos usando (bizcochado con una segunda cocción ó simplemente una monococción) es necesario conocer las reacciones que tienen lugar en la pieza durante la cocción.

Para esta etapa del proceso Aris Industrial cuenta con un horno de rodillos monocanal con las siguientes características:

Potencia calorífica: 9200 Kcal

Presión del combustible: 2.5 bar

Potencia térmica: 6150 Kcal

Temperatura de ejercicio: 1200 °C

Temperatura máxima: 1300 °C

Producción máxima: 5500 Kg/h

Atmosfera interior: Oxidante.

Dimensiones: 111.3 m x 2.33 m

Combustible: Gas Natural

### **3.6.1. Descripción de las zonas del horno:**

#### **a. Módulos de secado y precalentamiento del material**

La estructura general del horno prevé un primer segmento llamado "chimenea", aislado con fibra cerámica y adecuada para soportar temperaturas incluidas entre 200-400°C. Estos módulos están desprovistos de quemadores y reciben el calor mediante los productos de la combustión provenientes de la sección de precalentamiento y de cocción por medio del ventilador de aspiración de humos. Están equipados con aberturas de aspiración regulables

La función de esta sección consiste en completar el secado de las materias primas, eliminando la humedad residual después del ciclo de secado, esmaltado y almacenamiento y evitando que el material de cocción se quiebre o explote debido a la evaporación demasiado rápida del agua provocada por las temperaturas elevadas que se suelen formar incluso en las primeras secciones de la zona de precalentamiento.

En algunos casos, cuando el material a cocer presente una humedad equivalente al 6-7% (bizcocho), se procede a la instalación, en la primera parte del horno, de algunos módulos de secado que tienden a disminuir la humedad.

#### **b. Zona de precocción**

La sección de "precocción" o "precalentamiento" está caracterizada por una estructura aislante en condiciones de soportar temperaturas bastante elevadas. En esta sección, el material pasa de una temperatura de 300-400°C a unos 900°C y la regulación adecuada de la curva de cocción hace que se desarrollen correctamente los siguientes procesos químico-físicos: eliminación del agua de constitución, transformación del cuarzo, transformación de las sustancias orgánicas y descomposición de los carbonatos. Para asegurar el margen de regulación más amplio posible (ya que el éxito de la cocción depende principalmente de la evacuación total o parcial de los gases provocados por las reacciones químico-físicas), el sistema de combustión en esta sección prevé la presencia de quemadores, colocados debajo del plano de rodillos, que permiten atrasar la etapa de fusión del esmalte y prolongar en el tiempo la permeabilidad del mismo a los gases que se desarrollan por dentro.

#### **c. Zona de cocción**

La sección de "cocción" está equipada con un sistema de aislamiento especial, apto para las elevadas temperaturas de ejercicio.

Los quemadores están colocados arriba y abajo del plano de rodillos y la división de los mismos en pequeños grupos autorregulables permite obtener curvas de cocción elaboradas.

La elasticidad del horno permite, a través de regulaciones especiales, eliminar algunos problemas específicos, como las diferencias de calibre y planaridad, el nivel de sinterización y la tonalidad del esmalte.

#### **Módulos de enfriamiento del material**

- ❖ Enfriamiento rápido directo
- ❖ Enfriamiento lento con intercambiadores y aspiración de aire caliente
- ❖ Enfriamiento final mediante soplado de aire caliente y aspiración del mismo.

Todas estas secciones han sido proyectadas para enfriar el material que sale de la zona de cocción respetando la curva crítica (temperatura-tiempo) de cada producto; es por ello que el horno está equipado con grupos autorreguladores para la introducción de aire frío emitido por los ventiladores.

#### **d. Enfriamiento rápido**

En esta zona, que presenta una estructura idéntica a la de precocción, el producto pasa rápidamente de la temperatura de cocción a unos 600°. Para realizar dicha operación se utilizan unos tubos perforados que, al cruzar el horno de una punta a la otra tanto por arriba como por abajo de los rodillos, soplan aire frío arriba de los azulejos. Las tuberías encargadas de la distribución del aire frío a los tubos sopladores antedichos, están equipadas con una o varias válvulas motorizadas que, de acuerdo con la señal suministrada por un termopar, proceden a modular la cantidad de aire a enviar dentro del horno.

Esta zona no dispone de quemadores, exceptuando la última parte cerca de la salida del horno, que cuenta con 2 quemadores situados únicamente debajo del plano de rodillos.

#### **e. Enfriamiento con intercambiadores**

En esta zona la mezcla cerámica se somete a la transformación alotrópica del cuarzo, que provoca la disminución brusca y repentina del volumen del azulejo. Cuando esta transformación no se lleve a cabo a la velocidad oportuna, es posible que el azulejo se rompa. Es por ello que el enfriamiento se realiza utilizando un sistema de intercambiadores que refrigeran el ambiente de forma controlada automáticamente. Además, el sistema cuenta con campanas de extracción que hacen que el sistema de enfriamiento sea aún más eficiente. Tanto los intercambiadores como el sistema de aspiración de aire caliente están controlados por medio de válvulas automáticas controladas, a su vez, por sensores de temperatura (termopares) y presión.

En esta zona las temperaturas están incluidas entre los 400 y los 600°, y el nivel de aislamiento es igual al de la zona del prehorno. El aire caliente recuperado se volverá a utilizar para otros usos.

#### **f. Enfriamiento final con soplado de aire frío y aspiración del mismo**

En la última zona, las estructuras están aisladas con una sola capa de paneles. La función de esta zona es la de enfriar el material lo más posible, por tanto dispone de baterías de tubos sopladores que despiden grandes cantidades de aire frío arriba y abajo del plano de rodillos. Las temperaturas internas están incluidas entre 400 y 100°. El aire, una vez que se caliente debido al contacto con el producto, será aspirado por las campanas de extracción colocadas en la bóveda del horno.

En el Cuadro 3.3 se muestra una curva de cocción para un ciclo de 29 minutos, esmalte semibrillo.



**CUADRO 3.3**  
**CURVA DE COCCION PARA PRODUCTOS SEMIBRILLO**

<b>N° DESC</b>	<b>DET.</b>	<b>SET.</b>	<b>N° DESC</b>	<b>DET.</b>	<b>SET.</b>	<b>N° DESC</b>	<b>DET.</b>	<b>SET.</b>
K1	348	400	<b>S13</b>	830	830	<b>S25</b>	1074	1074
K2	390	450	<b>S14</b>	850	850	<b>S26</b>	1084	1084
K3	391	450	<b>S15</b>	879	880	<b>S27</b>	1076	1075
K4	437	480	<b>S16</b>	900	900	<b>S28</b>	1070	1070
S5	460	480	<b>S17</b>	960	960	<b>K29</b>	600	600
S6	499	550	<b>S18</b>	990	990	<b>K30</b>	580	580
S7	578	600	<b>S19</b>	1020	1020	<b>K31</b>	450	460
S8	564	600	<b>S20</b>	1050	1050	<b>K32</b>	509	525
S9	664	685	<b>S21</b>	1075	1074	<b>K33</b>	215	300
S10	729	730	<b>S22</b>	1084	1084	<b>K34</b>	135	200
S11	770	770	<b>S23</b>	1074	1074	<b>P. HUMO</b>	-15	-15
S12	780	780	<b>S24</b>	1084	1084	<b>P. COMB</b>	250	250

Fuente: Elaboración propia

### **3.6.2. Controles en la etapa de quema**

#### **3.6.2.1. Control Dimensional o Calibre**

Es la medición de cada uno de los lados de una fila de baldosas; con el objetivo de controlar el calibre o formato en la zona de quema.

#### **3.6.2.2. Control de la Planaridad**

Es un control visual que realiza el operario del horno para mantener la planaridad de la baldosa según la característica de la baldosa quemada, que puede ser positiva o negativa.

#### **3.6.2.3. Control de la Tonalidad**

La zona de quema define la tonalidad del producto, es un control visual con un patrón ya definido.

Otros controles que también se realizan en la etapa de quema son textura, brillo, desarrollo de esmalte entre otros.

### 3.7. CLASIFICADO

#### 3.7.1. Clasificación

Es la etapa en la cual se seleccionan las baldosas mediante diferentes criterios de selección que se describen a continuación:

##### a) Clasificación por Calibre

La maquina clasificadora cuenta con sensores que determinan el calibre de cada una de las baldosas según el formato programado:

Calibre 1 Formato 45x45: 457.50 mm, 459 mm, 460.50 mm

Calibre 2 Formato 45x45: 460.50 mm, 462 mm, 463.50 mm

Calibre 3 Formato 45x45: 463.50 mm, 465 mm, 466.50 mm

Calibre 1 Formato 34x34: 337.00 mm, 338 mm, 338.99 mm

Calibre 2 Formato 34x34: 339.00 mm, 340 mm, 341.00 mm

Calibre 3 Formato 34x34: 341.01 mm, 342 mm, 343.00 mm

##### b) Clasificación por planaridad

Sensores antes del ingreso a los apiladores detectan la planaridad de las baldosas donde los rangos permitidos según las diferentes Normas Técnicas.

En la NTP Anexo K para baldosas del grupo BIIb la planaridad permitida es la que se detalla a continuación:

#### Cuadro N° 3.4

##### Variables Dico Liner

Dico Liner	Norma	Rango mm	Rango admisible Aris Ind.	
Luneta	+/-0.5%	1.7 mm	0.9 mm	0.27%
Barril	+/-0.5%	1.7 mm	0.9 mm	0.27%
Trapecio	+/-0.5%	1.7 mm	0.9 mm	0.27%
Ortogonalidad	+/-0.6%	2.0 mm	1.0 mm	0.30%

Fuente: Aris Industrial

### Cuadro N° 3.5

#### Variables Dico Planar

Dico Planar	Norma	Rango mm	Rango Admisible Aris			
			Positivos	%	Negativos	%
Curvatura Central	+/-0.5%	2.4 mm	1.5 mm	0.31%	1.0 mm	0.21 %
Curvatura Lateral	+/-0.5%	1.7 mm	1.2 mm	0.36%	0.9 mm	0.27%
Alabeo	+/-0.5%	2.4 mm	1.5 mm	0.31%	-	-

Fuente: Aris Industrial

#### c) Clasificación Visual

Es realizada mediante un operario en una mesa clasificadora; donde por criterios de calidad ya definidos selecciona las baldosas como primera calidad, segunda calidad o descarte con un mouse seleccionador, estos criterios son: Centrado, tonalidad, defectos de prensado, defectos de esmalte o defectos en quemado.

#### 3.7.2. Encajado y Paletizado

Luego del apilado de las baldosas, la pila es transportada por cadenas hasta el divisor de pilas, pasando luego al encuadrador que lo acondiciona para un perfecto encajado.

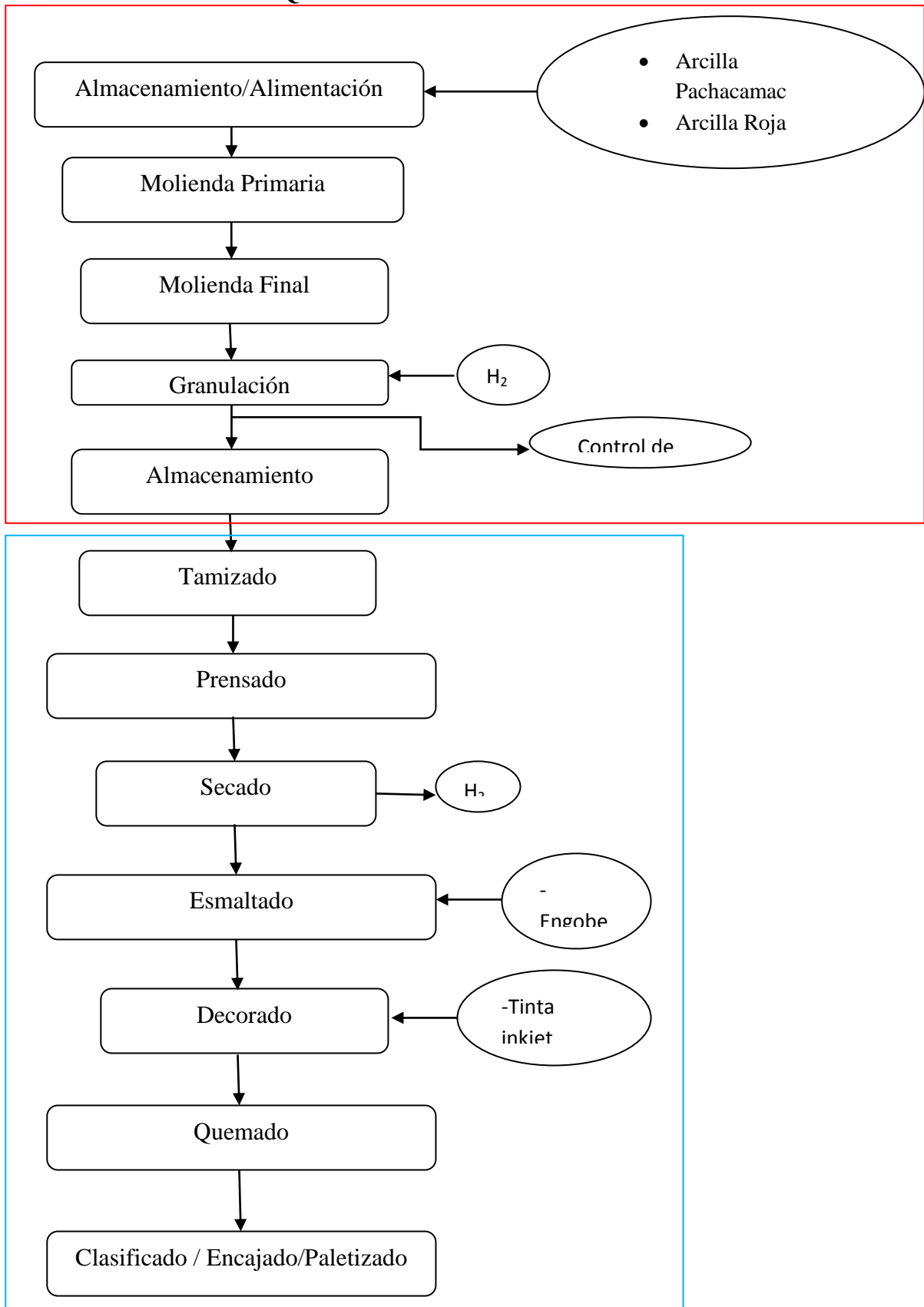
Dispositivos neumáticos, mecánicos y electrónicos realizan el encajado automáticamente.

Luego del encajado, las cajas son rotuladas con una máquina inkjet con el nombre del producto y sus características de producción.

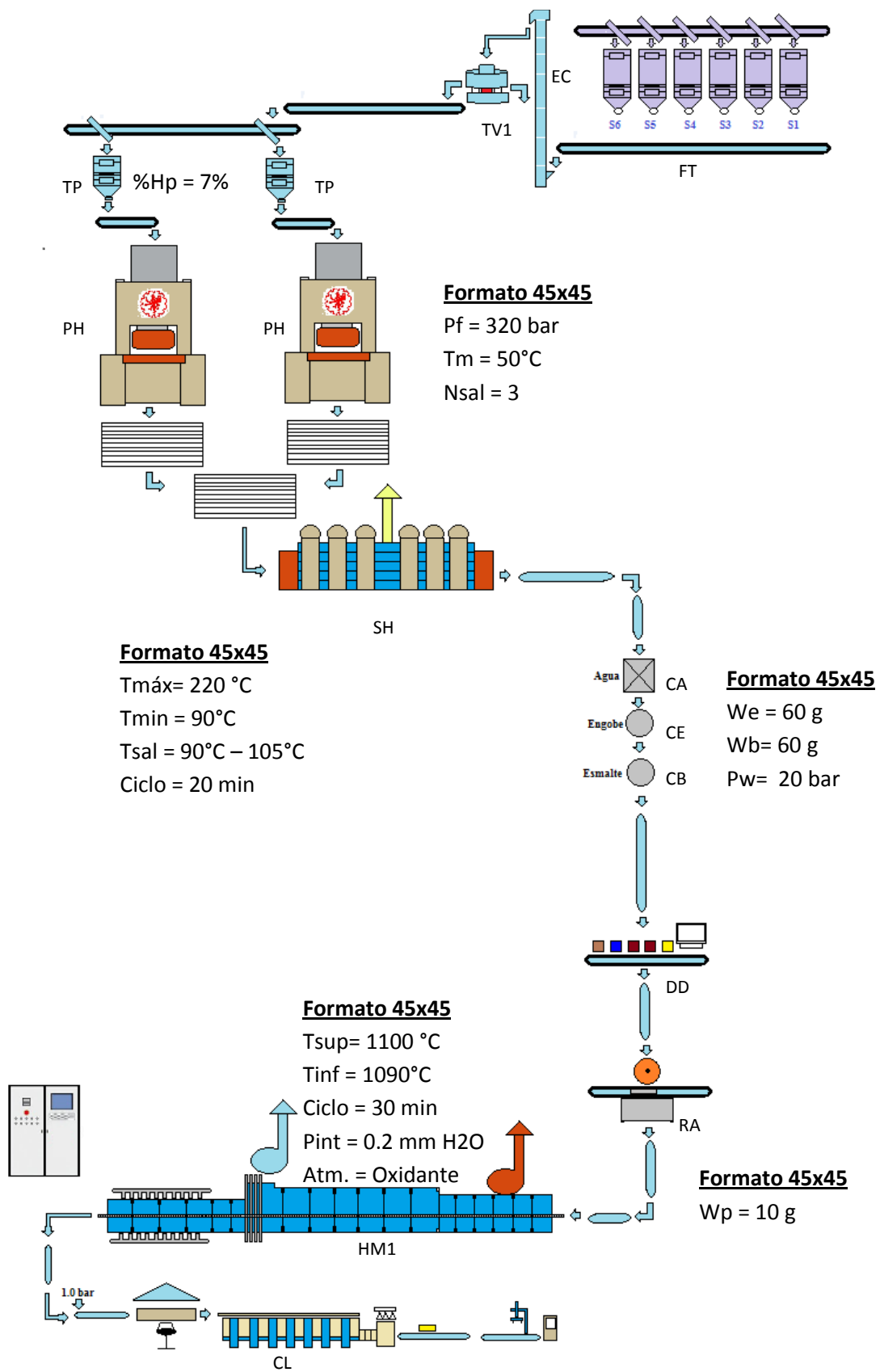
Un robot que se mueve en tres direcciones XYZ realiza el paletizado automático reconociendo el calibre y la calidad en pallets de pino radiata.

El almacenamiento de los pallets se realiza en almacenes libres de humedad.

### 3.8. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO PRODUCTIVO



### 3.9. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO PRODUCTIVO



## **LEYENDA:**

### **EQUIPOS Y MAQUINARIAS**

S1-S6 = Silos de almacenamiento de pasta

EC = Elevador de cangilones

TV1 = Tamiz vibratorio

FT = Fajas transportadoras

TP1, TP2 = Tolvas de alimentación a las prensas.

PH1, PH2 = Prensas hidráulicas con punzones isostáticos

SH1 = Secadero horizontal de 5 niveles.

CA1 = Cabina de aplicación de agua

CE1 = Campana de aplicación de engobe

CB1 = Campana de aplicación de base

DD1 = Decoración digital inkjet

RA1 = Rodillo de aplicación de protectora.

HM1 = Horno monocanal

CL1 = Línea de clasificado encajado y paletizado.

### **VARIABLES DE PROCESO**

%Hp = Porcentaje de humedad en la pasta.

Pf = Presión final de prensado (bar)

Tm = Temperaturas de molde y punzones (°C)

Nsal = Número de salidas por prensa (3 salidas por prensa en formato 45x45)

Tmáx = Temperatura máxima en la curva del secadero

Tmin = Temperatura mínima en la curva del secadero

Tsal = Temperatura de salida de las baldosas después del secado

We = Peso de aplicación de engobe

Wb= Peso de aplicación de base

$W_p$  = Peso de aplicación de protectora

$P_w$  = Presión de aplicación de agua (bar)

$T_{sup}$  = Temperatura superior en la zona de quema del horno ( $^{\circ}C$ )

$T_{inf}$  = Temperatura inferior en la zona de quema del horno ( $^{\circ}C$ )

$P_{int}$  = Presión interna del horno (mm de  $H_2O$ )

Atm. = Atmósfera interna del horno

### 3.10. BALANCE DE MATERIA DEL PROCESO PRODUCTIVO

#### Datos

Longitud del horno = 111.3 m

Número de piezas por fila que ingresan al horno = 4

Ciclo del horno para el cálculo = 30 min

Longitud de baldosa = 480 mm

Anchura de baldosa = 480 mm

Espesor de baldosa = 7.6 mm

Humedad de la pasta = 7.0%

Peso de aplicación de engobe = 60 g (35% de agua)

Peso de aplicación de base = 60 g (35% de agua)

Peso de aplicación de protectora = 10 g (70% de agua)

#### Cálculos previos:

**Filas x horno** = Longitud de horno/Longitud de baldosa = 111.3 m / 0.48 m = **231.875 filas**

**Piezas x horno** = (Filas horno) x (Número piezas por fila) = 231.875 x 4 = **927.5 piezas horno.**

**Cantidad de piezas en un minuto de producción** = Piezas horno / ciclo del horno  
= 927.5 piezas / 30 min = **32 piezas/min.**

### **Balance en el prensado:**

Para llenar el horno se requiere 32 piezas por minuto más 10% para compensador y asumiendo 5% de pérdida en la línea.

# piezas requeridos por minuto =  $1.15 \times 32$  piezas / min = **37 piezas/ min.**

**1 golpe = 3 piezas.**

# golpes requeridos =  $(37 \text{ piezas / min}) \times (1 \text{ golpe / } 3 \text{ piezas}) =$  **12.3 golpes / min**

Como se tienen 2 prensas, cada una hará **6.2 golpes / min**

### **Consumo de pasta por minuto**

Densidad relativa del cuerpo prensado =  $2.003 \text{ g/cm}^3$  (dato de laboratorio)

**Kg de pasta por pieza** = Densidad relativa x Volumen de la pieza =

=  $2.003 \text{ g/cm}^3 \times 48 \text{ cm} \times 48 \text{ cm} \times 0.76 \text{ cm} = 3507.33 \text{ g} =$  **3.5073 Kg / pieza**

**Kg de pasta por minuto** = Piezas/min x Kg / pieza =  $37 \text{ piezas / min} \times 3.5073 \text{ Kg/pieza}$   
= **129.77 Kg / min.**

### **Balance en el secado:**

**Ingreso** = 129.77 Kg / min con 7% de Humedad

Humedad Residual = 0.5%

Peso en seco de una pieza =  $3.5073 \text{ Kg / pieza} \times 0.065 \times 3.5073 \text{ Kg / pieza} =$  **3.2793 Kg**

**Salida** =  $129.77 \text{ Kg / min} - 0.065 \times 129.77 \text{ Kg / min} =$  **121.33 Kg / min (pasta)**

**Agua extraída** =  $129.77 \text{ Kg / min} - 121.33 \text{ Kg / min} =$  **8.44 Kg / min (agua)**

### **Balance en la línea de esmaltado:**

**Ingreso** = 121.33 Kg / min de pasta seca

Aplicación de engobe =  $60 \text{ g (35 \% agua)} = 0.65 \times 0.06 \text{ Kg} = 0.039 \text{ Kg seco}$

Aplicación de base =  $60 \text{ g (35 \% agua)} = 0.65 \times 0.06 \text{ Kg} = 0.039 \text{ Kg seco}$

Aplicación de protectora =  $10 \text{ g (70 \% agua)} = 0.3 \times 0.01 \text{ Kg} = 0.003 \text{ Kg seco}$

**Consumo de engobe, base y protectora por cada Kg de pasta**



Peso de aplicación por pieza = 0.06 Kg de engobe húmedo / pieza seca

Peso de aplicación por pieza = 0.06 Kg de base húmedo / pieza seca

Peso de aplicación por pieza = 0.01 Kg de protectora húmedo / pieza seca

**Peso de aplicación por Kg de pasta = (0.06 Kg de engobe / pieza seca) / (1 pieza seca / 3.2793 Kg de pasta) = 0.018297 Kg de engobe húmedo / Kg de pasta seca**

Entonces:

Kg de engobe húmedo por Kg de pasta seca = 0.018297 Kg engobe /Kg de pasta seca

Kg de base húmeda por Kg de pasta seca = 0.018297 Kg base /Kg de pasta seca

Kg de protectora húmeda por Kg de pasta seca = 0.003049 Kg protectora /Kg de pasta seca

**Kg de esmaltes aplicados = 0.018297 Kg engobe /Kg de pasta seca x 0.65 +0.018297 Kg base /Kg de pasta seca x 0.65 + 0.003049 Kg protectora /Kg de pasta seca x 0.3 = 0.02470 Kg de esmaltes secos / Kg de pasta seca**

**Agua extraída = 0.018297 Kg engobe /Kg de pasta seca + 0.018297 Kg base /Kg de pasta seca + 0.003049 Kg protectora /Kg de pasta seca - 0.02470 Kg de esmaltes secos / Kg de pasta seca = 0.0149 Kg de agua / Kg de pasta seca**

**Salida = 121.33 Kg de pasta seca / min +0.02470 Kg de esmaltes secos / Kg de pasta seca = 121.3547 Kg de pasta esmaltada / min**

**1 pieza esmaltada pesa = 3.5073 Kg / pieza + 0.65x0.060 Kg / pieza +0.65x0.060 +0.3x0.010 = 3.5883 Kg de pasta esmaltada**

### **Balance en el horno:**

**Ingreso = 121.3547 Kg de pasta esmaltada / min**

**Filas x horno = Longitud de horno/Longitud de baldosa = 111.3 m / 0.48 m =231.875 filas**

**Piezas x horno = (Filas horno) x (Numero piezas por fila) = 231.875x4 = 927.5 piezas horno.**

**Cantidad de piezas en un minuto de producción = Piezas horno / ciclo del horno  
= 927.5 piezas / 30 min = 32 piezas/min.**

## Datos

Número de piezas por caja = 9 piezas / caja

Metros cuadrados por caja = 1.9 m<sup>2</sup>/caja

Perdidas por contracción y cocción = 7.7 %

## Cálculo de m<sup>2</sup> por pieza

$$\text{m}^2 / \text{pieza} = 1.9 \text{ m}^2/\text{caja} / 9 \text{ piezas} / \text{caja} = \mathbf{0.21 \text{ m}^2 / \text{pieza}}$$

**Kg de 1 pieza cocida** = Kg de pieza esmaltada x 0.923 = 3.5883 x 0.923 = **3.31 Kg /pieza cocida**

$$\text{Kg} / \text{m}^2 = (\text{Kg de 1 pieza cocida}) / (\text{m}^2/\text{pieza}) = 3.31 / 0.21 = \mathbf{15.8 \text{ Kg} / \text{m}^2}$$

El consumo energético por Kg de material quemado es aproximadamente 500 Kcal / Kg, 2600 m<sup>3</sup> de Gas natural / turno, mientras más rápido sea el ciclo del horno menor será el consumo energético.

## **CAPITULO IV**

### **CONTROL DE CALIDAD**

Son mecanismos, acciones, herramientas realizadas para detectar la presencia de errores. Para controlar la calidad de un producto se realizan inspecciones o pruebas de muestreo para verificar que las características del mismo sean óptimas.

#### **4.1. Clasificación, Características**

Las baldosas cerámicas se dividen en grupos según su método de fabricación (moldeo) y su absorción de agua. Los grupos no presuponen la utilización de los productos.

##### **4.1.1. Clasificación por moldeo:**

- Baldosas extruidas (A)
- Baldosas prensadas en seco (B)
- Baldosas coladas (C)

##### **4.1.2. Clasificación por absorción de agua:**

- Baldosas con baja absorción de agua (Grupo I)  $E \leq 3\%$
- Baldosas con mediana absorción de agua (Grupo II)  $3\% < E \leq 10\%$

El grupo II se subdivide en dos subgrupos:

- a)  $3\% < E \leq 6\%$  (Grupo IIa)
- b)  $6\% < E \leq 10\%$  (Grupo IIb)

- Baldosas con elevada absorción de agua (Grupo III) E 10%

En Aris Industrial la clasificación está dentro del grupo BIIb (Prensado en seco con absorción de agua  $6\% < E \leq 10\%$ ).

## 4.2. Pruebas de Laboratorio

Las pruebas o ensayos de laboratorio se realizan con la finalidad de verificar la calidad del producto, el cumplimiento de las características fisicoquímicas en los diferentes puntos del proceso, algunos por su complejidad son realizadas en laboratorio, mientras otros controles más sencillos son realizadas en los mismos puntos del proceso.

### 4.2.1. Controles en el área de Arcillas y Molienda Seca:

Los controles que se realizan a las arcillas y en la molienda seca son las siguientes:

- a) **Humedad:** Se realizan controles a la materia prima que generalmente debe estar en un rango de no mayor a 4%; el producto de la molienda primaria debe estar entre 2% a 3.5 % para el ingreso a la molienda final del cual sale con una humedad de 2% a 3%, en el humectador se lleva a una humedad entre 6.8% a 7.2%.
- b) **Granulometría:** Se realizan controles al producto de la molienda final y granulación, los valores típicos se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla N° 4.1.**

#### Valores típicos de granulometría en molienda seca

Malla $\mu$	Granulador	Molino pendular
850	0.10	0
425	1.06	0
250	6.14	0.74
125	17.40	11.22
63	24.76	27.06
fondo	50.54	60.98

**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.2.2. Controles en el área de Prensa - Secadero:

Los controles se realizan al producto en verde y en seco:

a) **Resistencia Mecánica a la Flexión (RMF):** este control se realiza a la pieza en verde y en seco para asegurar que el producto este dentro de los limites de control según la norma (NE 100), en verde debe estar entre 3 Kgf/cm<sup>2</sup> a 5 Kgf/cm<sup>2</sup> y en seco entre 14 Kgf/cm<sup>2</sup> a 22 Kgf/cm<sup>2</sup>.

b) **Humedad Residual:** Se realiza con la finalidad de asegurar que el secado sea efectivo y no exceder el valor máximo de producción óptima que es < 1.0%

b) **Control de Espesor:** Si bien el control de los espesores es realizado de manera automática en la programación de la prensa, se requiere realizar mediciones para asegurar que este dentro de los rangos establecidos:

- Para 45 x 45..... 7.6 mm a 8.0 mm

- Para 33 x 33..... 7.2 mm a 7.5 mm

#### 4.2.3. Controles en el área de Esmaltado - Decorado:

a) **Control de Densidad de los Esmaltes:** Se realiza para garantizar los rangos de trabajo de los esmaltes que está entre 1780 g/mL a 1830 g/mL, se realiza en un picnómetro metálico de 100 cm<sup>3</sup>

a) **Control de Viscosidad de los Esmaltes:** Se realiza para garantizar la fluidez de los esmaltes que está entre 25 s a 35 s, en recipiente denominado copa Ford.

a) **Peso de Aplicación:** El peso de aplicación va depender del tipo de esmalte que se vaya a aplicar y de las condiciones de trabajo ya probadas.

#### **4.2.4. Controles en el área de Cocción (Horno):**

a) **Control Dimensional:** Esta prueba se realiza con la finalidad de controlar el trapecio y el calibre.

Los método de ensayo se detalla en el Anexo A.

a) **Control Visual:** Esta prueba se realiza con la finalidad de verificar el aspecto estético del producto final (Tono, brillo, etc)

#### **4.2.5. Controles en el producto terminado:**

El producto terminado tiene que cumplir las características exigidas por la norma y por el mercado; los controles exigidos se realizan en el laboratorio, estas son Absorción de agua, rotura flexión, abrasión, cuarteo, ataque químico, manchas, etc.

Los método de ensayo se detalla en el Anexo A.

## **CAPITULO V**

### **MANTENIMIENTO Y SEGURIDAD INDUSTRIAL**

#### **5.1. Mantenimiento Industrial**

El área de mantenimiento esta conformada por dos grupos, los cuales son: Mantenimiento eléctrico y mantenimiento mecánico.

Las funciones que cumplen son:

- Evitar las paradas de línea, reparando inmediatamente las fallas en las maquinarias y equipos, tanto en el sistema mecánico y eléctrico.
- Conservar los bienes productivos en condiciones seguras.
- Prolongar la vida útil de los bienes, etc.
- Realizar el mantenimiento correctivo.
- Realizar el mantenimiento preventivo.

## **5.2. Seguridad Industrial**

La seguridad industrial se ocupa de dar lineamientos o directrices generales para el manejo o la gestión de riesgos en la industria.

La instalación industrial incluye una gran variedad de operaciones de molienda transporte, generación de energía, altas temperaturas, fabricación y eliminación de residuos, que tienen peligros inherentes que requieren un manejo muy cuidadoso, así como adoptar, cumplir y hacer cumplir una serie de normas de seguridad y medidas preventivas que establece la ley 29783 de Seguridad y Salud en el trabajo.

Las normas son un punto muy importante ya que ayudan en gran medida a reforzar el ambiente de seguridad, teniendo objetivos como la de evitar lesiones y muerte por accidente.

Para evaluar los peligros y riesgos se utiliza una serie de herramientas y procedimientos denominado IPER (Identificación de peligros y evaluación de riesgos), con el fin de cuantificar los riesgos potenciales para minimizarlos, controlarlos o eliminarlos.



## **CAPITULO VI**

### **APORTES Y MEJORAS**

- El producto final contenía 20% de grano reventado en el cualitativo general, se propuso cambiar una de las arcillas en la composición de la pasta por otra que contenga menos pirita, consiguiendo de esta manera elevar la calidad de la producción de 78% a 98%.
- La apertura de las rejillas del molino de martillos era de 20mm, esto, aumentaba la cantidad de gruesos que iban al molino pendular disminuyendo la producción del mismo, se propuso disminuir la apertura a 15 mm aumentando la producción del molino pendular de 6 TM/h a 8 TM/h, además de ello se redujo el desgaste de los péndulos, bomeros y pistas del molino pendular.

- Por las condiciones climatológicas de las canteras, las arcillas llegan con cierta humedad a la planta; cuando esta humedad supera el 3% la granulación de la pasta es deficiente, se planteó la instalación de un quemador en el molino pendular con la finalidad de reducir la humedad en la pasta que va hacia el granulador y aumentar la eficiencia de granulación, se consiguió reducir la humedad promedio de 4.2% a 3% consiguiendo mejores resultados en la granulación.
- Para lograr aumentar la humedad de la pasta después de la molienda a 7% se utilizaba una humectadora de paletas con discos aspersores, esta máquina tenía constantes atoros por saturarse con lodo, se propuso la compra de un granulador para reemplazar la humectadora con la finalidad de obtener una pasta homogénea en cuanto a humedad y aumentar la granulación, hoy el control es más eficiente y con mejores resultados.
- El control de caudal de alimentación de la pasta hacia las prensas se hacía mediante compuertas de biela y un disco extractor, generando muchas veces desbordamientos de pasta, se propuso la instalación de inverters en los motores de los discos extractores para el control automático mediante velocidad de giro del disco, esto trajo como resultado la reducción de desbordamientos de arcilla y evitar el manipuleo de las compuertas.
- La cantidad de rechazo en los tamices rotatorios de las prensas era de 2 TM/día por el tamaño de malla que estaba instalado (malla 12); se propuso cambiar a malla 10, consiguiendo reducir a 0.9 TM/día de rechazo.
- En el arranque de planta se realizaron pruebas de prensado a diferentes humedades de arcilla; encontrando en 6.8% a 7.2% el rango de trabajo óptimo.
- Se tenía problemas con la eliminación del laminado en las prensas 20% aproximadamente, se probó reducir la cantidad de platinas en la rejilla de carga de 12 platinas inicialmente (formato 45x45) hasta 4 platinas logrando eliminar el laminado.

- La velocidad de alimentación de las fajas hacia las tolvas de las prensas era muy lenta debido a motoredutores de baja velocidad, con el aumento de la producción las paradas de las prensas por falta de tierra eran constantes, se planteó el cambio por motoredutores de más velocidad, consiguiendo reducir las paradas de las prensas al mínimo.
- La humedad residual del cuerpo en seco estaba entre 1.2% a 1.7%, generando defectos en la cocción, además de poner en riesgo el funcionamiento del horno, realizando pruebas de curvas de secado, se encontró la óptima, con la cual se redujo a un rango de 0.5% a 0.8%, de humedad residual con buenos resultados en las siguientes etapas del proceso.
- En el arranque de planta se empezó aplicando 40 g/bandeja de engobe y esmalte, con la final de reducir posibles defectos, realizando pruebas de aplicación, se redujo el peso de aplicación a 25 g/bandeja, permitiendo un ahorro significativo en el consumo de esmaltes de S/. 1000 000 anuales, en el presente el peso de aplicación depende del tipo de producto que se está realizando (25-30 g/bandeja).
- El lavado de las campanas en donde se aplican los esmaltes es necesario para garantizar que no se produzcan grumos o defectos de aplicación, con el método antiguo el lavado llevaba aproximadamente 30 min., se sugirió la compra de flujómetros automáticos con la cual se alcanzó una reducción a 10 min. el tiempo de lavado de campanas mejorando el proceso.
- La desgasificación en la zona de prequema del horno no se realizaba de manera adecuada generando defectos en el producto final, se propuso la habilitación de quemadores en esa zona, con ello se alcanzó un mejor desarrollo del esmalte mejorando la calidad del producto final.
- La aplicación de goma caliente para el pegado de las cajas causaba constantes accidentes por quemadura en los operarios (1.5 accidentes por mes en promedio), se propuso implementar el uso de goma fría para el encajado y acoplado de las cajas con esto se eliminó totalmente los accidentes por quemadura.

- El acomodo de los pallets después del paletizado en la zona de entrega de PT se realizaba de un solo nivel, esto ocasionaba mayor uso de espacio en la zona, se propuso acomodar los pallets en dos niveles, con esto se redujo el área de uso a un 50% permitiendo tener mas área libre para el movimiento de los montacargas.

## CONCLUSIONES

- Se conoció de manera amplia el proceso de producción de revestimientos cerámicos para piso y pared, mostrando con detalle la tecnología, maquinarias y materias primas utilizadas en esta industria.
- La mineralogía de las arcillas; la humedad y granulometría en la molienda seca son variables que se deben controlar constantemente ya que las condiciones de las arcillas y los molinos son cambiantes con el tiempo y afectados por factores geográficos, climáticos, desgaste y fallas de maquinaria, así como la intervención del hombre.
- El prensado es una parte muy importante del proceso de producción de revestimientos cerámicos en la cual la calidad del producto prensado depende directamente de dos variables: humedad y granulometría de la pasta, asimismo variables como la condición de los moldes, los punzones y parámetros de carga y prensada también tienen participación importante para que un cuerpo en verde este apto para la siguiente etapa del proceso.

- Un secado eficiente del cuerpo en verde depende de dos factores importantes: curva de secado (temperatura) y tiempo de secado (ciclo), un secado eficiente será el que nos dé una humedad residual menor a 1% y una temperatura de salida de la pieza entre 95°C a 105°C.
- En la aplicación de esmalte, variables como densidad, viscosidad y peso de aplicación de los esmaltes influyen de manera directa sobre las características estéticas del producto final, por tal motivo los controles de dichas variables se realizan constantemente para mantener la homogeneidad de las mismas.
- La cocción quizás sea la etapa más importante del proceso de producción en la cerámica, los factores para una buena cocción son muchas pero las más resaltantes son: la curva de cocción, formulación de la pasta, formulación de los esmaltes, parámetros de trabajo del horno, la curva de cocción depende de muchos factores para su correcta evaluación, entre estas podemos mencionar: el ciclo de cocción, clase de esmaltes, clase de pasta, etc., estos factores ayudan a elaborar una receta de cocción sin embargo esta es cambiante con el tiempo y las condiciones de trabajo.
- El producto final después de la cocción debe cumplir con ciertos requisitos para su comercialización, requisitos que exige tanto la Norma Europea y la Norma Técnica Peruana para ello pasa por una clasificación visual, control físico, químico e instrumental.
- Se mostró con detalle el diagrama de flujo del proceso productivo de revestimientos cerámicos evaluando en cada etapa los balances de materia y conociendo de cerca los parámetros de trabajo de los equipos y maquinarias.

- El control de calidad que se realiza en las distintas etapas del proceso garantiza que el producto final mantenga la calidad en el tiempo así mismo nos sirve para poder corregir en el camino las condiciones de operación.
- Como conclusión final podemos aseverar que la cerámica artesanal e industrial comparten los mismos principios con la diferencia única de la tecnología aplicada en cada uno de ellos, además de ello la cerámica es cambiante por la misma materia prima (arcillas), para esto es necesario la constante investigación.

## **RECOMENDACIONES**

Con fines de reducir costos y aumentar competitividad las empresas deberían priorizar a la mano de obra desarrollando un programa de capacitación estructurado con bases simples pero prácticas que sean muy puntuales en sus temas y en la forma de aplicarlos, los tiempos modernos no permiten largas sesiones o largos periodos de prueba que no impacten de manera significativa en los bienes de la empresa, es por eso que la planeación, ejecución, evaluación y seguimiento de un programa de capacitación es fundamental para el desarrollo del recurso humano de una empresa.

Es sumamente importante que se identifiquen las necesidades reales para establecer un programa de capacitación que cumpla con los objetivos esperados y no sea meramente un trámite para cumplir con un proceso sino que realmente cubra las necesidades de la empresa e influya directamente en la satisfacción del empleado y en su proceder diario, ya que la industria cerámica requiere gente que conozca y entienda de cerca el proceso de la cerámica y actúe con criterio frente a los diferentes problemas que se presenten.

La globalización ha motivado el incremento de inversión en Investigación y Desarrollo de tal forma que, los parámetros que caracterizan la gestión de empresas, como: mercado, liderazgo y dirección; desarrollo de personal, conocimiento, planeamiento y control;



administración y mejora de productos, procesos, equipos; articulación, solidez empresarial, impacto en la sociedad, efectividad y valor agregado; están orientados por el mejoramiento de los productos y procesos, la mejora continua de la calidad, y la gestión de la innovación.

Así, la dinámica empresarial ha tenido que adaptarse a los actuales escenarios y adoptar la estrategia del conocimiento; puesto que han surgido diversas oportunidades y desarrollo de nuevos mercados, regulaciones y normas que obligan a cambiar las estrategias.

De esta manera, cada vez más, las empresas asumen que su rentabilidad futura depende de sus gastos actuales en investigación y desarrollo, su actividad de patentamiento, los sistemas de gestión de la calidad y ambientales, y muchas otras facetas de la estrategia empresarial; de ahí que el desempeño competitivo dependa de la formación de capital intelectual y de la capacidad de innovar.

La innovación tecnológica es un proceso de generación de ideas (invención) que se implantan con algún valor agregado (conversión de la idea en una aplicación útil a la sociedad o desarrollo comercial). Este proceso tiene múltiples estadios dependientes del conocimiento de las necesidades de los clientes, de las actividades de los competidores y de los ciclos de retroalimentación en las distintas etapas, que constituyen la esencia de la innovación.

La organización debe tener una estrategia de gestión del conocimiento, lo cual implica detectar e incorporar al mercado productos innovadores. Por ello, sus actividades de Investigación y Desarrollo deben estar relacionadas con la estrategia competitiva y con su capacidad de liderazgo para competir con mejores productos o servicios.

Además, la empresa, para asegurar su permanencia en el mercado, debe desarrollar capacidades de gestión tecnológica y de proyectos; generar un sistema de exploración

tecnológica, de investigación y desarrollo; así como, impulsar nuevas formas de vinculación entre el sector productivo, académico y de gobierno.

Hoy, la mejor forma de incrementar la competitividad es a través de la innovación. Y puesto que, la innovación tecnológica es una de las principales fuentes de subsistencia de las empresas, la empresa que no innova, deja de vender sus productos en pocos años.

La empresa como parte de su política debería incluir un plan de incentivos que se proponga estimular o inducir a los trabajadores a observar una conducta determinada que, generalmente, va encaminada directa o indirectamente a conseguir los objetivos de más calidad, más cantidad, menos costo y mayor satisfacción; de este modo, se pueden ofrecer incentivos al incremento de la producción, siempre que no descienda la calidad, la asiduidad y puntualidad (premiándola), al ahorro en materias primas.

## **BIBLIOGRAFIA**

1. ASOCIACION DE TECNICOS CERAMICOS “Tecnología de la fabricación de azulejos” – Editorial IMPIVA., Imola Italia.
2. F. H. NORTON “Cerámica fina, tecnología y aplicaciones” – Ediciones Omega S.A., Plató 26 – Barcelona 6.
3. JORDI BRUGUERA “Manual Práctico de Cerámica” - Ediciones Omega S.A. Plató 26 – 08006, Barcelona.
4. PEDER HALD “Técnica de la cerámica” – Ediciones Omega S.A. Plató 26 – 08006. Barcelona.
5. NORMA TECNICA PERUANA, NTP – ISO 13006-2010.
6. NORMA TECNICA PERUANA, NTP – ISO/IEC 17025 – 2006.
7. NORMA TECNICA ECUATORIANA, NTE INEN 2 195:2000

# ANEXO

**ANEXO K (extraído de la NTP- ISO 13006)**  
**BALDOSAS CERAMICAS PRENSADAS EN SECO**

$$6\% < E \leq 10\%$$

**GRUPO BIb**

**K.1 Requisitos**

Los requisitos dimensionales, de aspecto superficial, las propiedades físicas y químicas se establecen en la tabla K.1

**Tabla K.1 – Requisitos para las baldosas de cerámica prensada en seco, Grupo BIIB,**

**6% < E ≤ 10%**

Dimensiones y aspecto Superficial	Superficie S del producto (cm <sup>2</sup> )				Ensayo
	S < 90	90 < S < 190	190 < S < 410	S > 410	
<p><b>Longitud y ancho</b> El fabricante escogerá las dimensiones de trabajo siguientes:</p> <p>a) Para baldosas modulares con un ancho de junta nominal entre 2 mm y 5 mm;</p> <p>b) Para baldosas no modulares cuya diferencia entre la dimensión de trabajo y la nominal no sea mayor que ±2% (máx. ±5% mm).</p> <p>La desviación, en porcentaje del tamaño promedio de cada baldosa (2 o 4 lados) respecto a la dimensión de trabajo (W)</p>	±1.2%	±1.0%	±0.75%	±0.6%	ISO 10545-2
<p>La desviación, en porcentaje, del tamaño promedio de cada baldosa (2 a 4 lados) respecto al tamaño promedio de 10 muestras de ensayo (20 a 40)</p>	±0.75%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	ISO 10545-2
<b>Espesor</b>					
a) El espesor será especificado por el fabricante					
b) La desviación, en porcentaje del espesor promedio de cada baldosa con respecto al tamaño del espesor de trabajo	±10%	±10%	±5%	±5%	ISO 10545-2
<b>Rectitud de los lados (cara vista)</b>					
La desviación máxima de la rectitud, en porcentaje con relación a la dimensión de trabajo correspondiente	±0.75%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	ISO 10545-2
<b>Rectangularidad</b>					
La desviación máxima de la rectangularidad, en porcentaje con relación a la dimensión de trabajo correspondiente	±1.0%	±0.6%	±0.6%	±0.6%	ISO 10545-2

**Tabla K.1 – Continuación**

Dimensiones y aspecto Superficial	Superficie S del producto (cm <sup>2</sup> )				Ensayo
	S < 90	90 < S < 190	190 < S < 410	S > 410	
<b>Planaridad de la Superficie</b>					
La desviación máxima de la planitud, en porcentaje:					
a) Curvatura central, con relación a la diagonal calculada con la dimensión de trabajo	±1.0%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	ISO 10545-2
b) Curvatura lateral, con relación a la dimensión de trabajo correspondiente	±1.0%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	ISO 10545-2
c) Alabeo, con relación a la diagonal calculada con la dimensión de trabajo	±1.0%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	ISO 10545-2
<b>Calidad de la superficie</b>	Un mínimo de 95% de las baldosas estará libre de defectos visibles que puedan perjudicar el aspecto de una superficie mayor de baldosa				ISO 10545-2
<b>Propiedades físicas</b>	Requisitos				Ensayo
<b>Absorción de agua</b> Porcentaje en masa	6% < E ≤ 10% Máximo individual 11%				ISO 10545-3
<b>Resistencia a la Rotura, en N</b>					
a) Espesor ≥ 7.5 mm	No menor que 800				ISO 10545-4
b) Espesor < 7.5 mm	No menor que 500				ISO 10545-4
<b>Resistencia a la flexión, en N/mm<sup>2</sup></b>					
No aplicable a baldosas con resistencia a la flexión > 3000 N	Mínimo 18 Mínimo individual 16				ISO 10545-4
<b>Resistencia a la abrasión</b>					
a) Resistencia a la abrasión profunda de las baldosas no esmaltadas; volumen removido, en mm <sup>3</sup>	Máximo 540				ISO 10545-6
b) Resistencia a la abrasión superficial de las baldosas esmaltadas utilizadas para pisos	Reporte de la clase de abrasión y ciclos pasados				ISO 10545-7
<b>Coefficiente de Dilatación térmica lineal</b>					
Desde temperatura ambiente a 100°C	Método de ensayo disponible				ISO 10545-8
<b>Resistencia al choque térmico</b>	Método de ensayo disponible				ISO 10545-9
<b>Resistencia al cuarteo: baldosas esmaltadas</b>	requerida				ISO 10545-11

**Tabla K.1 – Continuación**

<b>Resistencia a la helada</b>	requerida	ISO 10545- 12
<b>Coefficiente de fricción</b>		
<b>Baldosas utilizadas para pisos</b>	El fabricante establece el valor y el método de ensayo utilizado	ISO 10545- 17
<b>Expansión por humedad, en mm/m</b>	Método de ensayo disponible	ISO 10545- 10
<b>Pequeñas diferencias de color</b>	Método de ensayo disponible	ISO 10545- 16
<b>Resistencia al impacto</b>	Método de ensayo disponible	ISO 10545- 5

**Fuente:** NTP – ISO 13006 Anexo K

## **Anexo A: Métodos de ensayo**

### **Determinación de las dimensiones y calidad superficial.**

Es parte de la NTP ISO 10545, establece métodos para la determinación de la características dimensionales (largo, ancho, espesor, rectitud de los lados, ortogonalidad y planaridad de la superficie) y de la calidad superficial de las baldosas cerámicas.

#### **1. MEDIDA DEL LARGO Y DEL ANCHO**

##### **1.1 Equipo**

**1.1.1 Calibrador Vernier** o cualquier otro instrumento apropiado para medidas lineales.

##### **1.2 Procedimiento**

Medir todos los lados de cada una de las baldosas a ensayar, a 5 mm de cada esquina con una precisión de 0.1 mm.

##### **1.3 Expresión de resultados**

En las baldosas cuadradas, la medida promedio de cada baldosa es el promedio de las cuatro medidas.

En las baldosas rectangulares, el promedio de las medidas de cada par de los lados paralelos da la medida promedio.



## 2. MEDIDA DEL ESPESOR

### 2.1 Equipo

**2.1.1 Micrómetro con palpadores** de 5 mm a 10 mm de diámetro u otro instrumento adecuado.

### 2.2 Procedimiento

Para todas las baldosas, salvo aquellas que tengan superficies irregulares, trazar diagonales y medir el espesor en el punto de máximo espesor en cada una de las cuatro secciones. Medir el espesor de cada baldosa en los cuatro puntos, con una precisión mínima de 0.1 mm.

### 2.3 Expresión de resultados

Para todas las baldosas, la dimensión promedio de cada baldosa individual es el promedio de las cuatro mediciones.

## 3. CALIDAD SUPERFICIAL

### 3.1 Definiciones de defectos superficiales y efectos intencionales

Para los fines de la NTP se aplican las siguientes definiciones:

- 3.1.1 Grieta:** fractura producida en el cuerpo de la baldosa, visible en la cara vista, en el reverso o en ambos.
- 3.1.2 Cuarteo:** rotura del esmalte con aspecto de finas fisuras irregulares.
- 3.1.3 Falta de esmalte:** carencia de esmalte en parte de la cara esmaltada de una baldosa.
- 3.1.4 Hendiduras (desnivel):** depresión no intencional producida en la superficie de una baldosa o de su esmalte.
- 3.1.5 Pinchado:** orificio minúsculo en la cara vista de una baldosa esmaltada.
- 3.1.6 Desvitrificación del esmalte:** cristalización no intencional del esmalte, visible a simple vista.
- 3.1.7 Punto o mancha:** toda zona visualmente distinta del resto de la cara vista de la baldosa, no provocada intencionalmente.
- 3.1.8 Defecto bajo el esmalte:** defecto visible cubierto por el esmalte.
- 3.1.9 Defecto de decoración:** defecto visible en la decoración.
- 3.1.10 Despostillado:** fragmento desprendido de los lados, esquinas o superficies de una baldosa.
- 3.1.11 Burbuja:** pequeña ampolla superficial, abierta o no, debida a la expulsión de gas durante la cocción.
- 3.1.12 Borde rugoso:** irregularidad no intencional a lo largo del borde de una baldosa.
- 3.1.13 Rebaba:** acumulación excesiva e inusual de esmalte a lo largo del borde de una baldosa.

## **3.2 Equipo**

**3.2.1** Luz fluorescente con temperatura de color de 6000 K a 6500 K.

**3.2.2** Una regla de 1 m u otro medio apropiado para medir distancia.

**3.2.3** Un fotómetro.

## **3.3 Procedimiento**

Colocar las baldosas de forma que su cara vista pueda ser observada perpendicularmente a la superficie desde una distancia de 1 m. Exponerlas a la luz de intensidad uniforme de 300 lux en la superficie de las baldosas y comprobar la intensidad de la luz en el centro y en cada esquina del panel de baldosas a examinar.

Examinar las baldosas a simple vista (o con lentes si se usan habitualmente).

La preparación del panel de baldosas y el examen visual no deben realizarse por la misma persona.

Los efectos intencionales en la superficie no deben ser considerados como defectos.

La calidad superficial se expresa como porcentaje de baldosas sin defectos.

## **4. DETERMINACION DE LA ABSORCION DE AGUA**

Hay dos métodos para impregnar de agua los poros abiertos de las muestras: por ebullición y al vacío. La ebullición permite la impregnación de los poros abiertos que se puedan llenar fácilmente; el método del vacío permite el llenado de casi todos los poros abiertos.

El método de la ebullición debe ser utilizado para la clasificación y la caracterización de las baldosas. El método del vacío debe emplearse para determinar la porosidad aparente, la densidad relativa aparente y la absorción de agua, salvo, en este caso a efectos de la clasificación de baldosas.

### **4.1 Equipos**

**4.1.1** Estufa de secado capaz de funcionar a  $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$

Puede usarse un horno microondas, un secador por infrarrojos o cualquier otro sistema de secado, a condición de que se haya comprobado que se obtienen los mismos resultados.

**4.1.2** calentador fabricado en un material inerte apropiado en el cual se realice la ebullición del agua.

**4.1.3** Balanza con una precisión del 0.01% respecto a la masa de la muestra.

**4.1.4** Agua desionizada o destilada.

**4.1.5** Desecador

**4.1.6** Gamuza

- 4.1.7 Anillo metálico arnés o cesta capaz de soportar las muestras sumergidas y que permita realizar los pesajes hidrostáticos.
- 4.1.8 Vaso de vidrio o recipiente similar, de tamaño y forma tales que la muestra suspendida en la balanza por el anillo metálico este totalmente sumergida en el agua sin que la muestra ni su soporte toquen ninguna parte del recipiente.
- 4.1.9 Cámara de vacío y sistema de vacío con capacidad suficiente para contener el número exigido de muestras y mantener un vacío de  $(10 \pm 1)$  KPa durante 30 min.

Si el área de cada baldosa es superior a  $0.04 \text{ m}^2$  solo se someterán a ensayo 05 baldosas

## 4.2 Procedimiento

Secar las muestras en la estufa de secado hasta masa constante, es decir, hasta que la diferencia de masa entre dos pesajes sucesivos efectuados con un intervalo de 24 h, sea inferior a 0.1%. Dejar enfriar las muestras hasta que alcancen la temperatura ambiente en un desecador con silicagel, pesar cada muestra y anotar los resultados.

Colocar las muestras verticalmente en el calentador lleno de agua sin que se toquen, de forma que el nivel de agua por encima y por debajo de las muestras sea de 5 cm.

Mantener el nivel de agua a 5 cm por encima de las muestras durante todo el ensayo. Llevar a ebullición y mantenerla así durante 2 h, retirar la fuente de calor y dejar enfriar hasta que alcancen la temperatura ambiente manteniéndolas completamente suspendidas durante  $4 \text{ h} \pm 15 \text{ min}$ . Para enfriar las muestras se pueden emplear serpentines refrigerantes o agua a temperatura ambiente. Humedecer la gamuza y escurrirla a mano, colocar sobre la superficie plana y secar ligeramente cada una de las muestras, inmediatamente después de esta operación, pesar cada muestra y anotar los resultados.

## 4.3 Expresión de resultados

Sean:

$m_1$  la masa de la baldosa seca

$m_2$  la masa de la baldosa impregnada con agua hirviendo.

Para cada baldosa, el coeficiente de absorción de agua, E, expresado como porcentaje de masa seca, se calcula mediante la ecuación:

$$E = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100$$

## 5. DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA FLEXION Y LA CARGA DE ROTURA.

### 5.1 Equipos

Estufa capaz de mantener una temperatura de  $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$

Fleximetro cuenta con dos rodillos de apoyo cilíndricos de metal, cuyas partes en contacto con la muestra están recubiertas de caucho y un rodillo central cilíndrico, de diámetro igual al de los rodillos de apoyo, recubierto de caucho del mismo tipo, para poder transmitir la carga  $F_{bl}$ .

Diámetro de los rodillos,  $d$ , grosor del caucho,  $t$ , y longitud  $L_1$  (medidas en milímetros)

Medidas de la baldosa $L$	Diámetro de rodillo $D$	Grosor del caucho $T$	Distancia entre los puntos de apoyo y los bordes de la Baldosa $L_1$
$18 \leq L < 48$	5	$1 \pm 0.2$	2
$48 \leq L < 95$	10	$2.5 \pm 0.5$	5
$L \geq 95$	20	$5 \pm 1$	10

### 5.2 Procedimiento

Secar las muestras en la estufa mantenida a  $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ , hasta lograr una masa constante, es decir hasta que la diferencia entre dos pesadas sucesivas efectuadas con intervalo de 24 h sea inferior a 0.1%. Las muestras pueden enfriarse con la estufa apagada y cerrada o en desecador con silicagel, las muestras deben ensayarse antes de que transcurran 3 h después de haber alcanzado la temperatura ambiente.

Colocar la muestra sobre los rodillos de apoyo, con la cara vista hacia arriba de forma que sobrepase cada rodillo de apoyo.

Se coloca el rodillo central equidistante a los rodillos de apoyo. Se aplica la carga repartida uniformemente, de forma que el esfuerzo aumenta en  $(1 \pm 0.2) \text{ N/mm}^2$ .

### 5.3 Expresión de resultados

Para calcular la resistencia a la flexión promedio son necesarios como mínimo 5 resultados aceptables.

Calcular la fuerza de rotura  $F_{bs}$  expresada en N con la ayuda de la ecuación:

$$F_{bs} = \frac{F_{bl} \times L_2}{b}$$

Donde:

$F_{bl}$  : es la carga de rotura expresada en N.

$L_2$  : es la distancia en mm. Entre los rodillos de apoyo.

$b$  : es el ancho de la baldosa en mm.

Calcular la resistencia a la flexión R, expresada en N/mm<sup>2</sup> con ayuda de la ecuación.

$$\sigma_{F_{bl}} = \frac{3F_{bl}L_2}{2bh^2}$$

$$\sigma_{F_{bl}} = \frac{3F_{bs}}{2h^2}$$

Donde:

$F_{bl}$  : es la carga de rotura expresada en N.

$L_2$  : es la distancia en mm. Entre los rodillos de apoyo.

$b$  : es el ancho de la baldosa en mm.

$h$  : es el espesor mínimo, en mm. De la baldosa medido tras el ensayo.

El cálculo de la resistencia a la flexión se basa en una sección transversal rectangular. En el caso de baldosas con grosor no uniforme la media del grosor mínimo en la sección de rotura solo da resultados aproximados. La aproximación es mayor cuanto menos acentuado sea el relieve.