



Laboratorio Técnico Cerámico S.L.

CAPÍTULO III

EL MOLDEO POR EXTRUSIÓN DE LOS PRODUCTOS CERÁMICOS DE CONSTRUCCIÓN



Laboratorio Técnico Cerámico S.L.

3.1 FACTORES DEPENDIENTES DE LA MATERIA PRIMA

Aunque los costes de preparación y moldeo de la materia prima en una fábrica de baldosas, tejas o ladrillos giran en torno al 3 - 4% de los costes totales de elaboración del producto, sin embargo si estas operaciones no se desarrollan correctamente, pueden dar lugar a un incremento notable de los costes de las fases más caras del proceso productivo, como son el secado y la cocción.

Los efectos de trabajar con una arcilla moldeada con tensiones, frecuentemente no se ven hasta que la pieza ha salido del secadero, del horno o incluso a veces hasta después de varios años de puesta en servicio.

Entre los múltiples factores que se han de tener en cuenta para lograr un buen resultado en la extrusión, hay unos que guardan relación con la materia prima, en cambio, otros dependen de la maquinaria utilizada para el moldeo.

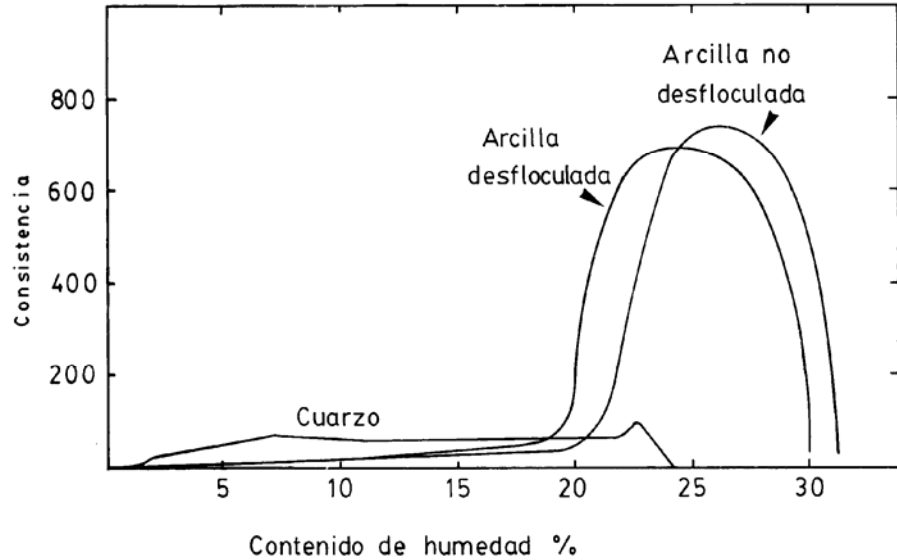
Comenzaremos por el estudio de los primeros.

La primera condición para lograr unos buenos resultados en la extrusión es que el material a extrusionar presente las mínimas variaciones posibles, tanto en lo que respecta a su composición (plasticidad) como a su grado de preparación (granulometría más o menos fina) y a su contenido de humedad.

En una masa arcillosa, además de las partículas arcillosas plásticas, existen compuestos acompañativos, no plásticos, tales como el cuarzo, feldespatos, carbonato cálcico, ... cuyo comportamiento frente al agua difiere sensiblemente del propio de la arcilla.

En la figura 69 pueden verse tres curvas según W.E. Brownell, obtenidas con el plastógrafo de Brabender, en las que se relaciona la variación de la consistencia en función del contenido de humedad. Dicho aparato consiste esencialmente en una pequeña amasadora, en la que se deposita el material seco y se van agregando cantidades crecientes de agua, midiendo la consistencia obtenida a través del par o esfuerzo desarrollado por la amasadora.

FIGURA 69 - Variación de la consistencia en función del contenido de humedad en dos muestras de arcilla y en otra de cuarzo pulverizado (según W.E. Brownell)

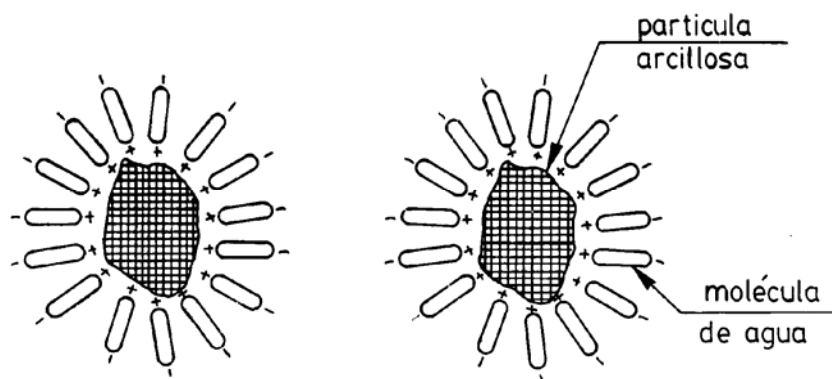


De las tres curvas, dos corresponden a una arcilla desfloculada y sin desflocular y la tercera a un material carente de plasticidad: cuarzo pulverizado.

Puede observarse que, cuando se agrega agua a las arcillas, no se consigue un incremento apreciable de la consistencia hasta que se alcanzan porcentajes de humedad relativamente altos: entre el 18 y 20%.

Durante el período inicial el agua es absorbida por la superficie de las partículas arcillosas formando una capa rígida que se comporta como si fuese una película sólida, tal como se representa en la figura 70.

FIGURA 70



A medida que aumenta el número de capas de agua que envuelven a la partícula arcillosa van perdiendo rigidez (ver figura 71) hasta que sobre el 18% comienzan a aparecer moléculas de agua libres entre partícula y partícula, tal como se representa en la figura 72.

FIGURA 71

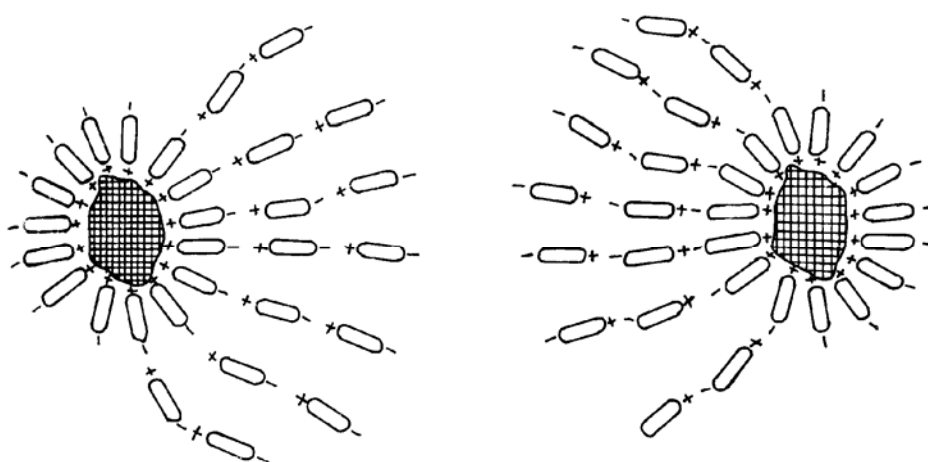
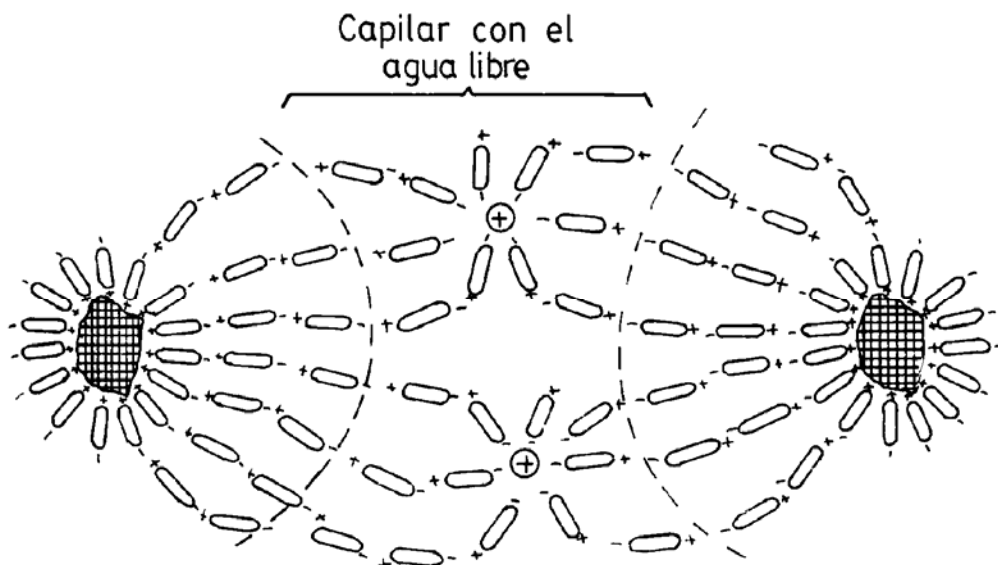


FIGURA 72



La atracción capilar entre el agua libre y el agua ligada a la superficie de las partículas arcillosas determina un rápido incremento de la cohesión o fuerza de unión entre partícula hasta alcanzar el punto de máxima consistencia. Si se continua agregando agua, la sección de los capilares aumenta y la atracción capilar disminuye, apreciándose en las curvas citadas (figura 69) un rápido descenso de la consistencia de la arcilla.

Sobre el 30 - 31% de humedad se obtiene una barbotina con una consistencia similar a la del polvo sin humectar.

El cuarzo es un material carente de plasticidad, pues sus cargas eléctricas de superficie son insignificantes comparadas con las de un cristal arcilloso. El agua ligada a la superficie del cristal de cuarzo es mínima, por lo que a muy bajos contenidos de humedad ya existen moléculas de agua libres que desarrollan una pequeña consistencia. Las fuerzas de atracción capilar mantienen este bajo nivel de consistencia dentro de un amplio intervalo de humedades (hasta que se llenan todos los poros).

Las curvas de consistencia obtenidas durante el amasado de una arcilla pueden dar una idea bastante exacta acerca de su plasticidad.

En las arcillas magras, las consistencias máximas son menores pero se alcanzan con más bajos porcentajes de agua que en las plásticas. Dado que, por otra parte, las condiciones de flujo del material arcilloso a través de la extrusora dependen básicamente de su consistencia, se comprende la necesidad de mantener lo más constante posible la proporción de arcilla y desgrasantes en la mezcla, es decir, la plasticidad.

FIGURA 73

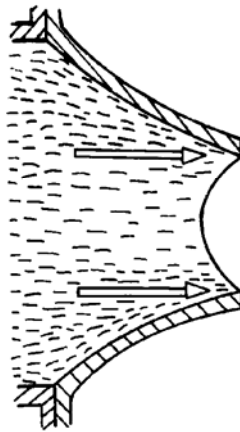


FIGURA 74



Si aumenta excesivamente el componente arcilloso, se incrementa paralelamente la cohesión de la masa y la resistencia interna que opone al flujo o deslizamiento entre partícula y partícula; en cambio, deslizará mejor sobre las superficies metálicas (menor rozamiento). La consecuencia de esto será que el molde quedará desequilibrado, pues la arcilla fluirá con mayor velocidad por la periferia que por el centro (figura 73).

En cambio, un incremento en el porcentaje de desgrasante traerá como consecuencia una disminución de la cohesión interna de la masa y un aumento de su resistencia externa por roce contra las paredes del molde (cantos vivos de los granos de arena). La arcilla fluirá con mayor velocidad por el centro del molde, quedando éste igualmente desequilibrado (figura 74).

Incluso manteniendo constantes los porcentajes de arcilla y desgrasantes pueden presentarse modificaciones en las condiciones de flujo de la arcilla si se varía el contenido de humedad de la pasta tal como se deduce de las curvas de la figura 69.

Una vez alcanzado el punto de máxima consistencia, si se aumenta sensiblemente el porcentaje de humedad, la cohesión desciende rápidamente facilitándose el deslizamiento entre partícula y partícula, con lo cual la masa tenderá a fluir por el centro del molde con mayor velocidad. Algo similar pasará si se desciende el contenido de humedad y se trabaja por debajo de la zona de equilibrio de máxima consistencia.



Laboratorio Técnico Cerámico S.L.

Cuanto menos plástica sea la arcilla, mayor sensibilidad presentará a estos cambios de humedad. Una variación de un dos o tres por ciento de humedad en una arcilla plástica puede pasar desapercibida, en cambio, en una arcilla magra dará lugar a un cambio total de la consistencia y de las condiciones de flujo a través del molde. En esta propiedad se basa la determinación de la plasticidad por el sistema de los límites de Atterberg.

El límite plástico representa la humedad mínima que la arcilla debe contener para poder ser moldeada por ejemplo en una extrusora de vacío, trabajando con una consistencia en la arcilla de unos 2 Kg/cm^2 .

El límite líquido corresponde a la máxima humedad que la arcilla puede contener siendo todavía moldeable; por encima de dicho porcentaje de humedad, la cohesión interna o atracción entre las partículas arcillosas, sería tan baja que la pieza recién moldeada no aguantaría su propia forma.

El límite se halla muy próximo a la humedad utilizada en el moldeo de ladrillos o baldosas manuales y corresponde a una consistencia de unos 0.03 Kg/cm^2 , medidos con un penetrómetro de bolsillo.

El índice de plasticidad es la diferencia entre la humedad correspondiente al límite líquido y al límite plástico. En arcillas para ladrillos, suele oscilar entre 10 y 20.

Con índices de plasticidad por debajo de 10, puede resultar problemático mantener la humedad de amasado dentro de los límites tolerables para el moldeo.

Durante la extrusión de la arcilla, tiene lugar la orientación de las partículas, paralela al sentido de flujo.

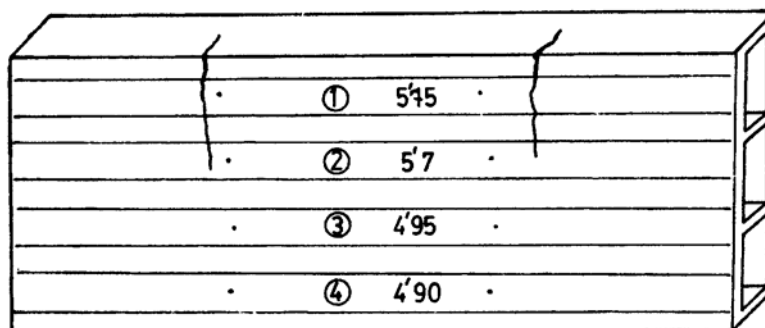
El grado de orientación de las partículas aumenta con la velocidad de salida. Si la velocidad de salida varía en la sección de la pieza por cambios en la plasticidad o humedad de la masa arcillosa, en la pieza cerámica recién extrusionada existirán diferentes grados de orientación. Cuanto mayor sea el grado de orientación menor será el contenido de humedad y más baja la contracción de secado.

Estas diferencias: grado de orientación, humedad y contracción, pueden originar tensiones y roturas de secado.

Uno de los sistemas más utilizados en el equilibrado de moldes se basa en los principios expuestos. Este sistema, detecta las diferencias de velocidad en la sección de salida del molde, determinando las diferencias de contracción que pueden presentarse en la misma pieza.

Para esto, a la salida de molde se marcan sobre la superficie de la pieza, mediante un marcador de probetas o incluso con las mismas patas del pie de rey, unas distancias fijas, por ejemplo de 100 mm. tal como se presenta en la figura 75 (1,2,3 y 4).

FIGURA 75:



Se pone a secar la pieza procurando que el secado sea lo más uniforme posible y se mide la contracción en las diferentes zonas marcadas. Los resultados obtenidos con la pieza de la figura 75 ponen de manifiesto un molde desequilibrado con una velocidad de salida decreciente del punto 4 al punto 1. La mayor contracción de secado experimentada por la arcilla que ha salido por los puntos 1 y 2 ha determinado la aparición de las grietas y fisuras de secado. Para evitarlas es preciso aumentar la velocidad de salida en dichas zonas, con lo cual se aumentará el grado de orientación y se reducirá la humedad y contracción.

Resumiendo podemos decir que si varía el contenido de humedad y la plasticidad de la arcilla, varía la consistencia o cohesión de la masa arcillosa, la velocidad de salida en la sección del molde, el grado de ordenamiento de las partículas de arcilla en distintos puntos de la pieza, su contenido de humedad y la contracción de secado. Estas diferencias de contracción en la misma pieza, producen tensiones, las cuales si superan la capacidad de deformación elástica y plástica de la arcilla y su resistencia mecánica a tracción, se producirán roturas de secado.

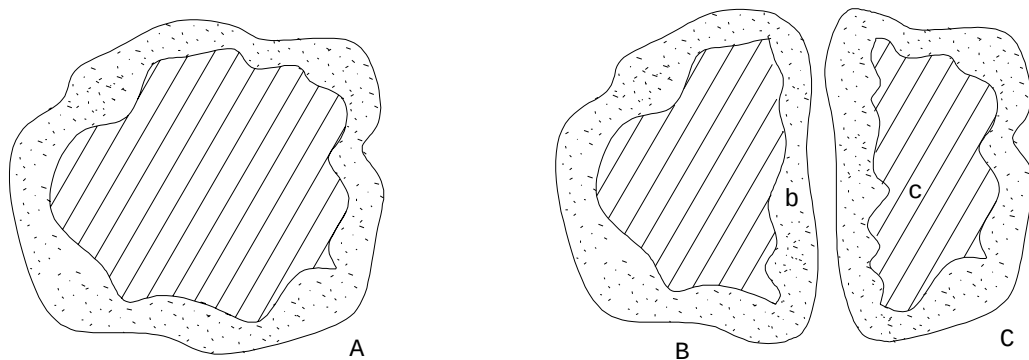
Para evitar estos problemas, es necesario que la consistencia de la masa arcillosa a extrusionar experimente el mínimo de variaciones posibles, para lo cual se debe mantener constante tanto su humedad como el porcentaje de arcilla y desgrasantes (plasticidad).

Para lograr una mayor regularidad y constancia en el porcentaje de agua adicionada en la amasadora de la galletera, se instalan válvulas neumáticas que cierran automáticamente la entrada de agua en cuanto la máquina se para y evitan el estar abriendo, cerrando y regulando continuamente el caudal de agua. No se aconseja la instalación de electroválvulas porque si se va la corriente, quedan abiertas y la amasadora se llena de agua.

Por otra parte, la presión del agua en el circuito de alimentación a la galletera debe ser suficiente: 2-2,5 Kg/cm², y lo más regular posible, quedando independiente de la red general, ya que de lo contrario podría variar a merced de las contingencias que en la misma pudieran presentarse: abertura o cierre de un grifo, etc. Con una presión insuficiente, no se consigue una entrada de agua uniforme a toda la amasadora. Como seguridad, la bomba, se enclava directamente con el embrague de la extrusora, de forma que al embragar se pone en marcha y al desembragar se para.

Además de los dos factores analizados (humedad y plasticidad), existen otros como el grado de molturación y la temperatura de la masa arcillosa que pueden influir en su consistencia y en las condiciones de flujo a través del molde.

FIGURA 76 - Aumento de la superficie específica con el grado de molturación.



En la figura 76 hemos representado en forma gráfica, lo que sucede cuando a un fragmento de arcilla A, lo dividimos en dos fragmentos más pequeños B y C; aparecen dos nuevas superficies de fractura: b y c, en las cuales se puede fijar una cantidad adicional de agua.

Este aumento de la superficie específica y del ligamen o unión entre partícula y partícula da como resultado un aumento de la consistencia o cohesión de la masa arcillosa, así como una variación en las condiciones de flujo a través del molde.

Otro de los factores que se debe mantener constante a la hora de la extrusión es la temperatura de la masa arcillosa.

Si como hemos señalado en la figura 72 la plasticidad o cohesión de la arcilla se debe a la atracción capilar entre el agua libre y el agua ligada a las partículas arcillosas, cuanto más baja sea la viscosidad del agua libre menor será la tensión superficial y la atracción capilar.

Como la viscosidad se reduce con la temperatura, deducimos que al calentar un material arcilloso, por ejemplo, amasando con vapor reduciremos también la atracción capilar, la plasticidad y cohesión de la arcilla. Ésta alcanzará su máxima cohesión con menor cantidad de agua. La consistencia máxima nunca será tan alta, el barro fluirá con más facilidad obteniéndose un mejor rendimiento de la extrusora y un menor consumo, que con ciertas arcillas plásticas puede llegar al 50%. Por ejemplo, en una fábrica que trabajaba con una arcilla plástica, el consumo en galletera al poner vapor, descendía de 200 CV a 100 CV. La utilización de vapor puede obligar al reequilibrado de los moldes.

Algo similar sucede según se desprende de las gráficas de la figura 69 con los desfloculantes, como por ejemplo con los lignosulfonatos, utilizados por muchas cerámicas de Francia, Inglaterra y E.E.U.U.; se logra una disminución en el porcentaje de humedad de moldeo y un aumento del rendimiento de la extrusora, reduciéndose su consumo.

Recomendamos establecer un control periódico a lo largo de la jornada laboral, de la consistencia de la pieza a la salida de molde, mediante un penetrómetro de bolsillo (figura 77).

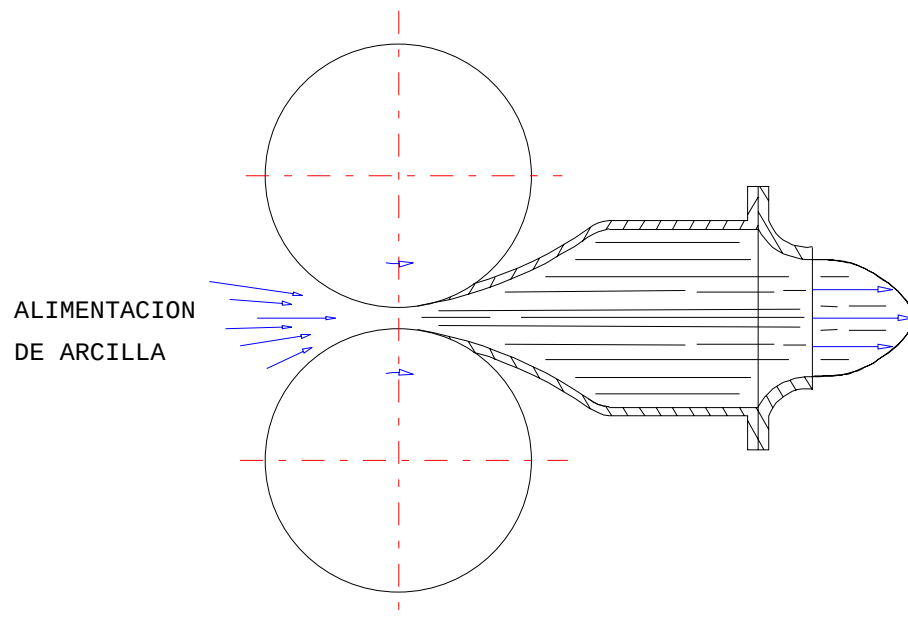
FIGURA 77 - Penetrómetro de bolsillo



3.2. DEPENDIENTES DE LA MAQUINARIA DE EXTRUSIÓN

Se han utilizado tres sistemas diferentes para la extrusión de las pastas cerámicas: el pistón, los rodillos y la hélice, presentando cada uno sus ventajas e inconvenientes. Así por ejemplo con las galleteras de pistón se conseguía una gran uniformidad de velocidad y presión en toda la sección de salida, sin embargo no daba un flujo continuo y no se podía trabajar con vacío, lo cual limitaba su utilización a las arcillas más plásticas.

FIGURA 78 - Galletera de rodillos



Con el sistema de rodillos el flujo de barro es continuo y puede hacerse el vacío pero no se logra una distribución uniforme de velocidades y presiones en la sección de salida ni se consigue la homogeneización que tiene lugar cuando se trabaja con hélice.

El sistema de hélice, es el que al final ha terminado imponiéndose, pues, se logra una producción continua, se trabaja con vacío y se consigue una mejor homogeneización de la pasta ya que la mayor parte del barro que llega al final de la hélice (entre el 50 y el 85%) retrocede por el mismo canal o por el espacio existente entre la hélice y las costillas; todo lo cual produce un efecto de homogeneización de la arcilla, que no se logra en los dos tipos de extrusora antes citados.

Nos limitaremos por lo tanto al estudio de este sistema haciendo un análisis de las funciones que debe cumplir cada uno de los elementos que encuentra la arcilla a su paso por el grupo de vacío.

La materia prima preparada cae en la amasadora de doble eje que forma parte del grupo de vacío.

En esta amasadora se acaba de ajustar el % de humedad necesaria para el moldeo de la arcilla agregando una pequeña cantidad de agua (<2%) o vapor (<3%). Las palas de la amasadora pueden ser fijas o bien orientables (ver figura 79).

En este caso llevan un sistema de espina que se inserta en perforaciones existentes en el eje (ver figura 80). La orientación de las palas permite regular la intensidad del amasado y el volumen desplazado por la amasadora. Cuanto mayor inclinación se da a las palas mayor será la producción de la amasadora y menor su desgaste y a la inversa.

Algunas amasadoras, disponen de un original sistema que les permite amasar la arcilla pala contra pala y no simplemente empujando la arcilla hacia adelante, consiguiéndose un amasado mucho más intensivo.

Para evitar el efecto del desgaste sobre los ejes de la amasadora algunos usuarios los recubren con tubos partidos que se cambian en cuanto se desgastan.

En la parte final de la amasadora, las palas del doble eje, se sustituyen por hélices (ver figura 81 y 82) y la artesa se cierra completamente, forzando al barro a pasar a la cámara de vacío a través de unas entradas cónicas, a cuya salida se sitúan unos peines o placas perforadas que producen el desgarre y división de la arcilla, aumentando su superficie expuesta al vacío y facilitando el posterior desaireado.

Las estrellas que giran con los ejes de la amasadora van cortando las barritas de arcilla formadas cuando ésta pasa a través de los peines o placas perforadas que cierran las entradas cónicas.

FIGURA 79: Palas orientables.



FIGURA 80: Sistema de espina para la inserción de las palas.

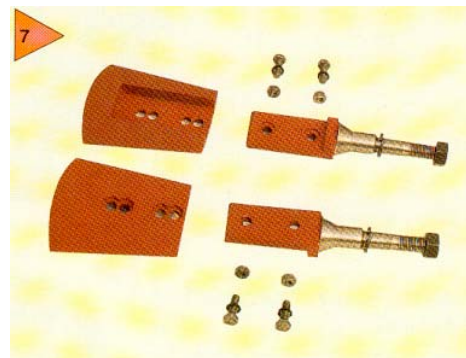


FIGURA 81

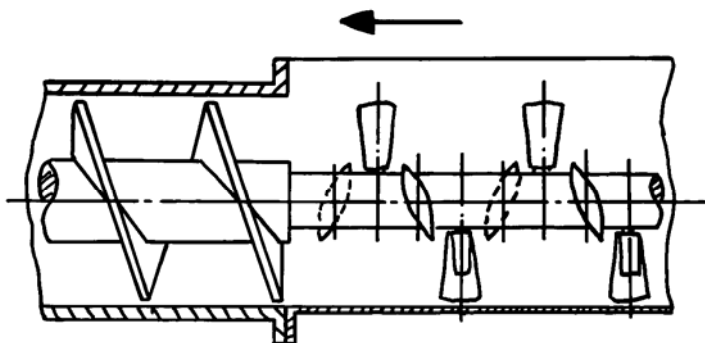


FIGURA 82:

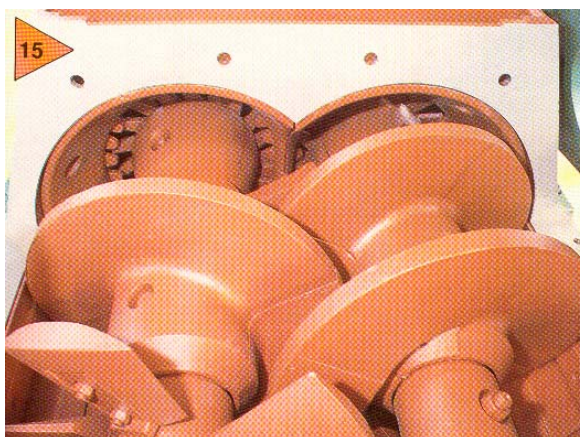
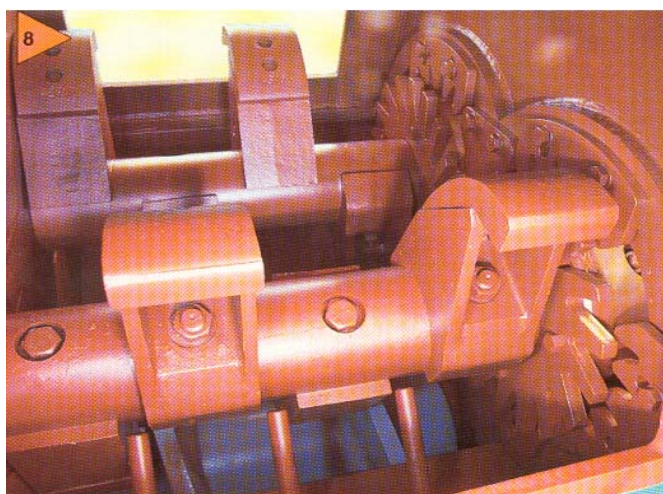


FIGURA 83:



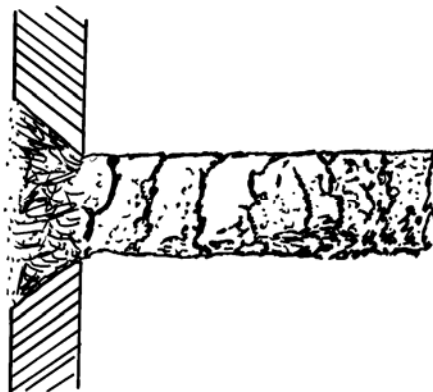
La arcilla estancada sobre las placas de entrada a la cámara de vacío, forma una especie de tapón hermético que impide la entrada de aire desde la amasadora a la cámara de vacío.

En las hélices y en los peines de introducción a la cámara de vacío tiene lugar una primera homogeneización de la arcilla con la humedad y aditivos eventualmente adicionados en la amasadora.

Hay que señalar que la desaireación del material no solamente depende del vacío conseguido en la extrusora, sino también de la superficie específica de los pelets de arcilla, del tiempo de desaireación y de la naturaleza de la arcilla. Las arcillas sericíticas (micáceas) se desairean con dificultad porque forman estructuras laminares que dificultan la extracción del aire. En cambio las arcillas montmorilloníticas presentan menores problemas de desaireado.

Dado que el tiempo de desaireación es muy reducido, se ha de facilitar el proceso aumentando la superficie específica. Para ello es necesario que las perforaciones de las placas de entrada a la cámara de vacío sean muy cónicas tal como se muestra en la figura 84.

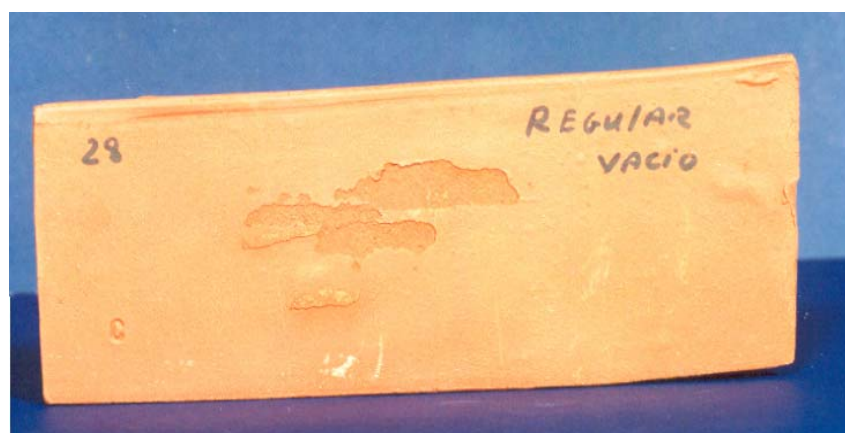
FIGURA 84



Del estado de las placas o peines y estrellas de entrada a la cámara de vacío va a depender en buena parte la eficacia del desaireado de la arcilla.

Para saber si se está logrando un correcto desaireado de la arcilla, se hace la siguiente prueba: a la salida de la extrusora, se recogen dos piezas recién cortadas y se golpean entre sí de manera que se lleguen a pegar, a continuación; se despegan y se observan las superficies despegadas (ver figura 85)

FIGURA 85:



Con un mal vacío, la piel de la pieza presenta amplias zonas peladas, observándose abultamientos superficiales llenos de aire.

Con un vacío regular, la piel solo se pela en el centro de la pieza y el desprendimiento es muy superficial. Con un buen vacío la piel de la pieza se presenta intacta.

El desaireado de la arcilla en la cámara de vacío se puede hacer mediante bombas de recirculación de agua, de aceite o de pistón.

Con bombas de agua, se debe disponer de un depósito intermedio en el que el sistema descarga aproximadamente un 50% del agua circulante, de esta forma se consigue al menos en parte refrigerar el agua del sistema e impedir que se caliente excesivamente el aire evacuado de la cámara de vacío, lo cual aumentaría su volumen, reduciendo la eficacia de la bomba.

Las bombas de recirculación de aceite, se calientan menos, pero el sistema debe disponer de un dispositivo para evacuar la humedad del aire extraído de la arcilla, pues, si se llega a emulsionar con el aceite éste se convierte en una masa pastosa que impide el funcionamiento de la bomba.

Las bombas de pistón dan también muy buenos resultados: duran mucho y apenas si requieren mantenimiento, pero, si en el aire extraído hay humedad, el pistón se daña rápidamente. En consecuencia, se debe instalar un filtro intermedio y no se pueden utilizar cuando se amasa con vapor.

En la parte frontal superior de la cámara de vacío, va instalado un vacuómetro para medir el vacío conseguido. Dispone de dos escalas: una en % y la otra en cm de mercurio. Un vacío del 80% significa que se reduce en un 80% el volumen de aire existente en la cámara de vacío, lo cual equivale a una disminución del 80% de la presión atmosférica ejercida por dicho aire que en condiciones normales a nivel del mar, es igual a la presión ejercida por una columna de mercurio de 76 cm de alto.

Por lo tanto, un vacío del 80% equivaldría a una disminución del 80 de 76 cm = 60,8 cm que es el valor indicado en la segunda escala. La presión residual existente en la cámara de vacío será $76 - 60,8 = 15,20$ cm de mercurio.

Para tener más tiempo de desaireación de la arcilla, la capacidad volumétrica de la cámara de vacío y de la zona subsiguiente debe ser la mayor posible, por esta razón el diámetro de la hélice en la zona de alimentación es mayor que en el resto del cilindro.

Los pelets formados a la entrada de la cámara de vacío, caen en la zona de alimentación de la hélice (ver figura 86).