

Universidad de la República, Facultad de Arquitectura
Escuela Universitaria Centro de Diseño

Tesis de Graduación

Investigación experimental del proceso de colada
y vertido para la producción de piezas cerámicas

Agradecimientos y dedicatoria

Los agradecimientos de este trabajo están dirigidos a todas las personas que han contribuido en mayor o menor medida al desarrollo y perfeccionamiento de esta investigación. En primera instancia a mis familiares, quienes me brindaron el apoyo y la motivación necesaria para afrontar este desafío.

Especialmente el agradecimiento a los tutores que me han acompañado en este proceso , Alberto Benítez y Andrés Parallada. Además agradecer al Dr. José Piaggio por su apoyo en el análisis estadístico, el cual fue de vital importancia en el desarrollo de esta investigación.

Por otro lado agradecer a los docentes que han contribuido en mi formación en el terreno de la cerámica, Laura Ramos e Irene Santa Cruz del taller de cerámica "Charrúa2630", y por su parte, Carlos Barrientos. También agradecer a Javier Wijnants del taller "Naceres", y Juan Patche, con quienes el intercambio ah sido siempre enriquecedor para el desarrollo de mi faceta ceramista.

Por su puesto agradecer a los docentes de la Universidad consultados para este trabajo. Rosario Romano, Juan Banderas, Virginia Badalá, Álvaro Borrazas, Martín Iribarren, entre otros.

La dedicatoria de esta investigación está especialmente dirigida al Colectivo Cerámica Uruguay, con el cual he podido vincularme cada vez mas desde el encuentro realizado en Piriápolis en setiembre de 2014.

Finalmente, dedicar este trabajo a los estudiantes, egresados y docentes de la Escuela Universitaria Centro de Diseño, así como del Instituto Escuela Nacional de Bellas Artes, y la Escuela de Artes y Artesanías Dr. Pedro Figari, como medio para el acercamiento al rubro cerámico.

Índice

- Resumen.....	4	- Proporción de yeso y agua.....	50
- Motivación personal	5	- Secado de los moldes.....	51
- Introducción	6	- Herramientas.....	52
Capítulo 1: Planteamiento del problema.....	7	Instrumentos e indicadores.....	53
- Relación diseñador-ceramista.....	8	- Método de trabajo.....	55
- Planteamiento del problema	9	- Secuencia de trabajo.....	56
- Justificación	10	Capítulo 4 : Resultados obtenidos.....	64
- Objetivos	11	- Observaciones de la experiencia.....	65
Capítulo 2 : Marco teórico.....	12	- Mediciones registradas.....	66
Antecedentes	13	- Indicadores calculados.....	67
- Los moldes y su funcionamiento.....	15	- Comportamiento de los moldes.....	68
- Fabricación de moldes de yeso.....	17	- Comportamiento de las piezas.....	69
- Conceptos vinculados a la matricería.....	18	- Interpretación de los resultados.....	70
- Preparación del yeso.....	19	Capítulo 5 : Aplicación del método	71
- Dimensiones, uso y secado de moldes.....	20	- Manual de producción	72
- Preparación de una barbotina.....	21	- Margen de error y tolerancia.....	73
- Proporción de desfloculantes.....	23	- Experimentación testigo variando volumen.....	74
Antecedentes de campo.....	27	- Situaciones ilustrativas del alcance del método.....	79
- Entrevistas.....	28	Capítulo 6 : Conclusiones	86
- Informe de visita a fábrica.....	31	- Conclusiones	87
Resumen de antecedentes.....	38	- Bibliografía	88
Capítulo 3 : Metodología	39		
Metodología aplicada	40		
- Diseño de la metodología.....	41		
- Limitaciones del trabajo.....	42		
Definición de variables.....	43		
Variables de la barbotina.....	44		
- Experimentación de fluidez.....	45		
Variables de los moldes.....	46		
- Diseño del molde.....	47		
- Fabricación de las matrices.....	48		

Índice de gráficas

- Gráfica 1, Experimentación de fluidez	45
- Gráfica 2, Secado de moldes.....	51
- Gráfica 3, Aumento de humedad de los moldes.....	68
- Gráfica 4, Reducción promedio del peso de las piezas	69
- Gráfica 5, Tendencias de gráfica tiempo/espesor.....	70

Índice de cuadros

Cuadro A, Relevamiento de pastas.....	29
Cuadro B, Experimentación de fluidez.....	45
Cuadro 1, Mediciones registradas.....	66
Cuadro 2, Indicadores calculados.....	67

Resumen

La temática del siguiente trabajo se focaliza en el proceso de colada y vertido de barbotina en moldes de yeso, mediante el cual se fabrican productos cerámicos. El propósito de esta investigación es profundizar en el conocimiento de este proceso productivo que permite la producción seriada, a fin de favorecer el desarrollo e integración del diseño y la cerámica artesanal.

El objeto de estudio de esta investigación se centra en la relación existente entre tres variables que intervienen en proceso de colada y vertido: el tiempo de colada, la humedad del molde empleado, y el espesor de la pieza resultante. El objetivo de este estudio es poder controlar y predecir el espesor de las piezas fabricadas artesanalmente por colada y vertido, para mejorar así su calidad y uniformidad en producciones seriadas.

La metodología aplicada es de carácter experimental, y consiste en una adaptación del proceso productivo que pretende controlar y medir todas las variables que intervienen en él. A partir de una barbotina de colado, y varios moldes idénticos, se realizan sucesivas coladas con diferentes tiempos de vertido. Al desmoldar se registra el peso de la pieza y del molde, determinando así el aumento del porcentaje de humedad del molde y la reducción del espesor de las piezas. Con el análisis de la información, se obtienen gráficos y ecuaciones que integran las variables Tiempo, Humedad y Espesor, las cuales permiten determinar anticipadamente el espesor de las piezas a fabricar por colada y vertido.

El análisis estadístico de los resultados de dicha experimentación, arrojó un modelo que según verificación realizada, presenta un error en la predicción de espesores menor a 0,7 mm, lo cual abre las puertas al diseño de piezas de mayor precisión y complejidad, que aún siendo fabricadas artesanalmente pueden mantener una calidad uniforme. Este modelo se limita a la descripción del comportamiento de una barbotina de colado específica, para espesores que van de 3 a 8 mm, y moldes con un porcentaje de humedad de entre 10 y 25%.

Como conclusión general, se puede afirmar que a partir de la investigación y la experimentación es posible estudiar el comportamiento de cualquier barbotina de colado, y así controlar los espesores de las piezas fabricadas a molde. Con lo cual se ven beneficiados tanto ceramistas como diseñadores, al aumentarse las posibilidades de materializar los diseños más exigentes, en el contexto productivo de los ceramistas.

Descriptorios: Diseño, Industrial, Artesanal, Cerámica, Colada, Vertido, Vaciado, Barbotina, Arcilla, Pasta, Limo, Moldes, Yeso, Escayola, Relación, Tiempo, Espesor, Grosor, Humedad.

Motivación personal

“Todo joven que escoge la cerámica como su vocación debe no sólo observar las industrias actuales, sino visualizar otras, más allá de ellas, hasta agotar todas las posibilidades que presenta la industria de la cerámica. Éstas llegarán a convertirse en realidad según la investigación y la imaginación se mantengan despiertas.” (Costales y Olson, 1962, p. 11)



Este proyecto fue motivado por un fuerte gusto personal por el trabajo con cerámica en todas sus formas. La versatilidad del material hacen de éste un excelente vehículo para materializar ideas con relativa rapidez. En un ámbito proyectual como lo es el del diseño, donde frecuentemente se trabaja en un plano teórico, la cerámica ofrece una válvula de escape para el exceso de ideas, ejercitando la creatividad de una forma más tangible.

Por su parte, otro aspecto que contribuyó a la elección del tema, fue el interés por la matricería. Este oficio, encierra en sí mismo la capacidad de replicar y reproducir un producto determinado. Ya sea a través de moldes de metal, yeso, caucho, u otros materiales, el inmenso atractivo que ofrece al diseñador, es el de darle mayor alcance e impacto a su obra. Mientras que para quien invierte en la producción el beneficio también incluye la reducción de los costos y el aumento de la productividad.

La moldería en yeso y el trabajo con cerámica, se pueden abordar como una puerta de entrada al mundo de las producciones seriadas, sin la implicancia de inversiones desmesuradas. Desde un pequeño taller y contando con los materiales adecuados, es posible fabricar moldes, que usados correctamente, permiten la producción seriada y artesanal de piezas de gran calidad.

Introducción

El tema de estudio a desarrollar en la siguiente Tesis se focaliza en el proceso de colada y vertido de barbotina en moldes de yeso para la producción de piezas cerámicas. Este proceso se realiza tanto en pequeños talleres como en grandes fábricas, permitiendo la producción seriada y escalable de un determinado producto.

En la industria cerámica, el profundo conocimiento técnico de las materias primas y los procesos dan como resultado grandes lotes de piezas cerámicas idénticas y de calidad constante. Por su parte en los pequeños talleres artesanales las piezas de molde suelen presentar una mayor variación, principalmente en el espesor de las mismas. Sin embargo estas variaciones no representan problema alguno cuando la pieza se concibe como pieza única, mientras que si se trata de producciones seriadas, dicha variación puede ser percibida como un defecto, perjudicando la uniformidad del conjunto.

Ya sea por una elección voluntaria del artesano ceramista de experimentar diferentes formas, acabados y técnicas, o bien por el enorme desafío que implica controlar todo el proceso productivo, a fin de lograr una serie de productos idénticos, la mayoría de los ceramistas se inclina hacia una modalidad de trabajo en piezas únicas o piezas de autor. Esta tendencia al trabajo en pequeña escala de los talleres artesanales, limita en gran medida la participación de la cerámica artesanal en los proyectos de diseño, no sólo por la limitante en cuanto a la cantidad, sino también por las numerosas dificultades que existen para materializar las ideas diseñadas, respetando los atributos asignados al producto, tales como el color, textura, dimensiones, peso, etc.

Si bien el espesor es un atributo que puede resultar irrelevante en ciertos productos artesanales, existen numerosos casos en los que el espesor de la pieza es determinante en la funcionalidad del producto. Por lo tanto, controlar el espesor de las piezas fabricadas a molde por colada y vertido podría significar una mejora en la calidad de los productos artesanales de producción seriada, que permitiría el diseño de piezas más complejas, para nuevos mercados más amplios y exigentes, como lo pueden ser restaurantes, basares, salones de eventos, etc.

Por este motivo se pretende con este trabajo profundizar en el conocimiento técnico del proceso productivo de colada y vertido, a fin de aumentar el control de los espesores de las piezas fabricadas artesanalmente. Con esto se busca favorecer la producción seriada y de calidad controlada en los talleres de cerámica, y contribuir así a una mayor integración entre el diseño y la cerámica artesanal.



Capítulo 1

Planteamiento del problema

Relación diseñador-ceramista

La arcilla como material ha sido trabajada desde las primeras civilizaciones. Quizás sea esta la razón por la que se la suele asociar al arte o la artesanía, a pesar de que el avance de la investigación y la tecnología han logrado al día de hoy su industrialización.

Dado que en el mercado existe una abundante oferta de productos cerámicos económicos y de producción industrial, las posibilidades para el artesano ceramista de competir en precio son nulas, y en consecuencia su trabajo con frecuencia se vuelca más a la búsqueda de una originalidad artística que brinde un diferencial, y no tanto a la producción seriada. Se busca la calidad por sobre la cantidad.

El proceso productivo de una pieza cerámica conlleva en mayor o menor medida una incidencia del azar, la cual puede resultar tanto apasionante como problemática. Las variaciones en las partidas de la materia prima, la forma en la que se miden e integran los materiales, así como las condiciones cambiantes de temperatura y de humedad son solo algunos de los factores que pueden incidir en el resultado final de una o más piezas cerámicas. Finalmente en el horneado se produce una importante transformación de las piezas, tanto en el volumen (y en la forma en el peor de los casos), como en la textura y el aspecto visual.

En este contexto productivo el ceramista se ve obligado a experimentar sistemáticamente a fin de generarse una carta de materiales que le sean de utilidad para desempeñar su tarea. En este sentido cada artesano cuenta con los materiales que él mismo desarrolló, para darle su impronta personal al trabajo.

Por esta razón el desafío de fabricar una pieza prediseñada implica siempre un proceso de experimentación y aprendizaje previo, que puede ser desestimulante para el diseñador, quien deberá optar entre iniciar dicho proceso de investigación, o adaptar su diseño a los materiales y métodos ya conocidos. Del mismo modo puede resultar necesario reducir la escala del proyecto a la capacidad de producción del ceramista con el que se trabaje, ya que es difícil encomendar la fabricación de un determinado diseño a diferentes artesanos y obtener un mismo resultado.

Los moldes son una herramienta de gran utilidad cuando se busca la producción escalable. Existen moldes de colada denominados de espesor obligado, en los que el resultado de las coladas es siempre el mismo. Lamentablemente cuando se trata de piezas de gran volumen o complejidad, los moldes de este tipo resultarían muy costosos, muy grandes y difíciles de operar.

sin embargo en el caso de los moldes de colada y vertido, el empleo de los mismos, no garantiza una misma calidad en todas las piezas, ya que las piezas pueden variar en su espesor. Incluso empleando la misma barbotina, y utilizando los mismos moldes, el espesor de la pieza cerámica dependerá de las condiciones de humedad del molde y del rigor con el que el ceramista realice la colada.

Por esta razón se definió el proceso de colada y vertido como objeto de estudio, a fin de generar una herramienta que permita, al menos con una barbotina de colado, diseñar y fabricar artesanalmente, series de piezas cerámicas de un espesor controlado.

Planteamiento del problema

El proceso de colada y vertido es un método de producción que resulta muy eficiente para la producción seriada. Mediante este proceso es posible fabricar gran cantidad de piezas idénticas en cuanto a su forma. Sin embargo el espesor de estas piezas es un aspecto más difícil de controlar.

En el proceso de colada y vertido los moldes de yeso poroso son rellenados de material arcilloso en estado semilíquido, denominado barbotina. La absorción de agua de estos moldes hace que la barbotina se seque de afuera hacia adentro, formando un espesor uniforme en las paredes de la pieza. Una vez conformado el espesor deseado el excedente de barbotina es vertido fuera del molde, obteniendo así una pieza hueca. Si bien es sabido que a mayor tiempo de colada (tiempo que reposa el barro en el molde hasta su vertido) mayor es el espesor de la pieza resultante, no existe un conocimiento más preciso de esta relación, ni antecedentes de su investigación.

El espesor de las piezas de colada y vertido depende de varios factores que intervienen en el proceso, siendo el tiempo de colada el más determinante. En el ámbito industrial, donde las condiciones de los materiales y moldes, e incluso del ambiente son las óptimas, el resultado en el espesor de las piezas de colada resulta constante, empleando siempre un mismo tiempo de colada. Sin embargo en el contexto artesanal donde las condiciones y los ritmos de producción son más cambiantes, el tiempo de colada debe ser ajustado para obtener el espesor buscado, lo cual se realiza generalmente en base a la observación y la experiencia previa del ceramista, con el error humano que esta modalidad conlleva.

Es en este escenario es que se detecta como problemática la dificultad de fabricar artesanalmente piezas cerámicas de un espesor específico, y en consecuencia la dificultad de producir series de piezas de un mismo espesor. Esto limita las posibilidades para el diseño de piezas de mayor precisión y/o complejidad que podrían abordar mercados más exigentes.

Justificación

La principal razón que impulsa la realización de este trabajo es la de motivar el desarrollo del diseño en el terreno de los productos cerámicos, integrando el trabajo de los pequeños talleres artesanales. Para esto es necesario que el diseñador conozca las posibilidades y limitaciones del material y los procesos, así como también, el ceramista debe ser capaz de responder a las exigencias del diseño solicitado.

Dado que el espesor es un atributo que puede ser de gran relevancia en numerosos ejemplos de productos de diseño, no solo en el aspecto estético sino también en el funcional, resulta pertinente buscar mecanismos que permitan controlar esta característica, en favor de la producción artesanal de productos de diseño.

En este sentido, el aporte de esta investigación del proceso de colada y vertido, radica en una metodología que permite la producción de piezas de dimensiones específicas, incluso en el contexto productivo de los talleres artesanales. Esta metodología de producción favorece el diseño y producción de piezas de mayor complejidad y precisión, como lo pueden ser productos que impliquen encastres, encuentros con otros materiales, etc.

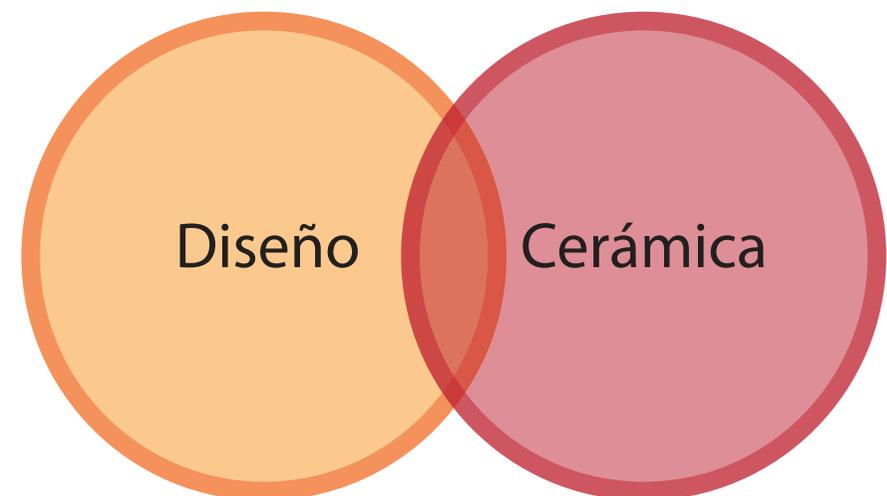
Por otro lado la posibilidad de integrar el trabajo de diferentes ceramistas en la fabricación de piezas de una misma calidad favorece el trabajo conjunto de ceramistas y diseñadores, permitiendo obtener partidas más numerosas de productos artesanales, las cuales podrían abordar nuevos mercados de mayor tamaño.

Vinculado al aspecto estrictamente productivo, el aporte de este trabajo al colectivo de ceramistas, consiste en un método, basado en la experimentación, la medición y el cálculo, el cual permite controlar con mayor precisión y facilidad los espesores de las piezas fabricadas por colada y vertido, mejorando así, la calidad de las producciones seriadas artesanales.

Otro beneficio mas asociado a la productividad, se desprende de la posibilidad de emplear los moldes en diferentes condiciones de humedad, y obtener igualmente un mismo resultado. De este modo el rango de humedad en el que se pueden utilizar los moldes se amplía, y con ello se contribuye a un máximo rendimiento de los moldes que se tienen a disposición.

Por su parte, el empleo de esta metodología, permite prescindir de los moldes denominados "de espesor obligado", los que, al requerir de un contra molde, resultan más costosos, voluminosos, y en muchos casos, mas difíciles de operar.

Por otro lado, respecto al aporte al campo del diseño, a través de este trabajo, se brinda un documento que pretende facilitar el acercamiento de los diseñadores a la cerámica como material, y en particular al proceso de colada y vertido, ya que permite la producción seriada. Con esta visión más objetiva de lo que se puede esperar de una producción artesanal, se pueden contemplar nuevas consideraciones a la hora de diseñar los productos



Objetivos

El objetivo general de esta tesis consiste en profundizar en el conocimiento del proceso de colada y vertido mediante el cual se obtienen piezas cerámicas, con el propósito de permitir un mayor control de los espesores de éstas, favoreciendo así a la integración del diseño y la cerámica artesanal, en producciones seriadas de calidad controlada.

Como objetivo particular se propone describir para una babotina de colado específica, la relación existente entre tres variables determinantes en el proceso de colada y vertido, las cuales son el tiempo de colada, la humedad del molde empleado y el espesor de la pieza cerámica obtenida.

Hipótesis

Es posible encontrar una relación más precisa entre el tiempo de colada y el espesor de la pieza obtenida?

La hipótesis de esta tesis sugiere que conociendo la formulación de la pasta y la humedad del molde, es posible determinar anticipadamente el tiempo que debe reposar la barbotina en el molde, para obtener un espesor de pared específico.

Capítulo 2

Marco teórico

Antecedentes teóricos del objeto de estudio específico

Con respecto al proceso de colada y vertido, Cosentino (1999) indica que el método mediante el cual se define el momento para realizar el vertido es la observación.

“Cuando se observa, a través de la abertura, que el espesor ha alcanzado los 3 mm se vuelca el exceso de barbotina. Esto debe hacerse con mucho cuidado para que no se produzca un vacío en el molde, que desprenda la forma húmeda de las paredes.” (p. 74)

Chavarría (1997), hace mención a la relación entre el tiempo de colada y el grosor de la pieza, haciendo referencia al estado de humedad del molde utilizado, pero sin profundizar en los factores que pueden incidir en esta relación.

“El molde, seco, absorbe la humedad de la pasta, por lo que el nivel de la papilla desciende. Vierto más pasta, para mantener el nivel adecuado. Obsérvese el grosor de pasta que se ha formado alrededor del cuello. Este grosor será mayor cuanto más tiempo esté la papilla en el interior del molde.” (p. 105)

Por su parte Fernández (2011), señala una serie de variables que tienen incidencia en el tiempo de desmolde.

Se verterá la barbotina al interior del molde por su cuello, en chorro uniforme y fino, sin interrupciones. Se la dejará allí dentro de unos 15 minutos aproximadamente: a mayor tiempo, mayor será el grosor de las paredes. A los pocos minutos se observará que el nivel de la barbotina desciende debido a que el molde ya ha absorbido parte de su humedad: Esto es señal de que está trabajando correctamente. Si es necesario, se añadirá un poco más de barbotina hasta el colmo. Se observará si la pieza dentro del molde ya tiende a desprenderse de éste. Algunas barbotinas tardan de 20 a 30 minutos en desmoldar. Ello depende de la porosidad del molde, de su estado de conservación, de su grado de humedad y de la barbotina misma, especialmente de la fórmula y de su tipo de desfloculante. (p. 185)

Costales y Olson (1962) realizan un análisis más cuantitativo de esta relación, incorporando el concepto del cálculo como parte del proceso productivo .

Calcúlese el tiempo que toma el vaciado para producir el grueso de pared que se desea. El período necesario es usualmente de diez a veinte minutos. Cuando las paredes son más gruesas, se necesita un periodo mayor para el fraguado. Por ejemplo, para duplicar el grueso de las paredes, el tiempo debe triplicarse o cuaduplicarse. (p. 96)

Adicionalmente estos autores mencionan la variación que tienen los tiempos de colada en función del grado de humedad del molde, así como también añaden una consideración respecto de los tiempos de producción.

Cuando el molde está seco, el período de vaciado es bastante constante de un vaciado al otro. No se ahorra tiempo empleando un molde humedo. El yeso sólo puede absorber una cantidad limitada de humedad y cuando ha llegado a su límite de capacidad de saturación, ya no es absorbente. (p. 96)

A partir de todo lo anteriormente enunciado, se justifica el abordaje de una investigación experimental que desarrolle un análisis cualitativo y cuantitativo de la relación existente entre el tiempo de colada y el grosor de la pieza fabricada, incorporando la incidencia del porcentaje de humedad del molde utilizado.

Antecedentes vinculados a la temática en general

Respecto a la distancia temporal de los antecedentes relevados por esta investigación cabe destacar que Chavarría (1997) plantea que *“Es curioso observar cómo en la historia de la cerámica se encuentran técnicas y estilos muy semejantes en culturas distantes, tanto en el espacio como en el tiempo.”* (p. 8)

Los moldes de yeso y su funcionamiento

Clasificación de los moldes de yeso

Con respecto a los tipos de moldes Chavarria (1997) encuentra que *"Los moldes para la realización de piezas cerámicas, se pueden dividir en dos grandes grupos: moldes de prensado (estampado) y moldes de colada."* (p. 90)

El segundo grupo es definido por el mismo autor agregando que *"Los moldes de colada son aquellos en que los que se utiliza la arcilla en estado líquido (como barbotina)."* (p. 90)

A su vez los moldes de colada pueden ser clasificados, según plantea Fernández (2011) *"Existen diversos tipos de moldes, en función de las dificultades que ofrezca la pieza para su desmolde. Algunos moldes son muy simples y constan de una sola parte o tassel. Otros (la mayoría) constan de dos partes; otros de tres o más partes o taseles."* (p.374)

Descripción de su funcionamiento

En cuanto a los principios básicos que rigen el proceso de colada y vertido los autores también coinciden en sus descripciones:

La escayola absorbe parte del agua de la pasta de colada, endurece esta zona de contacto y produce un cierto grosor. El molde estará lleno y se vaciara al obtener la pieza y el espesor deseado. El molde permanecerá, invertido dejando que se escurra la barbotina durante un cierto tiempo y se abrirá cuando la pieza haya adquirido dureza de cuero. (Chavarria, 1997, p.90)

En el molde de colada o de vaciado, se vierte la papilla cerámica que absorbe por igual la humedad de la pasta, y se adhiere a la pared del molde. A los pocos minutos, se vierte la papilla sobrante. Este proceso permite obtener piezas huecas, con paredes con un grosor uniforme. (Chavarria, 1997, p.102)

El molde poroso de yeso absorbe el agua de la barbotina, de manera que el nivel de ésta desciende gradualmente y es necesario enrasarla hasta que se logre el espesor de arcilla requerido. Cualquier exceso se saca al exterior y se invierte el molde para que drene. Cuando ha terminado de hacerlo debe volverse a su posición inicial hasta que la arcilla depositada pierda su superficie húmeda y brillante. (Cosentino, 1995, p.74)

El yeso cerámico tiene la propiedad de absorber ávidamente agua, la que es extraída de la barbotina o pasta semilíquida que se vierte en el interior del molde al hacer la pieza. Dicha barbotina resulta así adherida al interior del molde y se espesa o endurece, formando una capa de varios milímetros con la forma de la pieza. (Fernández, 2011, p.373)

Los moldes de colada son huecos, y en su interior se vierte la pasta semilíquida (llamada barbotina), donde permanece unos minutos de manera que se forme una capa inicial dura y se adhiera con grosor uniforme a las paredes interiores del molde. Luego se hace salir la barbotina sobrante. Queda así formada la pared de la vasija de pasta cerámica (arcilla más antiplásticos) dentro del molde, con el grosor deseado, de donde se la extrae una vez que haya adquirido cierta consistencia para no deformarse. (Fernández, 2011, p. 179)



La utilidad del uso de moldes de colada

Costales y Olson (1962), realizan una clasificación alineada a la de los autores anteriormente mencionados. Con respecto al proceso de colada y vertido estos mismos autores explican que:

El vaciado con limo en moldes de yeso es un proceso básico que se emplea en la producción industrial de cerámicos tales como vajillas, alfarería artística, y sanitarios. El limo es arcilla en forma líquida después de tamizarse; antes de tamizarse se llama mortero. El proceso se presta más para hacer objetos huecos que para tendidos. El vaciado con limo hace posible la fabricación de secciones extremadamente delgadas como en la porcelana fina. Por contraste se usa también para producir grandes esculturas y piezas pesadas de artículos sanitarios. Se emplea tanto para hacer vaciados sólidos como huecos. Las asas para tazas de té, por ejemplo, se hacen con vaciados sólidos usando moldes para limo.



En la misma línea, Cosentino (1995) agrega respecto al proceso que:

Esta es una técnica común de producción industrial que en los últimos años se ha popularizado bastante en los talleres de los ceramistas. Es un método eficaz y de bajo costo que permite crear una producción masiva pero que, de todas maneras, mantiene su carácter individual a través del estilo decorativo. (p. 74)



Fabricación de moldes de yeso

La moldería

La moldería en yeso, es un oficio en sí mismo, sin embargo esta tarea puede ser adoptada por ceramistas, como plantea Fernández (2011) al señalar que *“Si bien la moldería en yeso no constituye una parte de la cerámica propiamente dicha, con todo, muchos ceramistas confeccionan piezas en serie y también gustan de hacer sus propios moldes.”* (p. 371)

Por su parte Costales y Olson (1962), señalan una relación de esta actividad con el diseño, al explicar que *“... El taller industrial de moldes es el departamento, en una industria cerámica, que fabrica los moldes de producción. Es con frecuencia el centro de diseño para nuevos productos. ...”* (p.92)

En relación a la productividad de su uso, ambos autores coinciden en la necesidad de utilizar gran cantidades de moldes, tras plantear que:

Un taller de producción seriada necesitará de muchos moldes para trabajar, ya que cada uno permite en términos generales dos coladas por día, rara vez tres, (a veces una sola, si se trata de piezas grandes). Un molde bien cuidado puede ser usado unas 200, 300 o más veces, para lo cual debe estar bien fabricado. (Fernández, 2011, p.372)

Para una industria de productos de arcilla que usa modelos de yeso, es necesario tener una gran cantidad de moldes idénticos. Para producción en masa, los moldes también deben producirse en masa. En este caso la hechura de moldes es esencialmente la misma que ya se ha descrito, excepto con respecto a técnicas que se añaden para facilitar la producción en cantidad. Cinco son los pasos que requiere la fabricación de moldes en las cantidades industriales: el modelo original, el modelo de trabajo, el molde de bloque, el molde de caja, y el molde de producción. (Costales y Olson, 1962, p.92)

Costales y Olson (1962) describen detalladamente la función de cada una de estas herramientas.

EL MODELO ORIGINAL. El modelo original, bien sea una estatua, una cremera, o la base de una lámpara, por ejemplo, se modela primero en arcilla. El modelo sirve solamente para dar una idea de producto. En el caso de vajillas, especialmente los objetos tendidos, debe usarse un dibujo de trabajo en vez de este primer modelo de arcilla.

EL MODELO DE TRABAJO. El fabricante de moldes, a veces conocido como el moldeador estudia el modelo original del producto para analizar sus posibilidades y limitaciones de vaciado. Desde el punto de vista de la producción económica, es deseable modificar el modelador en la idea original, tienen por objeto que sea más práctico su moldeo. En este punto el modelo de trabajo se forma en yeso, considerando la contracción de la arcilla. La superficie del modelo se sella con laca después del último alisado. Se aplica varias capas y se frota hasta que quede lisa.

EL MOLDE DE BLOQUE. Usando el modelo de trabajo, se vacía un molde de yeso, igual que se hace para el molde de dos piezas que ya se ha descrito con anterioridad. Se le dan al modelo varias capas de espuma de jabón para facilitar su salida del molde. Este modelo se hace lo más correcto que sea posible puesto que se convierte en el molde patrón para todos los demás que siguen. Este molde bloque se asemeja al molde hecho con anterioridad para fines de producción. Al alcanzar este punto se hacen en el molde las correcciones finales y la superficie se sella y se enjabona puesto que el yeso se fraguará en él. (p.92)

Conceptos vinculados a la matricería

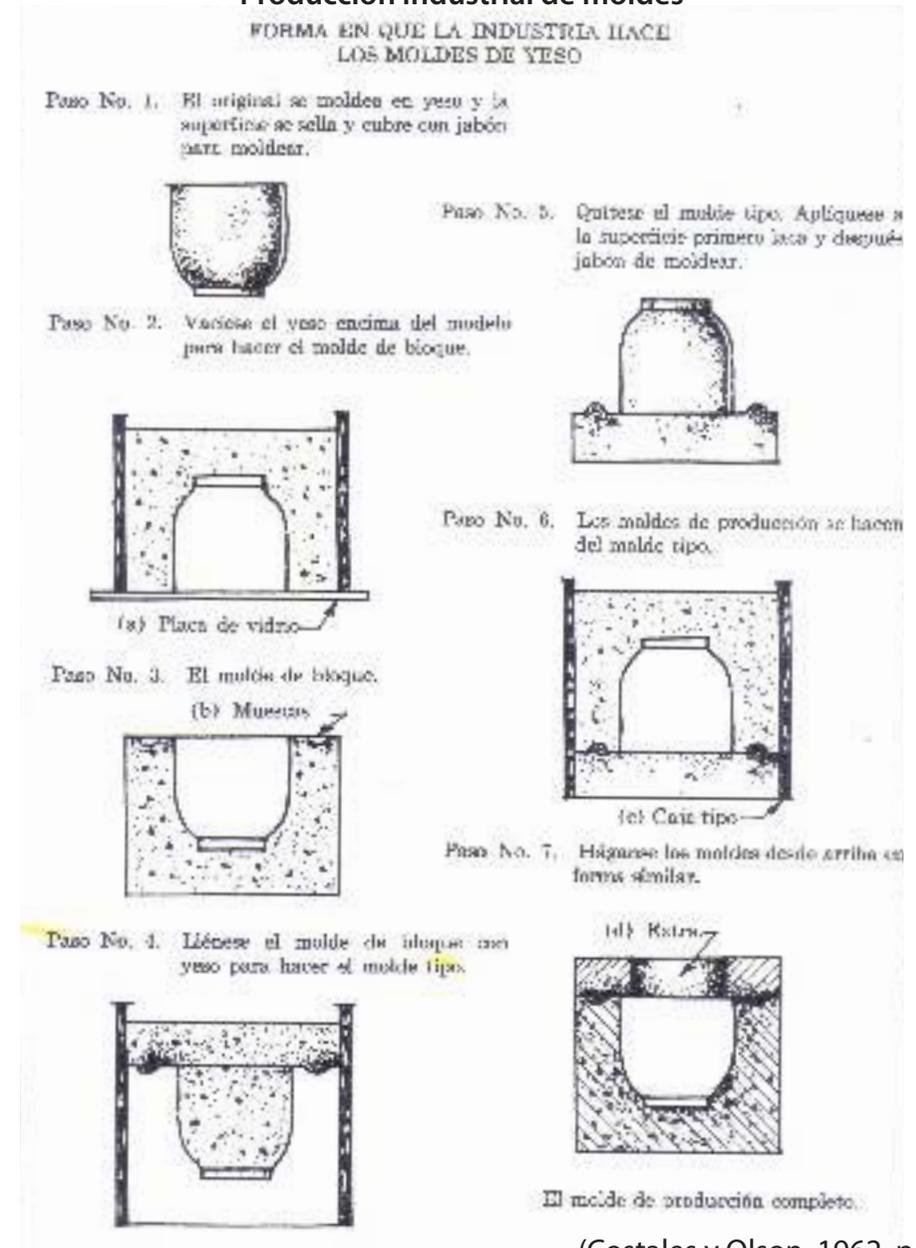
EL MOLDE TIPO. El molde tipo incluye la forma positiva de modelo vaciado en una placa de yeso. Se hace directamente del molde de bloque y es el molde base para la hechura de otros moldes de producción. Las superficies de trabajo se sellan también. Usualmente se hacen varios moldes tipo del molde de bloque; el número depende de la cantidad de moldes de producción que se necesitan.

LOS MOLDES DE PRODUCCIÓN. Los moldes de producción se hacen del molde tipo. Cada molde de producción es idéntico, y se colocaran gran número de ellos en estanterías muy largas, en el taller de vaciado, para uso posterior. Los moldes de yeso se gastan debido a las acciones abrasiva y química del limo actuando sobre el yeso. Sin embargo pueden vaciarse varios cientos de piezas de arcilla antes de que un molde de producción tenga que descartarse. Cuando en el limo se usan el silicato y el carbonato de sodio como deshidratantes, se produce una fluorescencia en el molde. Esto aparece como un depósito de cristales grandes en la superficie y resultan de una reacción entre los hidratantes y el yeso. Para limitar la reacción a su mínimo, el hidratante debe usarse con mucha moderación." (p. 93)

La pieza final moldeada es generalmente, por lo menos un 10 o 12 por ciento, más pequeña que el modelo original, por la contracción de arcilla en el secado y la cocción. Como consecuencia, cuando el tamaño final es de importancia, el modelo debe hacerse proporcionalmente más grande. (p. 87)

LA CAJA DE MOLDES. Generalmente es necesario tener una caja para moldes para confinar el yeso. La que aquí se ilustra es ajustable y puede usarse varias veces. También pueden utilizarse placas de yeso, colocadas en su lugar. (p. 87)

Producción industrial de moldes



(Costales y Olson, 1962, p.94)

Preparación del yeso

El Material

Los diferentes autores coinciden respecto al material utilizado para la fabricación de moldes. Así lo indica Chavarria (1997), quien afirma que *“La materia utilizada para la confección de moldes es la escayola (o yeso de moldear) y se obtiene a partir del yeso por calcinación.”* (p. 90). Agregando además que *“Así se encuentra en los alrededores de París, y de la importancia de dichos yacimientos, tomo el nombre de <<yeso de París>>.”* (p.90)

En la misma línea Fernández (2011) menciona *“.. El yeso debe ser especial para moldes de cerámica, tipo Paris (no usar yeso de albañilería). No contendrá impurezas ni producirá grumos...”* (p. 373)

Costales y Olson (1962) explican las características de este material

YESO MATE O DE PARIS.

Cuando se producen cantidades de productos idénticos de arcilla, el yeso mate es tan esencial como la arcilla misma. Es el material que más se presta para la construcción de los muchos tipos de molde en cerámica. Este yeso es conocido en química como sulfato de calcio. En la manufactura del yeso, la roca de yeso se tritura y calcina, o quema, para sacarle el agua. Este yeso, cuando se usa, se mezcla con agua y al venir el fraguado químico de la solución, vuelve a su forma original de roca yeso.

El yeso que se usa en alfarería es un solo tipo de yeso mate. Combina las cualidades esenciales de porosidad para la absorción de agua por la arcilla; un mínimo de contracción cuando se convierte en molde; y la habilidad de registrar y reproducir los detalles más finos. Aun las huellas digitales que tenga el modelo aparecerán en el yeso. (p.93)

El único autor que menciona la posibilidad de incorporar otros materiales es Fernández (2011), al sugerir que *“A fin de endurecer la mezcla de yeso se puede agregarle hasta un 30 por ciento de cemento blanco. También añadirse colas, gomas y adhesivos cerámicos.”* (p. 373)

La proporción y la porosidad

En cuanto al porcentaje de yeso en relación al agua de un molde de colada el Fernández (2011) señala:

La mezcla del yeso con el agua se dosificará según el fin perseguido. Para moldes de colada se usará una mezcla de 56 partes de yeso y 44 de agua (en peso). Para placas de secado se usará una mezcla mas porosa: 50 por ciento de yeso con 50 por ciento de agua. Esta última mezcla sería excesivamente absorbente para moldes de colada. Una mezcla compacta de 60 partes de yeso y 40 de agua, se usará para moldes de prensado, terraja o chablón, etcétera. (p. 373)

En la misma línea Chavarria (1997) indica que:

La relación escayola/agua, vendrá dada por la recomendación del fabricante, aunque se puede usar las siguientes, de forma general:

escayola/agua

62/38- para moldes muy compactos

55/45- para moldes normales

50/50- para moldes porosos

Sin embargo este autor sugiere sustituir la medición por la estimación basada en la experiencia, al agregar que *“De todas formas, cuando se adquiere un poco de práctica, casi nunca se pesan los componentes. Así pues, para preparar la escayola se vierte agua en un recipiente y se echa aquella espolvoreándola, hasta que forme una pequeña isla (que sobresalga del agua unos 3 o 4 cm).”*

Dimensiones, uso y secado de moldes

Costales y Olson (1962) explican la relación de esta proporción con la porosidad del molde fabricado, y sugieren una proporción que según la unidad pinta empleada en el Reino Unido se calcula en un 48,9% yeso y 51,1% de agua, lo cual es más compacto que lo que indican los anteriores autores.

El yeso para la alfarería se mezcla solamente con agua fresca. La proporción de cada uno de estos ingredientes, sin embargo debe ser exacto y consistente. Cuanto mayor sea la proporción del yeso al agua, tanto más denso será el molde y menor la porosidad. Cuando se usa muy poco yeso, el molde es suave y frágil. Para uso general se recomienda el porcentaje de una libra de yeso a una pinta de agua fría. (p. 93)

Las dimensiones del molde

Los mismos autores indican respecto a las dimensiones del molde que:

Permita un mínimo de grueso de una pulgada de yeso en todos los puntos del molde. Teóricamente se necesita nada más el suficiente yeso para rodear la cavidad del molde, a fin de que absorba la cantidad necesaria del agua de la arcilla. Cuanto más grande sea el molde, más gruesa debe ser la capa de yeso. (p. 93)

Mientras que Fernández (2011) considera una cantidad levemente superior:

El yeso debe cubrir bien el modelo, de manera que el molde resulte con paredes gruesas e iguales en ambas partes del molde. Las paredes de moldes tendrán un grosor de 3,5 a 4,5 cm promedio, para lograr una buena absorción (para tamaños estándar). Para piezas muy chicas pueden tener menor grosor; y para piezas muy grandes el grosor puede ser mayor.

Chavarria (1997) sugiere un grosor similar al indicar que “... *Preparo la escayola y la vierto, sobre el lecho de arcilla en una esquina, dejando que la escayola cubra entre 3 y 4 centímetros, la parte más alta del modelo...*” (p.103)

Uso, secado y conservación de los moldes

En cuanto al aspecto del uso secado de moldes todos los autores recomiendan el uso de los moldes totalmente secos. Así lo plantea Fernández (2011) al indicar que “*Una vez terminados, los moldes se secarán perfectamente antes de poder usarse (sobre una superficie bien horizontal), al aire libre o en estufas, sin sobrepasar la temperatura de 50°, de lo contrario se calcinarán.*” (p. 381)

El mismo autor añade que “*No se los debe usar húmedos ni incluir exceso de defloculante en la barbotina de colado para lograr que se conserven bastante tiempo.*” (p. 372)

A su vez, el autor especifica que:

Durante su uso, los moldes se secarán perfectamente antes de volver a utilizarlos. No se los seque encimados, pues así no se logrará una buena evaporación en todas sus partes (y el yeso resultaría irregularmente absorbente). Se los limpiará con cepillo y nunca se pasará la mano sobre ellos, para no obturar los poros. Si aparecen poros o puntos de alfiler en los moldes, ello es indicativo de que ya están gastados y de que se los debe reemplazar por nuevos. (p. 381)

En la misma línea Chavarría (1997) plantea que:

Antes de utilizar un molde, este debe estar completamente seco. El secado depende de la humedad, la temperatura ambiental y el volumen del molde. El tiempo de secado puede durar varios días, pero es posible acortarlo, calentando el molde, sin sobrepasar los 50°C; una mayor temperatura podría deshidratar la escayola, dejando el molde inservible. (p.90)

Preparación de una barbotina

composición

Fernández (2011) menciona una serie de indicaciones respecto a la preparación de una barbotina en las que especifica:

Las barbotinas de colada deben contener menor porcentaje de sustancia arcillosa que las pastas manuales, no mayor del 55 por ciento o poco más (60 por ciento como máximo), y dentro de ese porcentaje el caolín ocupará una buena parte (un 15 a 20 por ciento) ya que favorece el proceso de la colada, la fluidificación y el desprendimiento de las paredes del molde. Resulta pegajosa una barbotina con exceso de arcilla: no desmolda fácilmente y la pieza tiende a deformarse, especialmente si no se utilizaron arcillas de óptima calidad. (p. 180)

Densidad:

Con respecto a la densidad el autor indica que *“El peso específico recomendado de la barbotina oscila entre 1,70 y 1,80. Es importante controlarlo cuando se fabricarán series de piezas que deban tener paredes del mismo grosor (no sirven los densímetros para esto).”* (p. 183)

Fluidez:

Es curioso observar como el autor no indica el uso de un método capaz de medir esta característica con precisión, sino que sugiere el empleo de la observación, planteando que:

Suponiendo que disponemos de una buena barbotina (tal que al hundir en ella una varilla de vidrio no deje estela y que al levantar dicha varilla la pasta fluida escurra en forma de largos gotones o fideos alargados, y sin que se espese al estacionarla) se procederá a colar. (p. 184)



Preparación de una barbotina:

Costales y Olson (1962) ofrecen un abordaje más industrial al preparado de la barbotina, en el que plantean:

Preparación de la arcilla industrial

Una industria de productos de arcilla necesita grandes cantidades de arcilla refinada, de calidad uniforme y que reúna las características que requieren sus productos. La fabricación de vajillas exige distintas arcillas que las que se necesitan para fabricar tabiques, por ejemplo. Los métodos de preparación, también son ligeramente distintos. En los países que cuentan con un gran desarrollo de industrias cerámicas, bien organizadas, puede darse el caso de que una fábrica de productos de arcilla compre colín, arcilla de bola, pedernal, feldespatos, y otros materiales necesarios, ya refinados y molidos, listos para ser usados. Al presente, en las Filipinas, cada fábrica de productos cerámicos debe refinar sus propios materiales.

Hasta que no logra un cuerpo satisfactorio, el ingeniero cerámico lleva a cabo una experimentación intensiva y hace pruebas con pequeñas cantidades. Calcula la proporción de los ingredientes en el cuerpo deseado, y prepara muestras que pasan al secado, cocido y barnizado, y al quedar terminado este proceso, se hacen las pruebas necesarias. Si el cuerpo resulta satisfactorio, el ingeniero hace entonces pruebas de trabajo, iguales a las que tendrá que pasar el producto final. Si necesita un limo propio para moldear, procede a probarlo moldeando diferentes muestras. Si debe ser un cuerpo propio para trabajarse en la rueda del alfarero, hace una serie de piezas. Estos objetos se cocen, barnizan, y pasan otras pruebas. Como resultado de estos experimentos, puede ser necesario hacer cambios en el cuerpo. Si este es el caso, tienen que hacerse nuevas pruebas y ensayos. Aún después de que un cuerpo aceptable ha sido preparado y puesto en producción, el ingeniero observa su comportamiento cuidadosamente y quizá aún tenga que cambiarlo si no resulta enteramente satisfactorio. (p. 36)

Limo para moldear. Los métodos de preparación del limo para moldear que ya se han descrito, se usan en las industrias. Después de lograr la perfección de un cuerpo determinado, los ingredientes se pesan y se les añade la debida cantidad de agua en una mezcladora, donde se mezclan. Cuando es conocida la cantidad requerida de hidratante, se añade también en este momento. Si no se sabe de antemano, se añade después que los ingredientes se mezclan para que formen una pasta espesa. El limo para moldear debe añejarse en la mezcladora por varios días. El agrietado de piezas moldeadas en el molde se evita con frecuencia si se deja añejar completamente el limo. El limo bien añejado sale más limpio del molde que el limo recién mezclado. En seguida se tamiza por un linón, se pesa por un filtro magnético, y se entuba hacia el departamento de moldear. (Costales, 1963, p.36)

Composición de cuerpos arcillosos

La mezcla de varios ingredientes en una arcilla componen el cuerpo arcilloso. Los cuerpos arcillosos se preparan de modo que tengan las características necesarias para ciertos tipos de productos. El cuerpo arcilloso para vajillas de mesa debe ser muy distinto del que se usa para formar tabiques y mosaicos, debido a las diferentes funciones y requerimientos de los productos. Todo cuerpo arcilloso contiene tres grupos básicos de ingredientes: El *plástico*, el *endurecedor* y el *fundente*. En el cuerpo de porcelana para vajilla de mesa, por ejemplo, estos tres grupos deben incluir, típicamente, los ingredientes de los siguientes grupos:

Ingredientes plásticos: caolín, arcilla de bola.

Ingredientes endurecedores; pedernal, arena sílice, y agregado pulverizado.

Ingredientes fundentes: feldespatos, blanco de España, fritas, piedra de Cornwall, ceniza de hueso y talco.

(Costales, 1963, p. 37)

Proporción de desfloculantes

Tipo y cantidad de desfloculantes:

Fernández (2011) plantea una serie de indicaciones respecto al uso de desfloculantes en las que explica:

Dado que las barbotinas de colada deberán ser bastante fluidas pero con relativamente poca humedad para evitar deformaciones al desmoldar las piezas ya coladas, y para prevenir los problemas que podría acarrear el excesivo encogimiento (por exceso de agua en la pasta), es necesario desflocular la barbotina, esto es, adicionarle silicato y carbonato de sodio, en muy pequeños porcentajes, a fin de volverla fluida pero con poca agua. Si no se usara desfloculante, se tendría que añadir mucha más agua para obtener la misma fluidez y densidad. (p. 181)

Al preparar la barbotina, primero se echará agua potable en un recipiente, aproximadamente un 50 a 55 por ciento con respecto al peso de los ingredientes secos. Por ejemplo, si se preparará 10 kg de pasta seca, se usará 5 litros de agua (a veces un poco menos o en casos algo más, según el tipo, calidad y cantidad de arcilla usada). En seguida se verterá al agua (mezclando muy bien) de un 0,2 hasta un máximo de 0,4 por ciento de desfloculante, el cual estará compuesto por los dos más usuales: silicato de sodio y carbonato de sodio anhidro (también llamado Soda Solvay), aproximadamente por partes iguales. (p.182)

La cantidad recomendada (promedio) de desfloculantes refiere al peso total de los ingredientes secos: 0,3 por ciento equivale a 3 por mil, es decir, que para un kg de pasta seca se añadirá 3 gramos de desfloculante (un gramo y medio de cada uno de ellos). (p.182)

Las pastas muy arcillosas requieren mayor porcentaje de desfloculante (0,4 y en casos hasta 0,5 %), mientras que las menos arcillosas, con bastante porcentaje de antiplásticos (como las de porcelana) necesitan menos. Se deberá probar de menor a mayor cual es la cantidad óptima de desfloculador que requiere una barbotina. Siempre se incluirá la cantidad mínima eficaz, a fin de no arruinar los moldes y prolongar su vida útil, y para otros efectos positivos. (p. 182)

Exceso de carbonato de sodio usado como desfloculador hará que la pieza desmolde antes pero la pasta resultará blanda y tardará en secarse. Exceso de silicato de sodio dará por resultado una pasta lenta en desmoldar, pero dura y se pegará al molde. (Para evitar estas fallas, recomendamos usar ambos desfloculadores a la vez).- El carbonato de sodio requiere tiempo para desflocular: no menos de una a dos horas. Déjese reposar la pasta si se ha usado dicho carbonato (unas horas, o, mejor, de un día para el siguiente). El silicato, por el contrario, actúa inmediatamente revolviendo bien. (p. 183)



Silicato de sodio



Carbonato de sodio
(Soda Solvay)

Hidratantes. Los hidratantes son agentes químicos a los cuales, cuando se les añade el limo arcilloso, ocasionan que éste se haga delgado sin necesidad de añadir mayor cantidad de agua. Los dos agentes más comunes son carbonato de sosa y silicato de sodio. Hay arcillas que responden mejor al uno o al otro, pero para la mayoría es preferible una mezcla de ambos agentes químicos. De cualquier modo que sea, disuélvase el carbonato de sosa en agua caliente, 8 gramos a 50 centímetros cúbicos antes de usarse. A esto añádase 25 cc de silicato de sodio y suficiente agua caliente para completar 100 cc de la mezcla. Esta solución estará lista para usarse. Se conservará por varias semanas si se le sella herméticamente y se conserva en un lugar fresco.

La cantidad de hidratante que debe agregarse se determinará ensayando y llevando un apunte claro y exacto de la proporción que se usó con la arcilla para referencia futura. Unos cuantos centímetros cúbicos puestos sobre una superficie de la arcilla bastarían para que esta se adelgazara casi en forma mágica. Debe agitarse la arcilla al añadirle el hidratante. Si se le añade muy poco, el limo seguirá pesado y no fluirá. Si en cambio se le añade demasiado, puede invertir el adelgazamiento y ocasionar que la arcilla se espese. La cantidad correcta le dará una consistencia fluida. Esta cantidad raramente excederá la proporción de 13 cc. de hidratante para cada 1000 gramos de arcilla. Un limo para moldeo, listo para usarse, debe pesar como promedio aproximadamente 28 onzas por pinta, o 765 gramos por cada 473 cc. Para vaciados sólidos se prefiere una solución más pesada. El uso de hidratantes en vez de agua tiene ciertas ventajas. El limo se solidifica más rápido en el molde. Menos agua significa menos contracción del vaciado y, como consecuencia, menos esfuerzos que motivan que se agriete. Debido a que un limo hidratante queda en suspensión dentro del molde, las paredes de la pieza tienen un grueso uniforme en vez de quedar más gruesas en el fondo y más delgadas en la parte superior. Este molde elimina el agua con más limpieza al separarse del molde, lo que deja una superficie interior más tersa en el utensilio de arcilla. La fuerza en crudo aumenta también.

El silicato de sodio en su forma comercial no viene en una concentración uniforme. Es necesario hacer experimentos añadiéndolo a la arcilla.

Preparación del limo para moldeo. El limo para moldeo es una arcilla tamizada, en forma líquida, que mantiene en suspenso todos los ingredientes de que se compone, y que se usa en la fabricación de productos que se forman en moldes. (Véase Moldeo de Limo). La preparación del limo para uso en el hogar y la escuela puede hacerse después de efectuado cualquiera de los métodos de refinamiento que ya se han descrito.

La deseada composición de arcilla se convierte a una masa viscosa con añadirle agua. Se le añade el silicato de sodio poco a poco agitando sin cesar hasta que se logre la consistencia deseada. Téngase cuidado de no añadir más de lo necesario o el limo arcilloso quemará el molde y la superficie del producto. Esto se conoce por la presencia de una capa de color amarillo oscuro en el molde y en la superficie del producto. Si no hay indicios de que la arcilla se está adelgazando y en cambio, se coagula, quiere decir que la arcilla contiene impurezas que impiden la hidratación. Para remediar esta dificultad ensaye un hidratante de 50% de silicato de sodio y 50% carbonato de sodio. Si no da resultado esta combinación, es que las partículas de la arcilla son probablemente demasiado burdas o la arcilla está demasiado caliza. Después de la hidratación el limo arcilloso debe añejarse agitándolo con frecuencia. Mientras más prolongado sea el envejecimiento, será mejor. El limo debe tamizarse inmediatamente antes de usarse, para destruir las burbujas de aire que pueda tener y para quitarle las masas coaguladas que se hayan formado.

Un limo adecuado para moldeo debe salir con limpieza del molde. No debe volver a su estado de hidratación cuando se le deja en reposo. Debe tener un punto bajo de fraguado, y una velocidad adecuada para fraguar. Un limo bueno se separa rápidamente del molde y tiene gran fuerza en crudo. El limo puede pesarse como guía para la viscosidad debida. Una pinta debe pesar aproximadamente 28 onzas, aunque este peso puede variar, dependiendo del tipo de vaciado que vaya a hacerse y del cuerpo de la arcilla que se usará. (Costales y Olson 1962, p.34)

Freiría y Aspirot (1964) realizaron una investigación de la variación de la viscosidad aparente de las barbotinas de colado en función del porcentaje los defloculantes utilizados.

Partiendo de una formulación de barbotina adecuada u óptima -de acuerdo a las disponibilidades en materias primas- el proceso de colado en moldes de yeso está gobernado por algunos principios fundamentales.

Se tiende a alcanzar un mínimo posible en la viscosidad, es decir una gran fluidez de la suspensión -utilizando de esta manera la cantidad mínima de agua- procurando a la vez acelerar la formación de la pasta en el molde y lograr una aceptable resistencia a la rotura en crudo. (p.461)

El objetivo de este estudio es observar el comportamiento de suspensiones de algunas de nuestras arcillas en cuanto a la viscosidad aparente y su variación con la adición de cantidades conocidas de los defloculantes mencionados, fijando o teniendo en cuenta otros factores tales como densidad de la barbotina, temperaturas, tiempos de agitación y reposo, etc. Graficando los resultados de las medidas de viscosidad, extraer las conclusiones o prácticas resultantes de dicha variación. (p.463)

Además, los autores aportan información detallada respecto de la composición del material.

Puede resultar ilustrativo la información sobre la composición y tipo de barbotinas empleadas en cerámica industrial. Los componentes sólidos constan generalmente de una mezcla de:

- material arcilloso: caolín, arcillas caoferríticas, "ball clays" etc.
- materiales "desengrasantes" y fundentes: cuarzo (arena), chamota, feldespato, etc., convenientemente molidos.
- sustancias defloculantes: silicatos y carbonatos alcalinos (prácticamente los únicos utilizados industrialmente), fosfatos, pirofosfatos, compuestos orgánicos aminados, etc.

El porcentaje de materia arcillosa en la formulación varía, según el tipo de barbotina, fluida o espesa, y la clase de cerámica a producir (entre otras cosas), entre 45 % y 75 %. El resto de la mezcla lo compone el grupo b o sea los inertes y fundentes. En cuanto a la cantidad de agua empleada en la preparación de la barbotina, su porcentaje también es muy variable, oscilando generalmente entre 20 y 45 % con respecto a la materia seca total C.

La cantidad total de defloculante adicionado se sitúa, corrientemente, entre el 1-5 %0 (uno a cinco por mil) de la materia seca.

Desde el punto de vista práctico, la tendencia es utilizar la cantidad mínima necesaria de defloculante para lograr la viscosidad aparente óptima y aun un porcentaje ligeramente inferior al mínimo determinado en ensayos previos. (p.463)

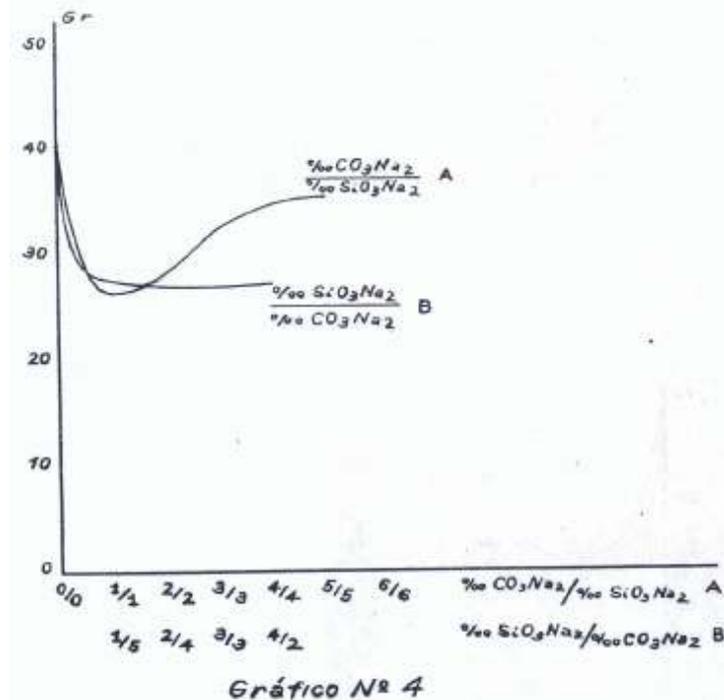
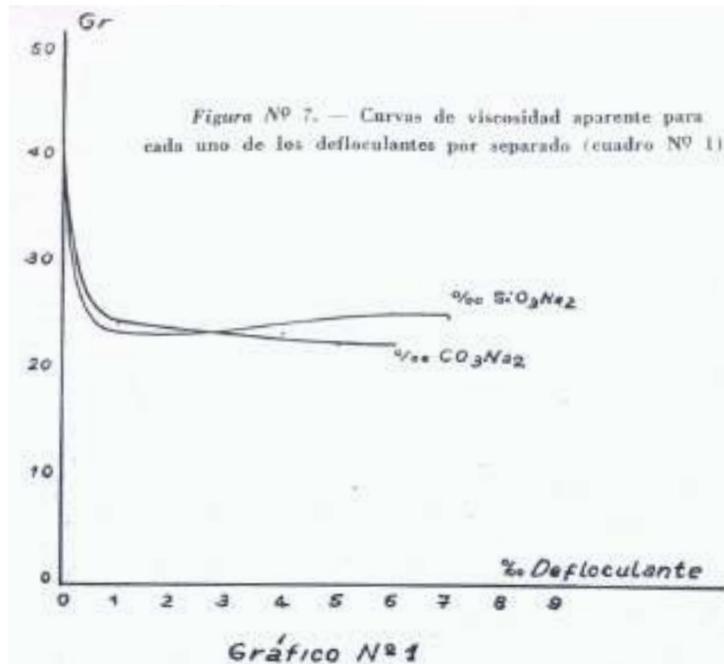
Por su parte, el completo trabajo de estos autores, a su vez, integra una serie de definiciones técnicas que resultan de interés para esta investigación.

"Tixotropía": propiedad de las suspensiones arcillosas de gelificar si se mantienen en reposo y de dispersarse nuevamente por agitación. (p.462)

Según Norton (3) una barbotina es: " ... una mezcla de arcillas, materias no plásticas y defloculantes, proporcionados de manera de lograr adecuadas propiedades físicas, de modo tal que la mezcla, cuando es dispersada en agua, por agitación y acción de ciertas sales, se transforma en una masa fluida ... "

Por su parte Wilson (3) define el proceso de colado como: " ... vaciado de la suspensión de arcilla en moldes de yeso calcinado, donde los poros del yeso absorben el agua y una capa de arcilla se adhiere a las paredes interiores del molde ... " (p. 464)

(3) Ceramie Age - april 1947 pag. 162.



Los autores expresan sus conclusiones atendiendo a las viscosidades aparentes registradas, sin poner en consideración el impacto de los defloculantes en la vida útil de los moldes. Así plantean que:

Conclusiones. Las experiencias realizadas permiten verificar en términos generales, las afirmaciones contenidas en el capítulo del estudio teórico del tema. Teniendo en consideración las observaciones sobre los resultados obtenidos, los ensayos con la arcilla C 1 A nos muestran que, en cuanto a obtener el mínimo de viscosidad aparente, la mezcla adecuada de los dos defloculantes empleados es más eficiente que la acción de cualquiera de ellos por separado. Asimismo comprueba, que la cantidad óptima en partes por mil no excede de 5 y 1 para Carbonato de sodio y Silicato de sodio respectivamente, según lo muestra el trazado de las curvas.

El comportamiento de la arcilla Q 1 A en la defloculación es más "gráfico" al diferenciar el efecto de uno y otro defloculante y confirma lo antedicho sobre la proporción total óptima. El hecho de ser un mineral caolinítico explicaría que su barbotina tenga un comportamiento más típico de acuerdo a la información bibliográfica.

Finalmente, el estudio práctico realizado permitió sacar algunas conclusiones de interés sobre la influencia de factores tales como temperatura, tiempo de maduración y densidad, sobre la viscosidad aparente.

Estas conclusiones serán muy útiles para la realización de las otras etapas del estudio general de este tema. (p. 490)

A partir de las gráficas obtenidas por estos autores, se concluye que empleando un 0,3 % de defloculante en partes iguales se obtiene un resultado tan o más eficaz que el que sugieren en las conclusiones.

Antecedentes de campo

Se realizó un estudio de campo con el propósito de recabar datos cuantificables o información descriptiva del proceso y los materiales que se emplean para la producción de piezas cerámicas. Para la realización de este trabajo se consideraron las siguientes fuentes de información:

Entrevistas a ceramistas

Se elaboró una entrevista dirigida a ceramistas y otra a matriceros. La gran mayoría de estas entrevistas se llevaron a cabo en el cuarto encuentro nacional de cerámica realizado en setiembre de 2014 en Piriápolis. Otras mediante visitas a centros educativos como la Facultad de Bellas Artes y la Escuela Pedro Figari. El objetivo fue el de adaptar la experimentación a los materiales y métodos empleados por el colectivo de ceramistas.



Visita a Fábrica

Se coordinó una visita a la planta industrial de los productos cerámicos OLMOS, de la empresa Metzen y Sena SA. Allí se realizó un recorrido de los puntos de mayor interés, desde el procesado de la materia prima, hasta el producto final, pasando por la elaboración de los moldes y matrices. Se realizó un cuidadoso registro fotográfico, además de la obtención de información de los materiales y procesos.



Entrevistas

Objetivo: El objetivo de esta entrevista es documentar información que permita orientar y adaptar la investigación experimental a los materiales y procesos empleados por los ceramistas del colectivo.

Preguntas:

- 1) ¿Qué actividades vinculadas a la cerámica estás desarrollando actualmente?
- 2) ¿En qué tipo de productos o piezas tienes más experiencia?
- 3) ¿Cuáles son las técnicas que utilizas con más frecuencia para la elaboración de piezas?
- 4) ¿Las pastas y/o barbotinas que utilizas son de tu elaboración?
- 5) ¿Cuáles son las formulas que utilizas más frecuentemente?
- 6) ¿A qué temperatura cocinas las piezas?
- 7) ¿Utilizas moldes para la elaboración de piezas? ¿De qué tipo?
- 8) ¿Cómo y con qué frecuencia realizas el secado de los moldes?
- 9) ¿Qué tipo y cantidad de desfloculante utilizas en las barbotinas?
- 10) ¿Cuál es el porcentaje de agua de las barbotinas que utilizas?

Conclusiones:

Uso del material: La gran mayoría utiliza la cerámica como un medio artístico, mientras que la docencia y la producción son actividades de sustento.

Experiencia: Esculturas, objetos artísticos. Los moldes se utilizan mayormente para vajilla y objetos funcionales

Técnicas más utilizadas: Modelado, torno y colado.

Barbotinas utilizadas: de elaboración personal, mayormente de bajas temperaturas.

Utilización de moldes: No en la mayoría, pero es frecuente su uso.

Frecuencia de uso y secado de los moldes: Generalmente el bajo ritmo de producción permite el secado del molde. En caso de querer acelerar el proceso se recurre al calor del horno, o del sol, y a la ventilación al aire libre o con ventilador. Se fabrican secaderos caseros a base de calor y circulación de aire.

Relevamiento de pastas

Ceramista	Uso	Temperatura	Arcilla	Caolín	Talco	(*1)		(*2)		(*3)		(*4)	
						Feldes	Cuarzo	Cdcal	Desfloculante	SdSod	CdSod	Agua	
Laura Ramos	Colada	Gres 1180°	65	5		20	10			0,3	1/2	1/2	50
Martín Iribarren	Torno	Gres 1180°	70			20	10			-----	-----	-----	-----
Martín Iribarren	Torno	Baja1040°	70	15	10			5		-----	-----	-----	-----
Alvaro Borrazas	Colada/Torno	Baja1040°	60		10		10	20		0,3	1/2	1/2	45/50
Juan Patche	Colada	Baja 1040°	62,8		7		13.2	17		0,2	2/3	1/3	52.2
Jenry Pinieiro	Colada	Baja 1000/1080°	67,5		4,5	8	10	10		0,3	1/2	1/2	45/50
Andrea Peceli	Colada	Baja 1040/1060°	70			10	10	10		0,3	1/2	1/2	40
Gabriela Repeto	Colada	Baja 900/1040°	70		30					0,3	1/2	1/2	45/50
Raúl Martínez	Colada	Baja 1060°	60		25		15			-----	-----	-----	45/50
Graciela Losoya	Colada	Baja1040°	70	15	15					-----	-----	-----	-----
Luciana Rodríguez	Colada	Baja 1040/1060°											
Ester Bonomo	Modelado	Baja 1040°	33.3	(33.3)		34							
Rosina Rubio	Modelado	Baja 1040°	65	10	15		10						
Rosario Romano	Colada	Baja 1060°/1080°	70		15	15				0,3	1/2	1/2	40
Rosario Romano	Colada	Gres 1180°	40	(30)		15	15			0,3	1/2	1/2	40
Bellas Artes	Colada	Gres 1180°	60	10		15	15			0,3	1/2	1/2	40
Bellas Artes	Colada	Baja 1120°/ 1100°	55	11	34					-----	-----	-----	-----
La Figari	Colada	Gres 1180°	60	10		20	10			0,3	1/2	1/2	50
La Figari	Colada	Baja 1000°/1040°	70		30					0,3	1/2	1/2	50

Relevamiento de Pastas: Se puede observar que son más empleadas las pastas y barbotinas de baja temperatura, sin embargo las formulas varían entre los diferentes ceramistas. Esto puede deberse a las distintas formas de trabajar el material (modelado, torno, colado), como también al uso que se le va a dar a la pieza final. Esto lleva a que los ceramistas tengan formulas distintas en función de las características que desean para sus piezas. En las barbotinas de alta temperatura se observa una menor variación. En naranja se señala la pasta seleccionada para la investigación.

- (*1) Feldespato
- (*2) Carbonato de calcio
- (*3) Silicato de sodio
- (*4) Carbonato de sodio

Cuadro A

Nota: El valor de caolín entre paréntesis refiere a arcilla blanca.

Entrevistas

Objetivo: El objetivo de esta entrevista es documentar información que permita orientar y adaptar la investigación experimental a los materiales y procesos empleados por quienes fabrican moldes de yeso.

Preguntas:

- 1) ¿Cuándo comenzaste a trabajar con moldes de yeso?
- 2) ¿En qué tipo de productos o piezas tienes más experiencia?
- 3) ¿Cuáles son los materiales que utilizas para la fabricación de los moldes?
- 4) ¿Medís los materiales a la hora preparar el yeso?
- 5) ¿Qué proporción de yeso utilizas en la elaboración de los moldes de yeso?
- 6) ¿Qué cantidad de yeso debe haber por fuera del modelo?
- 7) ¿Cómo es el proceso de secado de los moldes? ¿Cuánto dura?

Conclusiones:

Mayor experiencia: Vasijas, tazas, macetas y objetos decorativos.

Materiales utilizados: Únicamente yeso cerámico (betalfa) y agua.

Forma de medición: Miden en base al volumen. Los ceramistas que fabrican sus propios moldes en general no miden, en lugar de eso realizan la técnica tradicional de agregar yeso hasta generar una "montañita".

Proporción de yeso y agua: Aquellos que miden, miden una parte de agua con una y media de yeso. En otros casos usan más yeso, cerca del doble del volumen del agua.

Grosor del molde: La cantidad mínima utilizada es de 3cm, depende del tamaño del molde y del grosor que se quiere obtener en las piezas cerámicas. Por ejemplo, si se quiere obtener una pieza de 1 cm de grosor, el grueso del molde debe de ser de al menos 4 cm.

Proceso de secado: El bajo ritmo de coladas permite el secado al aire libre evitando el sol directo, o en interiores. La duración depende frecuentemente del clima por falta de secaderos.

Informe de visita a fábrica

OLMOS - Planta industrial - Metzen y Sena SA



Datos generales de la empresa

Dirección: 26 de Mayo s/n - Empalme Olmos Canelones, Uruguay.

Código Postal: 91002

Telefono: (598) 2295 6012

Fax: (598) 2295 6012 int. 110

e-mail: info@ctc.com.uy

Dirección Showroom: Canelones 1993 esq. Blanes - Montevideo, Uruguay.

Telefono: (598) 2407 - 6571

Código Postal: 11300

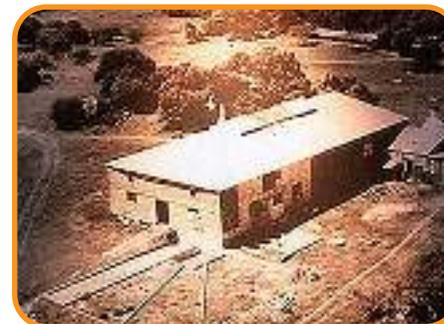
Origen y trayectoria de la fábrica

La cerámica Olmos toma el nombre de las localidades de Empalme Olmos y Villa Olmos ubicadas en el departamento de Canelones, surgidas a fines del siglo XIX como resultado de la actividad de los antiguos talleres de los Ferrocarriles del Estado.

La Fábrica fue fundada el 26 de mayo de 1937 en un pequeño galpón arrendado de 800 mts² instalado en Empalme Olmos y empleando a tan sólo 40 personas se fabricó la primer partida de azulejos valencianos, que inauguró una producción continua de revestimientos cerámicos, que por algunos años, constituyó la única línea de productos Olmos. Con el tiempo, se incorporó la fabricación de sanitarios, porcelana de mesa y cerámicas para piso en monococción.

- En 1942 nace la marca OLMOS
- En 1945 se conforma Metzen y Sena S.A.
- En 1958 comienza la producción de Porcelana Sanitaria
- En 1960 comienza la producción de Porcelana de Mesa

Fabricados por manos uruguayas, los productos Olmos son desde hace varias generaciones un orgullo para todos. Innovación, creatividad y nuevos colores, muchas más razones para disfrutarlos en los hogares de nuestro país y el mundo.



Actualidad:



OLMOS, Industria Uruguaya cuyos productos son sinónimo de buen diseño, durabilidad y alta calidad vuelve a estar presente.

El 1° de Julio del 2013 la Fábrica recomenzó el ciclo productivo a través de la Cooperativa de Trabajadores Cerámicos Empalme Olmos (C.T.C. Empalme Olmos).

El Emprendimiento está integrado por más de 350 Cooperativistas, cada uno de ellos con una vasta experiencia y alta especialización en las tareas en que se desarrollan. Además, cuentan con un Equipo de Técnicos contratados de primer nivel que les brindan asesoramiento en las distintas áreas.

Desde la planta industrial, con el reconocido respaldo de la marca OLMOS, se fabrican una gran variedad de productos cerámicos gracias a la alta flexibilidad de los procesos industriales, capacidad técnica y materias primas e insumos de primer nivel.

Los productos OLMOS se fabrican según especificaciones de normas internacionales que permiten abastecer los mercados más exigentes con calidad y continuidad.

Actualmente, la Fábrica tiene una capacidad de producción al año de más de 1.200.000 de metros cuadrados de revestimientos, 360.000 piezas de sanitarios y 2.000.000 de piezas de porcelana de mesa.

La presencia comercial en el mercado uruguayo está marcada por una fuerte cadena de distribuidores en todo el país, reafirmando así su tradicional liderazgo.

El 31 de Marzo del 2014 se inaugura con la presencia del Sr. Presidente de la Republica, José Mujica, el Showroom de OIMOS, ubicado en el corazón de la zona diseño de Montevideo, en Canelones al 1993 esquina Blanes. Un espacio moderno y amplio donde se exhiben y venden todas las líneas de revestimientos cerámicos, porcelana de mesa y porcelana sanitaria de la marca.

Los productos son igualmente reconocidos en el mercado internacional, logrado con una exportación creciente de todas las líneas a Argentina, Chile, Bolivia, Paraguay y Estados Unidos.

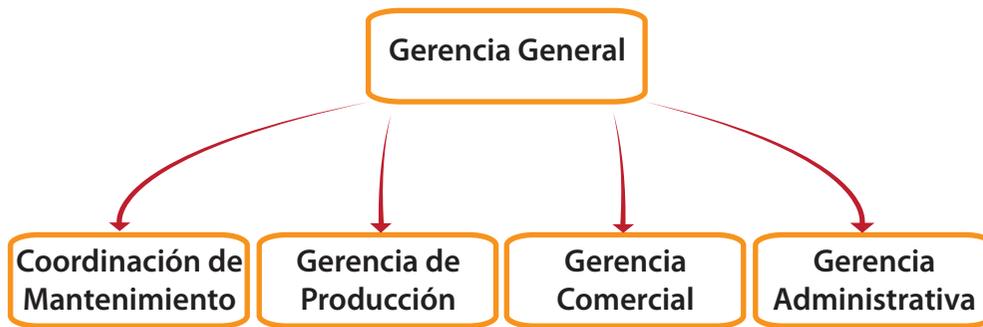
Productos y servicios al cliente

Productos - Estándares de calidad superior, variedad e innovación en formatos y diseños, pensados para todos los segmentos de clientes y organizados en familias para lograr perfectas combinaciones.

Servicio al Cliente - Asistencia técnica, respaldo post venta, Showroom especializado y una vocación constante y profesional de aportar soluciones integrales a las necesidades de nuestros clientes



Organigrama:



Planta con ubicación de los sectores productivos:



Formas de embalado y comercialización:



Las piezas de mayor tamaño son paletizadas permitiendo un óptimo almacenamiento y facilitando la tarea logística y transporte de los productos.



Se utiliza el papel para evitar el roce directo entre la piezas esmaltadas, luego se colocan en cajas de cartón.

- F** Fabricación de barbotinas
- T** Taller de fabricación de matrices / Taller de moldes en subsuelo
- V** Vajilla de mesa
- S** Sanitarios
- E** Esmaltado
- R** Revestimiento
- D** Depósito

— Horno túnel para abizcochado de vajilla

— Horno túnel para piezas esmaltadas

Materias primas:

Las arcillas empleadas son todas caoliníticas, es decir con alto porcentaje de alúmina. Se utilizan arcillas nacionales, como el blanquillo proveniente del departamento de Durazno, como también importadas, inglesas y brasileras. Las inglesas resultan más económicas, ya que las brasileras presentan un alto porcentaje de agua.

A estas arcillas se le agregan otros materiales según el sector productivo al que este dirigido el material. Entre ellos se agrega antiplásticos y cerámica cocida y triturada a fin de brindarle mayor resistencia durante la horneada.

Los materiales se pesan en grandes cantidades para luego volcarlos en un molino de bolas. Posteriormente se le extraen los metales y se hidratan haciéndose barbotina. Luego se la tamiza y se mantiene en movimiento con una serie de motores que evitan que se endurezca. Finalmente es bombeada y conducida por tuberías a los sectores de colado.

Las formulas empleadas son de porcelana para los productos de vajilla y sanitarios, y loza para los revestimientos. En ninguno de estos casos se emplea Plomo (El cual reduce la temperatura de fusión para abaratar los costos del horneado) ni Cadmio (se emplea para realzar los colores) ya que son elementos tóxicos que ponen en riesgo la salud de los trabajadores, y atentan contra la calidad de los productos.



Productos:



Jarro de café

Procesos:

- Colada y desagote



Maxim's fuente llana

Procesos:

- Colada de espesor obligado



Clásico platillo

Procesos:

- Torno mecanizado



Clásica Jarra

Procesos:

- Colada y desagote



Clásica cafetera

Procesos:

- Colada y desagote



Revestimiento / romana pizarra

Procesos:

- prensado



Clásica Lechera

Procesos:

- Colada y desagote



Clásico pocillo café

Procesos:

- Torno mecanizado (taza y plato)
- Colada de espesor obligado (aza)



Lavamanos integral

Procesos:

- Colado y deagote por sistema spagle



Clasica Tetera

Procesos:

- Colada y desagote



Clásica sopera

Procesos:

- Colada y desagote (cuerpo)
- Colada de espesor obligado (azas, tapa y esfera)



Inodoro alpina largo

Procesos:

- Colado y deagote por sistema spagle (sisterna y tapas)
- Colado y desagote convencional (inodoro)

Procesos de producción de piezas por colada:

Colada por espesor obligado:

Este es el proceso de colada mediante el cual se producen piezas cerámicas macizas. El espesor de las piezas está determinado por el espacio que disponga el molde y de ahí la denominación de "espesor obligado". No hay vertido ya que no se tiene intención de fabricar una pieza hueca.

Este proceso se emplea frecuentemente para realizar azas de diferentes tipos de vasijas, así como también para producir platos, y tapas que precisan precisión en sus dimensiones.

Lo particular de este proceso en la industria es que los moldes no se utilizan individualmente, sino que permiten ser apilados, y en lugar de ser un molde cerrado, se conectan por un orificio en el centro del molde. Para realizar el colado se coloca un tapón en el molde inferior y se realiza el colado de 10 o más moldes desde la boca de colada del molde superior. Esto facilita significativamente la producción en cantidad.

Otra diferencia que se puede observar con los moldes artesanales es que la boca de colada es una pieza independiente del resto del molde. Esta pieza es cónica lo cual ayuda a impedir que se cuelen burbujas de aire en la barbotina.



Colada por desagote:

Este es el proceso mediante el que se fabrican piezas huecas como jarras y teteras, entre otras. En este proceso no se registraron diferencias respecto a la forma de producción artesanal.

El espesor de la pieza está dado en este caso por el tiempo que se deje reposar la barbotina en el molde de yeso.

Los operarios de la empresa son muy especializados y conocen los factores que pueden incidir en el tiempo de colado. Los factores que más son considerados a la hora de producir son la densidad de la barbotina, la edad del molde, y la temperatura ambiente.

Sin embargo cabe mencionar que la variación de estos factores es muy menor a la que experimenta un taller artesanal. La densidad varía tan solo entre 1,75 y 1,8, y en cuanto a la temperatura, el ambiente donde se realiza el colado está aislado y calefaccionado con la ventilación del horno, el cual está encendido constantemente.

A esto debemos agregar que los turnos de trabajo son sucesivos, haciendo que el ritmo de producción, tanto de colado como de secado, se mantenga constante. Los moldes y las piezas secan en el mismo ambiente donde se usaron gracias a la alta temperatura y la ventilación.



Proceso de colada sistema spagless:

El sistema spagless fue instalado en OLMOS en el año 2003. El término deriva de la palabra italiana "spaghetti", y alude a los conductos de aire que recorren el interior del molde. En estos conductos se conecta una manguera que inyecta aire a presión, expulsando el agua del molde al exterior en cuestión de segundos.

Este sistema se utiliza en olmos para la producción de productos sanitarios. El sistema permite aumentar la productividad significativamente. Un molde convencional de inodoro se utiliza una vez por día, mientras que uno spagless puede ser utilizado 6 veces al día (2 veces por cada turno de 8 horas).

Antes de proceder al colado de los moldes, se realiza una prueba a fin de conocer la velocidad de absorción de los moldes y determinar el tiempo que deberá permanecer la barbotina dentro de los moldes.

Una diferencia respecto de los moldes convencionales es la forma de introducir y expulsar la barbotina . Esta es introducida en el molde a presión y el vaciado se realiza también mediante presión de aire.

El sistema reduce notoriamente los costos del producto final, sin embargo algunas piezas de gran complejidad no pueden ser fabricadas por este sistema.



Proceso de fabricación de moldes:

El proceso de fabricación de moldes es el mismo que el que describe el libro "Cerámica para escuelas y pequeñas industrias" de Costales y Olson (1962)

La terminología por su parte es levemente diferente. Todo molde parte de un modelo inicial el cual es fabricado en yeso en base a los dibujos técnicos. A partir de este, se fabrica el molde maestro (Molde de bloque según Costales y Olson). A este molde se lo fabrica agregando cemento al yeso a fin de darle mayor durabilidad. Copiando la forma del Molde maestro se genera la matriz (o molde tipo), con la cual se fabricarán los moldes de producción. La matriz se compone de materiales muy rígidos, como arena y resina epox. La superficie se recubre de araldí para dar una textura lisa que recubra los granos de arena.

Los moldes del sistema spagless deben tener paredes más gruesas que los convencionales (de al menos 6 cm) para soportar la presión del aire. A su vez los moldes son más compactos, agregando 1,5 kg de yeso por cada litro de agua. Otra particularidad de su fabricación es que el encofrado incorpora una serie de tubos de silicona que generan los conductos de aire. Estos se conectarán con la manguera mediante unos adaptadores de plástico.



Resumen de antecedentes

En términos generales, los antecedentes teóricos tomados de las fuentes bibliográficas, si bien ofrecen una enorme cantidad de información útil para la producción de piezas cerámicas por colada y vertido, no profundizan en la relación existente entre el tiempo de colada y el espesor de la pieza obtenida, ni en los factores que pueden incidir en esta investigación. Sin embargo, considerando los antecedentes de campo (visita a fábrica y entrevistas), los factores más contemplados a la hora de producir son la densidad de la pasta, y la edad del molde de yeso y la humedad percibida del molde.

Por otro lado, se observan importantes diferencias entre las indicaciones de la bibliografía, y la instrumentación de los procesos en el ámbito artesanal. Entre ellas se destacan las siguientes diferencias:

Indicaciones de la bibliografía	Realidad del trabajo artesanal
Indicación del porcentaje de materiales plásticos en barbotinas de colado: 60% como máximo	Porcentaje de materiales plásticos de barbotinas de colado empleadas en los talleres : Usualmente entre 70% y 75%
Indicación del porcentaje de yeso en moldes de colada: 55% como máximo.	Porcentaje yeso de los moldes artesanales: No suele medirse con exactitud. Se emplea un 60% aproximadamente (Según experimentación, pag.48)
Condición del estado de humedad de los moldes a utilizar: Totalmente secos	Estado de humedad de los moldes a utilizados: La falta de secaderos, y la dependencia del clima, hacen que los moldes frecuentemente se utilicen con un cierto grado de humedad. Ésta se mide al tacto. Si está frío, está húmedo. El porcentaje de humedad se desconoce.

Es frecuente que en la modalidad de trabajo artesanal se sustituya la medición, por la observación y el empleo de la experiencia. Razón por la cual quizás existan más diferencias que no pudieron ser registradas por el desconocimiento de los datos específicos, como por ejemplo el porcentaje de agua de las barbotinas (este se suele determinar mediante una valoración cualitativa, sin el empleo de instrumentos de medición).

Con respecto a las coincidencias entre los antecedentes teóricos y los de campo, cabe destacar que muchos de los procedimientos indicados por Costales y Olmos se llevan a cabo de forma idéntica en la planta industrial de OLMOS.

En cuanto a las coincidencias con el proceso artesanal se destacan:

- **Densidad de la barbotina:** entre 1,7 y 1,8 g/cm³
- **Porcentaje de desfloculante:** comunmente se emplea un 0,3 % del peso de los materiales secos, en partes iguales de silicato de sodio y carbonato de sodio (Soda Solvay)
- **Tipo de yeso:** Paris / Yeso especial para moldes cerámicos (beta alfa).
- **Espesor de las paredes del molde:** 3,5 cm promedio para piezas de tamaño estandar. A mayor tamaño del modelo, mayor el espesor de las paredes del molde.

Capítulo 3

Metodología

Metodología aplicada

La metodología de investigación que se desarrolla en este capítulo es de carácter experimental y tiene como objetivo conocer el comportamiento de las variables que intervienen en el proceso de colada y vertido. En particular del tiempo de colada, el espesor de las piezas obtenidas y el porcentaje de humedad de los moldes utilizados, ya que estas tres variables conforman el objeto de estudio de esta investigación.

Cabe mencionar que esta metodología no fue tomada de un libro, ni de un autor, sino que es el resultado de un profundo proceso de diseño, que exigió de experimentaciones previas para la determinación de los materiales y métodos con los que se llevaría a cabo la experimentación. En base a esto, se decidió realizar la experimentación a partir de los materiales que se disponen en el medio local, y empleando herramientas con las que cuenta cualquier taller cerámico, siendo la balanza la herramienta principal de esta investigación.

Otro aspecto relevante de esta metodología es que fue diseñada para minimizar la incidencia de las condiciones de temperatura y humedad en las que se realizara la experimentación, de forma tal de que sus resultados puedan ser de utilidad para distintos ámbitos, independientemente de las condiciones del ambiente. Para facilitar la futura aplicación de estos resultados en la producción, se desarrollo un manual denominado "Manual de colada y vertido para la producción de piezas cerámicas de espesor específico".



Diseño de la metodología

El diseño de esta metodología se realizó priorizando la obtención de información por sobre la obtención de las piezas cerámicas. Por lo tanto no se replicará el normal proceso productivo sino que se adaptará éste, para la obtención de información válida para las diferentes condiciones en las que podría trabajar un ceramista.

La realización de la siguiente investigación experimental requiere de la preparación previa de una barbotina de colado cuidadosamente formulada y de la fabricación de 6 moldes de idénticas características, dimensiones, peso y porcentaje de humedad.

La experimentación consiste en colar simultáneamente una barbotina de colado en 6 moldes idénticos, realizando el vertido de cada molde en diferentes momentos, respondiendo a intervalos de tiempo regulares. Específicamente a los 10, 15, 20, 25, 30 y 35 minutos. Inmediatamente después, los moldes se aíslan del ambiente (mediante el empleo de film, bolsas de nylon y conservadoras de espuma plast), de forma tal de asegurar que la humedad absorbida por el molde proviene de la pieza cerámica, y que el ambiente no afectará el aumento de la humedad del molde de una colada a otra. De esta forma se reduce la incidencia del clima a 2 horas por colada, que es el tiempo destinado al desmolde, registro de información, colado, vertido, y aislamiento de los moldes.

Se realizarán sucesivas repeticiones cada 8 horas. Al desmoldar se registrará el peso (g) de cada pieza y el espesor (mm) de sus paredes, así como también se medirá el peso (g) del molde y su grado de humedad (%). Dicho registro responde a la determinación del aumento del porcentaje de humedad del molde de yeso y su relación con los espesores obtenidos en las piezas. Previo al desmolde, con la pieza suficientemente rígida, se procederá a extraer la boca de colada de las piezas cerámicas

Dado que la humedad de los moldes irá en aumento, el desmolde de las piezas se irá tornando progresivamente más dificultoso. Sin embargo, se recurrirá al desmolde forzado por agitación, ya que el secado de la pieza implicaría el secado parcial del molde, reduciendo así, el rango de humedad a estudiar. Se calculó mediante una experimentación previa, que realizando 24 repeticiones se abarcaría un rango de humedad que va del 10 al 30 por ciento. Las piezas deformadas o estropeadas serán igualmente pesadas y registradas de la forma anteriormente descripta.

Limitaciones del trabajo

Las principales limitaciones del trabajo están directamente vinculadas a los materiales utilizados, con lo cual las conclusiones no son generalizables, sino que solamente son aplicables a la barbotina estudiada, y al uso de moldes de las características específicas. No obstante la información obtenida puede ser tomada como referencia, al menos para comprender cualitativamente cómo se comporta la relación entre el tiempo de colada y el espesor de las piezas en los diferentes porcentajes de humedad de los moldes utilizados.

Una importante limitante de esta trabajo se desprende de los tiempos empleados para el estudio. Estos van de los 10 a los 35 minutos. Este rango fue definido para explorar los menores espesores posibles de una pieza cerámica, donde el error de la técnica artesanal tiene una mayor repercusión en el producto final.

Por su parte, otro aspecto que acota esta investigación es el rango de humedad estudiado. Este rango parte del porcentaje de la humedad de un molde seco, de un 10 % aproximadamente, hasta un 30% . Este es extremadamente amplio para el estudio, considerando que los antecedentes no recomiendan la utilización de moldes húmedos.

Finalmente otra limitación a la hora de aplicar las conclusiones de este trabajo, es que esta investigación no contempla la incidencia del estado de conservación de los moldes, ya que en la experimentación se emplearon moldes nuevos, con lo cual el margen de error para moldes desgastados podrían aumentar significativamente. Se podría suponer que con el uso del molde, la obstrucción de los poros del yeso podría producir un efecto similar al del aumento del porcentaje de humedad, reduciendo la velocidad de absorción del molde (y no la capacidad de absorción como se suele afirmar). Sin embargo esta es una interrogante que quedará planteada a futuras investigaciones.

Definición de variables

Los materiales

En el proceso de colada y vertido en moldes de yeso existen múltiples variables que determinan el espesor de la pieza obtenida. Algunas de ellas están vinculadas a la barbotina utilizada, como lo son su densidad, su fluidez, la cantidad y tipo desfloculante y el porcentaje de agua de la misma. Otras de ellas se vinculan con el molde de yeso utilizado, como lo son el tipo de yeso, la porosidad del molde, la cual está determinada por la relación de agua y yeso empleada en su elaboración, el tamaño del molde, su estado de conservación (edad del molde) y su porcentaje de humedad.

Los procedimientos

Además de éstas, hay otras variables relacionadas a las condiciones del ambiente y a los cuidados que tenga la persona que realiza la colada y el vertido de los moldes. En este sentido, el tiempo que reposa la barbotina en el molde hasta ser vaciado es determinante en cuanto al espesor de la pieza que se obtiene. Por su parte, la humedad y temperatura del ambiente influyen en mayor medida en los tiempos de desmolde y de secado.

Para la definición de las variables se tomo como referencia los factores que Fernández (2011) considera de mayor incidencia en el tiempo de desmolde de una pieza de colada (mencionado en los antecedentes, pagina 11), así como también se verificó en los antecedentes de campo, concretamente en la visita a fabrica.

La importancia de controlar las variables

La validez de los resultados de esta investigación depende de la capacidad de conocer y mantener constantes todas las variables que intervienen en el proceso, exceptuando aquellas que serán estudiadas, que son en este caso, el tiempo de colada, el espesor de la pieza obtenida, y el porcentaje de humedad del molde utilizado.



Variables vinculadas a la barbotina

- Calidad de las Materias Primas
- Formulación de la barbotina
- Porcentaje de agua
- Densidad
- Porcentaje y tipo de desfloculante
- Fluidez / Viscosidad



Variables vinculadas al molde

- Tipo de yeso
- Porosidad (porcentaje de yeso y agua)
- Dimensiones
- Estado de conservación (edad del molde)
- Porcentaje de humedad



Variables vinculadas a la acción

- Temperatura ambiente
- Humedad ambiente
- Tiempo de la colada

Variables de la barbotina

Control de variables vinculadas a la barbotina

La utilización de una misma barbotina para toda la experimentación garantiza que las variables vinculadas a ésta se mantengan constantes, siempre y cuando ésta se mantenga aislada del ambiente y no pierda humedad. Igualmente importante es realizar un correcto mezclado y tamizado de la barbotina inmediatamente antes de ser utilizada.

Justificación de la barbotina empleada

Se eligió una formula de alta temperatura de las relevadas en las entrevistas para determinar la barbotina de estudio, ya que se observó que su formula no varía radicalmente entre los ceramistas que la utilizan. Además, al ser una pasta de gres, el resultado son piezas muy rígidas y compactas con una mínima absorción de agua. Por esto resulta una pasta frecuentemente utilizada para la fabricación de vajilla de mesa, productos en los que el espesor de la pieza puede resultar un atributo de importancia.

Con respecto al alto porcentaje de los materiales plásticos, se optó por mantenerse acorde a las formulas que emplean los ceramistas, de modo que los resultados de esta investigación sean fácilmente aplicables en su actividad. Además, si bien la bibliografía recomienda una menor cantidad de materiales plásticos, los ceramistas suelen modificar las piezas a fin de hacerlas únicas, relajando uniones y otras intervenciones, donde la plasticidad puede resultar favorable.

La densidad de 1,78 g/cm³ resulta acorde a las indicaciones de los antecedentes teóricos y de campo, situándose entre 1,7 y 1,8, así como también el porcentaje de agua también se encuentra dentro del margen recomendado de 40 a 50%.

Con respecto al porcentaje de desfloculante se decidió regirse por la indicación general que emplean la mayoría de los ceramistas. No obstante, se realizó una experimentación previa para garantizar la fluidez adecuada durante el trabajo, la cual sigue a continuación.

Características de la barbotina empleada

- **Fórmula:** 60% Arcilla gris, 10% Caolín, 20% Feldespato, 10% Cuarzo.
- **Temperatura de cocción:** Alta 1180°C
- **Usos:** Vajilla, Objetos decorativos.
- **Porcentaje de materiales plásticos:** 70%
- **Porcentaje de agua:** 42,5% del peso de los materiales secos
- **Densidad:** 1,78 g/cm³
- **Porcentaje de desfloculante:** 0,3% del peso seco, en partes iguales de silicato y carbonato de sodio (Soda Solvay)
- **Fluidez:** 8s (escala subjetiva)
- **Porcentaje de absorción:** 1%
- **Contracción por secado:** 6%
- **Contracción por horneado:** 7%
- **Reducción total:** 13%

Nota: La metodología planteada puede aplicarse como un método de investigación de pastas para cualquier otra barbotina de colado.

Experimentación de fluidez

Se realizó una experimentación de la barbotina de colado seleccionada para la investigación, a fin de conocer el porcentaje de agua y desfloculante óptimos para la producción.

Se prepararon 4 barbotinas de 2 kg de pasta seca de la formula detallada anteriormente, en las cuales se incorporó diferentes cantidades de silicato y carbonato de sodio en partes iguales.

Para esto se utilizaron 4 recipientes de 2 litros en los que se colocó 700 ml de agua. A estos recipientes se les añadió 100 ml de agua caliente en los que se diluyó la cantidad de desfloculante correspondiente a cada barbotina.

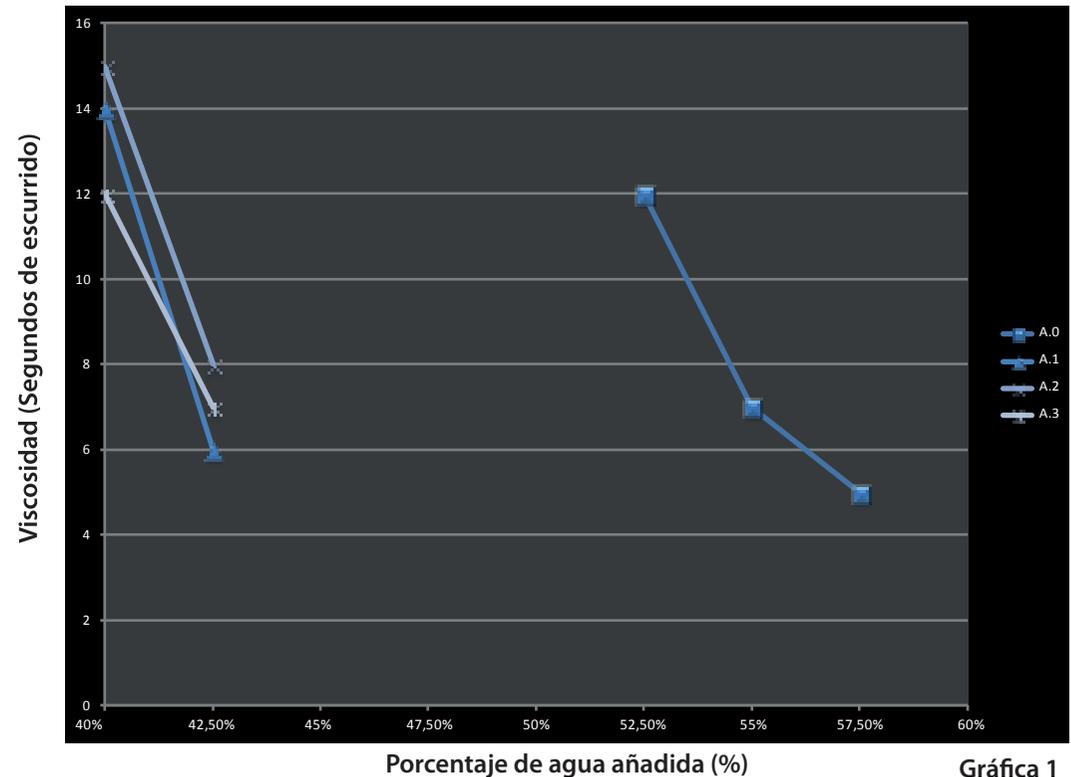
A.0 no tiene desfloculante, A.1 tiene un 0,1% de desfloculante (1 g de cada uno), A.2 tiene un 0,2% de desfloculante (2 g de cada uno) y A.3 tiene un 0,3% de desfloculante (3 g de cada uno). Luego se añadieron los componentes secos al agua obteniendo cuatro barbotinas con un 40% de agua.

La investigación consistió en medir la densidad y la fluidez de las barbotinas a medida que se añadía agua controladamente. Antes de realizar la medición, se mezcló bien (con taladro y alambre), y se tamizó la barbotina.

La fluidez se midió mediante un viscosímetro, el cual se usa para medir la fluidez de la pintura. Se trata de un embudo de plástico, con el cual se mide el tiempo de escurrido del fluido. A menor tiempo, menor viscosidad y por lo tanto mayor es la fluidez. La escala es subjetiva y la unidad es el segundo.

Conclusiones

Se puede concluir que existe una diferencia sustancial entre las barbotinas que integran defloculantes y las que no, sin embargo no se percibe una variación tan significativa al variar el porcentaje de desfloculante entre el 0,1 y el 0,3%. Si se tomara en cuenta únicamente la fluidez, se podría suponer que es mejor utilizar una barbotina con sólo 0,1% de desfloculante y reducir el impacto de éste en los moldes. Sin embargo el desfloculante también tiene un efecto positivo a la hora del desmolde, razón por la cual se optó por seguir la indicación general de un 0,3 % del peso seco de la barbotina.



Gráfica 1

Pasta	40%	42,5%	45%	47,5%	50%	52,5%	55%	57,5%	60%
A. 0	Muy viscoso	-----	viscoso	-----	viscoso, fluye poco	T: 12 D: 2,3	T: 7s D: 1,77	T: 5s D: 1,63	
A. 1	T: 14s D: 1,76	T: 6s D: 1,74							
A. 2	T: 15s D: 1,80	T: 8s D: 1,80							
A. 3	T: 12s D: 1,81	T: 7s D: 1,78							

Cuadro B

Observaciones:

Es importante notar que las barbotinas que incorporan desfloculante alcanzan aproximadamente la misma fluidez (7s) con un 12,5% menos de agua que la barbotina sin desfloculante. La reducción de este porcentaje de agua en una barbotina resulta favorable para minimizar la reducción de las piezas durante el secado, y reduce la cantidad de agua que es absorbida por el molde de yeso.

Variables de los moldes

Control de variables vinculadas al molde de yeso

Para asegurar que los moldes sean de idénticas características la fabricación de éstos se realizará con el método de fabricación de moldes en serie tomado del libro *"Cerámica para escuelas y pequeñas industrias"* de Costales y Olson (1962). En primer lugar se fabricará un molde de bloque a partir del modelo original. Luego con este molde se obtendrán 6 moldes tipo. Éstos, servirán de herramienta para fabricar los 6 moldes de producción en un mismo momento, utilizando una misma mezcla de yeso y agua, garantizando de esta forma, que la porosidad de todos sea la misma. Luego se pesarán y se quitará el material necesario para que tengan el mismo peso. De esta forma se obtiene una partida de 6 moldes de idénticas características y dimensiones.

Justificación de las características de los moldes empleados

Los moldes se diseñaron de un solo tassel con el propósito de facilitar su producción y permitir un diagnóstico más preciso del porcentaje de humedad. El borde del vaso se empleará como línea guía para cortar la boca de colada de las piezas, asegurando que estas tendrán las mismas dimensiones. Gracias a esto se podrá deducir el espesor de la pieza a partir del peso.

En cuanto al modelo a reproducir se eligió un vaso descartable por su forma cónica fácil de desmoldar, exceptuando su base que deberá ser intervenida. Además, su textura acanalada que dará cuenta de la capacidad del proceso de reproducir los mínimos detalles.

Para determinar la porosidad del molde se tomo en consideración las indicaciones mencionadas en el marco teórico, empleando un 55% de yeso y un 45% de agua. Este es un molde con menos yeso que el que resulta de la fabricación artesanal (con la técnica de la montanita), pero más absorbente.

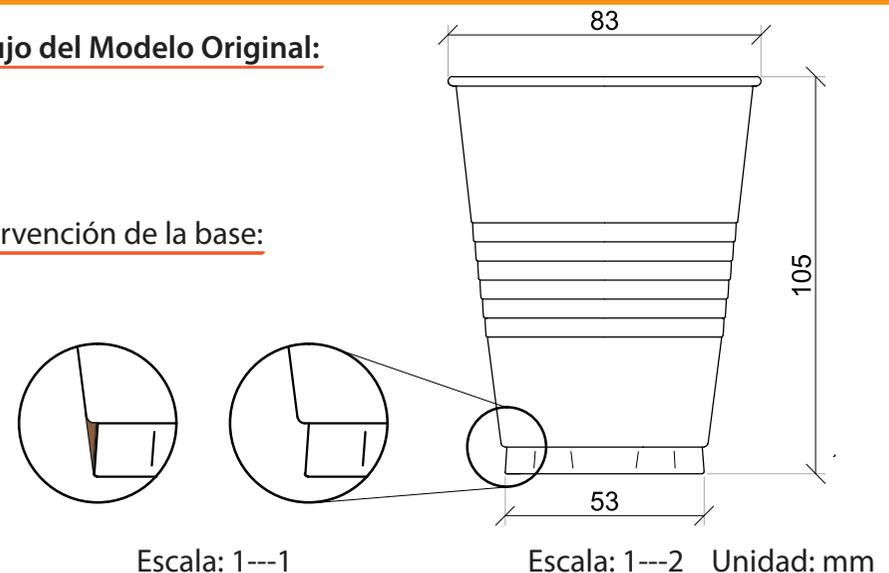
Con respecto a las dimensiones de las paredes del molde, en el dibujo técnico de la siguiente pagina, se evidencia que todas las paredes se encuentran dentro del rango recomendado de 3 a 4,5 cm.

Características de los moldes de yeso

- Tipo de molde: Molde de colada simple de un solo tassel
- Tipo de yeso: Yeso para moldes cerámicos betalfa
- Porcentaje de yeso y agua (porosidad): 55% de yeso, 45% de agua.
- Porcentaje de absorción: 33,6 %
- Dimensiones de las paredes: Mínima 3cm, Máxima 4,5 cm.
- Estado de conservación: Moldes nuevos secados a la sombra, en un interior
- Porcentaje de Humedad: Moldes secos, entre un 10 y 12,5 % de humedad
- Modelo a reproducir: Vaso cónico
- Encofrado: Cilíndrico

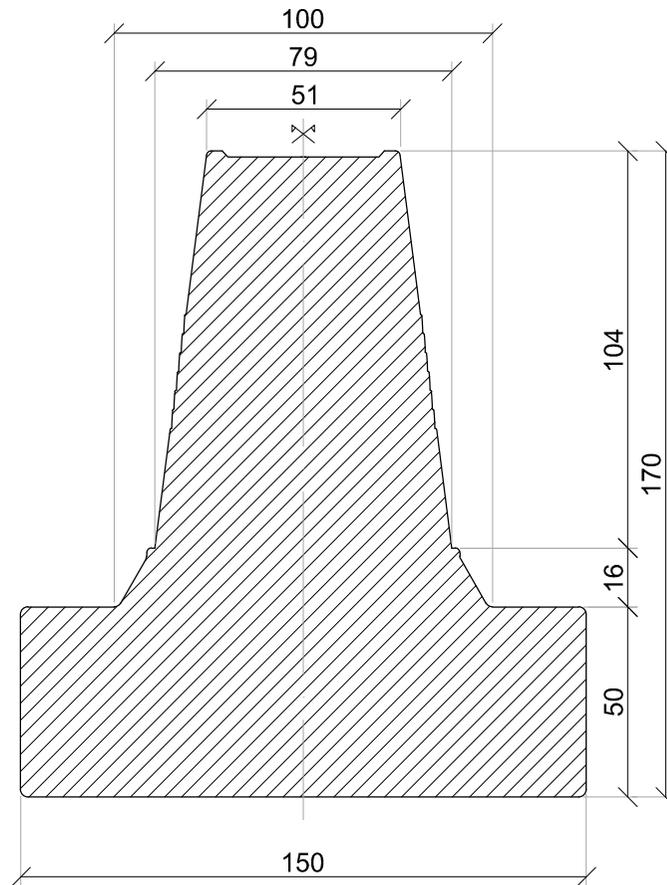
Dibujo del Modelo Original:

Intervención de la base:

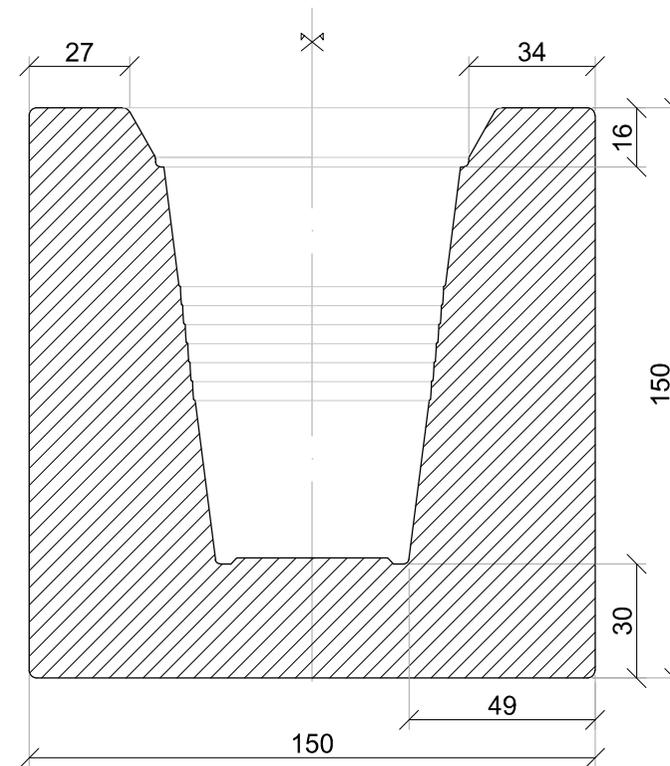


Diseño del molde

Molde tipo / Matriz



Molde de Producción



Escala: 1---2 Unidad: mm

Fabricación de las matrices



Modelo Original



Modelo de trabajo



Moldes Tipo / Matrices



Caja de Moldes



Molde de bloque/Molde maestro



Fabricación de los moldes



Proporción de yeso y agua

Como se explico anteriormente, la porosidad de los moldes deriva de la proporción de yeso y agua empleada en su fabricación. Para los moldes de colada la porosidad apropiada (según antecedentes pagina 19) se obtiene dosificando un 55 % de yeso y 45% de agua.

Experimentación con yeso

El objetivo de la experimentación es el de conocer la proporción de yeso y agua que resulta de la preparación de un yeso de la forma tradicional, en la cual los componentes no se miden sino que se agrega yeso al agua hasta generar una pequeña montaña por sobre el nivel del agua. En segundo lugar se registrara las proporciones que generan las diferentes porosidades, pero en termino de unidades, de modo que aquel que desee saltarse el cálculo exacto, pueda realizar una correcta dosificación.

Resultados

1 parte de agua y 2 de yeso = 66,6% yeso y 33.3% agua

1 parte de agua y 1.5 de yeso (Técnica artesanal) = 60% yeso y 40% agua

1 parte de agua y 1,22 de yeso = 55% de yeso y 45% de agua.

Conclusiones

Se puede concluir que los moldes elaborados de la forma tradicional son más compactos, y con más porcentaje de yeso del que recomiendan los antecedentes teóricos para moldes de colada, y por lo tanto, menos absorbentes.

Cabe mencionar que los moldes compactos tienen otros aspectos favorables como su rigidez, que minimiza el desgaste de su uso, y la capacidad de reproducir detalles más finos.

Una vez definida la proporción de yeso y agua a utilizar, se procedió a medir la capacidad de secado y absorción. El secado en un ambiente interior registro que el yeso no pierde toda el agua con la que se fabricó, sino que se estanca en torno al 11% de humedad.

El porcentaje de absorción se determino en base a la fórmula planteada por Chavarria (1997) para conocer propiedades de las piezas cerámicas cocidas (p.35)

$$\text{Porcentaje de Absorción} = \frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} \times 100$$

$$\text{Porcentaje de absorción de la muestra} = \frac{358 - 268}{268} \times 100 = 33,6 \%$$

La absorción para un yeso elaborado con un 45% agua es de: 33,6 %.

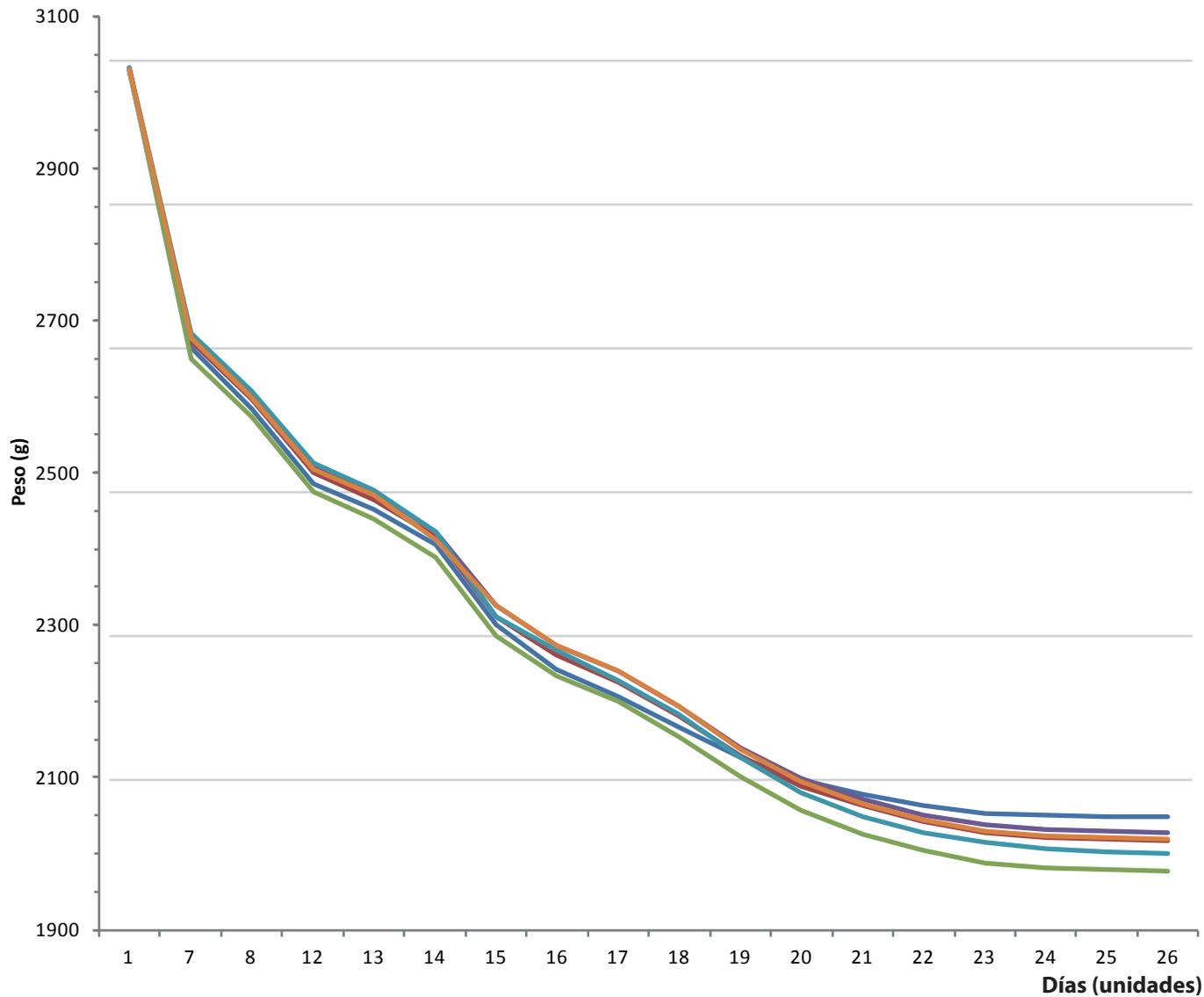
Preparación del yeso para los moldes de la experimentación

A fin de que los moldes estén fabricados con el mismo material, se preparó una gran cantidad de yeso, la cual se vertió posteriormente en los encofrados. Dado que el momento en el que se vuelca el yeso también puede incidir en la porosidad final, el yeso se vertió gradualmente en los encofrados (no se completo uno y después otro), manteniendo siempre parejo el nivel de todos ellos. En la mezcla se añadió 12,360 kg de yeso y 10,080 L de agua. Si bien la manipulación de estas cantidades resultó engorrosa, permitió que la serie de 6 moldes se fabricara en simultaneo y que el proceso de secado sea parejo.

Para facilitar el desmolde, se dejó reposar en agua cada molde con su matriz 5 minutos exactos. Inmediatamente se realizó un tallado de los moldes para emparejar sus dimensiones y pesos. Finalmente se midió el peso del molde mojado el cual será de vital importancia para definir el porcentaje de humedad (Calculo detallado en página 54)



Secado de los moldes



Gráfica 2



- Molde 1
- Molde 2
- Molde 3
- Molde 4
- Molde 5
- Molde 6

Condiciones del secado

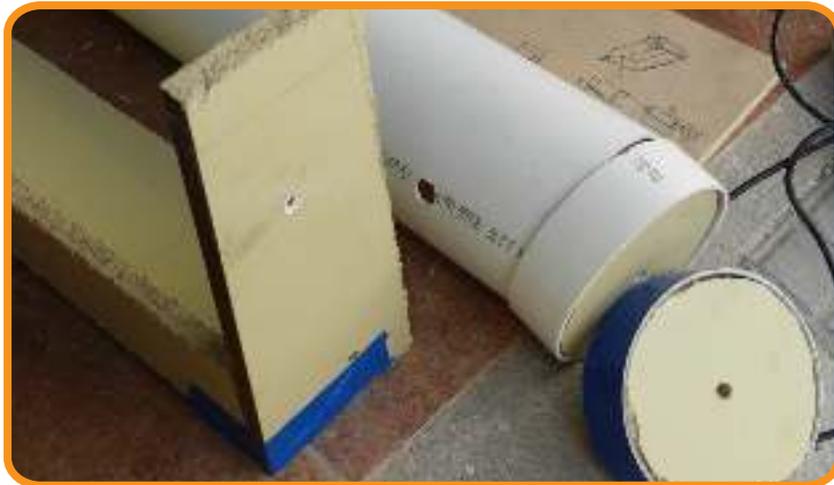
El secado se realizó en un lugar cerrado, y la disposición de los moldes fue equidistante para minimizar las diferencias de humedad entre ellos.

Los moldes no se utilizaron hasta culminar su proceso de secado, el cual se desarrolló en una temperatura promedio de 22 ° C aproximadamente. La finalización de este proceso está indicada por el estancamiento de la reducción del peso de los moldes, el cual se da después de perder 1/3 del peso inicial como muestra la gráfica. A esta altura los moldes se encuentran con un porcentaje de humedad de entre un 10 y 12,5%, según un cálculo basado en el conocimiento del peso seco de los moldes (página 50).

Herramientas

Vertedor

Una herramienta fundamental para realizar este experimento es un vertedor, cuya función es la de contener la barbotina, y permitir la salida de esta en 6 lugares diferentes, en un mismo momento. El dispositivo consiste de un largo contenedor cilíndrico atravesado por un eje de giro que lo sostiene por encima de los moldes. El cilindro presentara 6 orificios alineados por los cuales escurre la barbotina al girar el contenedor. Al volver el vertedor a su posición inicial se finaliza el vertido también en simultaneo. El cilindro presenta una apertura ancha a 90 grados de la línea de los orificios por donde se introduce la barbotina. En sus extremos encastran dos tapas de las cuales una de ellas es retirada para recuperar el material sobrante con facilidad.



Encofrado rígido

Otra herramienta que se utilizara, en este caso para realizar los moldes son estos segmentos del mismo tubo de PVC. Estos tubos tienen 15 cm de diámetro interior y resultan ideales para utilizarlos como encofrados cilíndricos. Se cortaron segmentos de 20 cm de largo, y se los corto a lo largo con el propósito de facilitar la extracción del molde fraguado. El empleo de estos encofrados contribuyo en gran medida a mantener constantes las dimensiones de los moldes que fueron fabricados.



Mesa de colada

La mesa de colada es una herramienta de gran utilidad a la hora de realizar el vertido de muchos moldes. Su función es la de recuperar la barbotina sobrante del vertido, pero también facilita el posicionamiento horizontal de los moldes durante el escurrido. Esta mesa fue fabricada a partir de un escritorio viejo, y el sobrante del tubo de PVC que se utilizo para fabricar el vertedor.

Instrumentos e indicadores

Registro de información de las piezas cerámicas

La determinación de las variables en estudio se realizó por medio de diferentes instrumentos de medición. En cuanto al espesor de las piezas el instrumento utilizado fue el calibre electrónico. Es importante tomar en consideración el momento en el que se realizó la medición ya que la cerámica experimenta una considerable contracción por secado, por lo cual además de medir inmediatamente después del desmolde, se midió y tomó como dato final el espesor de la pieza seca.

También se midió el peso de las piezas secas por medio de una balanza electrónica de precisión. De este modo, tras hallar la correlación entre el espesor y el peso, se puede utilizar el peso como indicador para definir el espesor de las piezas, evitando los errores que puedan surgir de asociados a las variaciones de 0,5mm que pueden tener los espesores de una misma pieza. Este método además resulta aplicable incluso para aquellas piezas estropeadas por el desmolde forzado en estado húmedo.



Cálculo del espesor de la pieza a partir del peso

Dado que el volumen exterior de las piezas se mantiene constante, las variaciones del peso de éstas pueden ser tomadas como indicador para la determinación de su espesor. Lo que se hizo fue medir el espesor de la pieza de mayor peso (promediando la medida máxima y la mínima), la cual registró 5,13 mm, y se utilizó este dato como factor de referencia. Como era de esperarse, esta pieza fue resultado del tiempo de colada más largo, y se obtuvo en la primer colada, pesando 197g.

Para determinar el espesor de las demás piezas, previamente se empleo una regla de tres, en la que 197g corresponden al 100%, para saber qué porcentaje del peso máximo presenta cada pieza.

$$\begin{array}{l} 197\text{g} \text{ --- } 100\% \\ \text{Peso Pieza} \text{ --- } \text{Porcentaje de peso} \end{array}$$

$$\text{Porcentaje de peso} = \frac{\text{Peso Pieza} \times 100}{197}$$

Posteriormente, en base a ese porcentaje, se deduce el espesor de la pieza. Nuevamente se utiliza una regla de tres para esta deducción en la que 5,13 mm (espesor máximo) corresponde al 100%.

$$\begin{array}{l} 5,13 \text{ --- } 100\% \\ \text{Espesor de la Pieza} \text{ --- } \text{Porcentaje de peso} \end{array}$$

$$\text{Espesor Pieza} = \frac{\text{Porcentaje peso} \times 5,13}{100}$$

Si sustituimos el Porcentaje de peso de la primer ecuación en la segunda los factores 100 se eliminan entre sí, Resultando:

$$\text{Espesor de la Pieza} = \frac{\text{Peso Pieza} \times 5,13}{197}$$

Genéricamente sería:

$$\text{Espesor Pieza} = \frac{\text{Peso Pieza} \times \text{Espesor Pieza más Pesada}}{\text{Peso Pieza más Pesada}}$$

Se verificó mediante la medición con calibre electrónico que el margen de error de este cálculo en ningún caso supera los 0,2 mm. Se exploró la posibilidad de variar levemente el factor 5,13 sin embargo el margen de error no fue menor, sino que se observó un aumento de éste.

Instrumentos e indicadores

Registro de información de los moldes de yeso

En lo que respecta a la determinación del porcentaje de humedad se emplearon dos métodos conjuntamente. En primer lugar, se registró el peso del molde antes y después de cada colada. A partir de este peso se dedujo el porcentaje de humedad del molde.

En segundo lugar, simplemente para verificar y complementar la información, se utilizó un instrumento digital de medición de humedad, específicamente el modelo Em4806, y el modelo ST8040.

Cálculo del porcentaje de humedad de los moldes

El porcentaje de humedad de los moldes se determinó a partir de la relación existente entre el peso de agua que contiene el molde que se quiere medir y el peso total de dicho molde en estado completamente mojado. De este modo la ecuación que se plantea es la siguiente:

$$H = \frac{PA}{PMM} \times 100$$

Donde:

"H" es el porcentaje de humedad del molde

"PA" es el peso de agua del molde

"PMM" es el peso del molde mojado

Ya que el peso del molde mojado es un valor conocido, sólo hace falta calcular el peso de agua del molde restando el peso de yeso al peso total del molde. Resultando la ecuación de la siguiente manera:

$$H = \frac{(PM - PS)}{PMM} \times 100$$

Donde:

"PA" es el peso de agua del molde

"H" es el porcentaje de humedad del molde

"PM" es el peso del molde

"PS" es el peso seco del molde (peso de yeso)

"PMM" es el peso del molde mojado

Dado que inicialmente se desconoció la cantidad de yeso que contiene cada molde (debido a que no se pesaron individualmente sino que se elaboró una misma mezcla para todos), el peso seco de los moldes se calculó a partir de la proporción de yeso de la mezcla (PY), aplicando la siguiente ecuación:

$$PS = \frac{PMM \times PY}{100}$$

Sustituyendo esta definición de peso seco en la anterior ecuación resulta:

$$H = \frac{(PM - (PMM \times PY / 100)) \times 100}{PMM}$$

Dado que se empleó un 55% de yeso en la preparación del yeso la ecuación que se aplicó finalmente para determinar la humedad resultó:

$$H = \frac{(PM - (PMM \times 0.55)) \times 100}{PMM}$$



El empleo de los instrumentos verifica una coherencia de los resultados:

Peso molde mojado	Peso molde	Ecuación del porcentaje de humedad del molde	Resultado del cálculo	Verificación del instrumento
3030	2086	$\frac{((2086 - (3030 \times 0,55)) \times 100)}{3030}$	13,8%	Medida : 14, 6 %
3030	2000	$\frac{((2000 - (3030 \times 0,55)) \times 100)}{3030}$	11%	Medida : 11,8 %
2990	2400	$\frac{((2400 - (2990 \times 0,55)) \times 100)}{2990}$	25,2%	Medida : 25 %
2990	2078	$\frac{((2078 - (2990 \times 0,55)) \times 100)}{2990}$	14,5%	Medida : 14,6 %

Método de trabajo

Secuencia de trabajo

- Colocar el vertedor
- Mezclar barbotina
- Tamizar 6 litros
- Vertir en el vertedor
- Vertir en la jarra
- Colocar el balde para recuperar material
- Sacar el molde de los aislantes
- x 6 ○ Desmoldar
- Pesar la pieza y almacenarla
- Pesar el molde
- Medir humedad
- Colocar los moldes en posición
- Vertir y comenzar el cronometrado del tiempo
- agregar barbotina con la jarra
- Retirar vertedor / recuperar material
- Vertir molde 1
- Vertir molde 2
- Vertir molde 3
- Retirar exedente y aislar molde 1
- Vertir molde 4
- Retirar exedente y aislar molde 2
- Vertir molde 5
- Retirar exedente y aislar molde 3
- Vertir molde 6
- Retirar exedente y aislar molde 4
- Retirar exedente y aislar molde 5
- Retirar exedente y aislar molde 6
- Vertir la barbotina del balde y la jarra en la tarrina

Se realizaron 3 repeticiones por día de la secuencia de trabajo, cada 8 horas aproximadamente, totalizando 24 coladas.

La secuencia de trabajo fue pensada para realizar las coladas de los moldes minimizando el tiempo de exposición a la temperatura y humedad ambiente. El tiempo aproximado de toda la secuencia fue de 2 horas aproximadamente (fue mayor en las últimas coladas por la dificultad del desmolde de piezas húmedas) sin incluir la extracción de la boca de colada que se realizó con la pieza en dureza de cuero.

Esta minimización de la exposición al ambiente es la que explica la discontinuidad del proceso. Los preparativos para realizar la colada se realizaron antes de sacar a los moldes de las conservadoras donde están aislados.

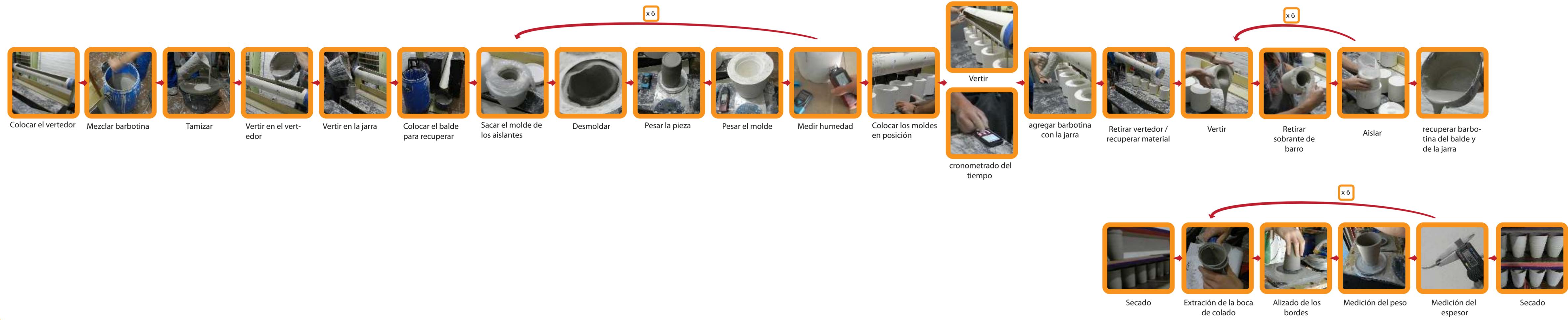
A su vez la barbotina recuperada del vertido y del sobrante que queda en el vertedor se devolvió a la tarrina lo antes posible, de modo que ésta no se deshidrate, ni genere grumos o cambios de densidad.

En cuanto al registro de las piezas, este exigió un control de la humedad de las piezas para determinar cuando resultaría conveniente retirar la boca de colada. Por último, el peso final de las piezas se midió en una sola instancia, cuando todo el conjunto ya estaba totalmente seco.

Registro de datos de las piezas

- Secado controlado
- x 6 ○ Extracción de la boca de colado
- Alizado de los bordes
- Medición del peso
- Medición del espesor
- Secado
- Medición del peso

Secuencia de trabajo



Tamizado y disposición



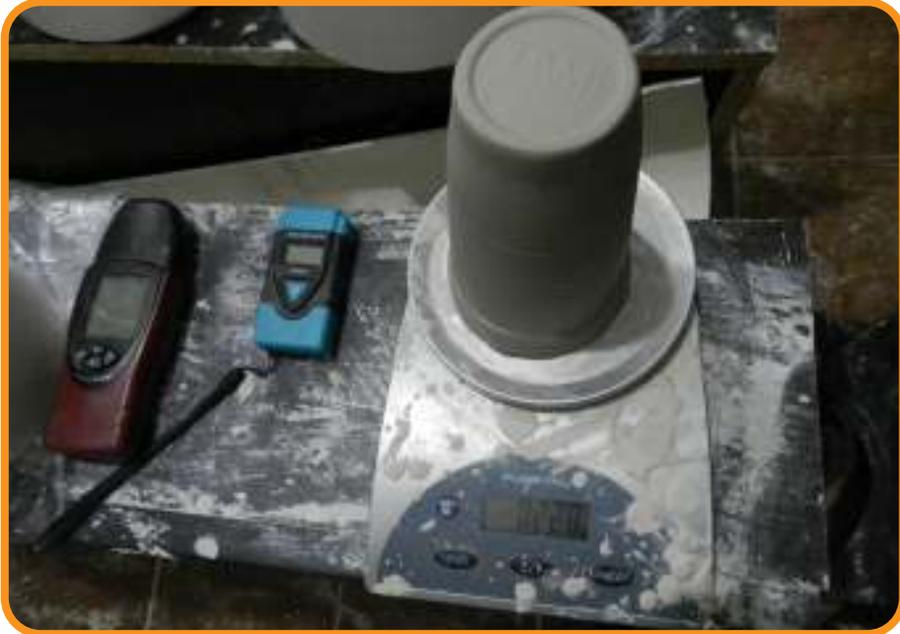
Colado y control de tiempo



Vertido y aslación



Desmolde y registro



Recorte y registro



Desmolde forzado



Secado y almacenado



Capítulo 4

Resultados obtenidos

Observaciones de la experiencia

Desarrollo del experimento

En el desarrollo de la experimentación se realizaron 24 coladas de los 6 moldes, obteniendo un total de 144 piezas. En su elaboración se preparó 40 kg de materiales secos, y 17 litros de agua. De la barbotina preparada se obtuvo un sobrante de 3kg, y se recuperaron 9 kg de material seco.

El colado los 6 moldes se realizó en un mismo momento, mientras que el vertido de cada uno de ellos se realizó en momentos diferentes. Específicamente al cabo de 10, 15, 20, 25, 30 y 35 minutos para los moldes 1, 2, 3, 4, 5 y 6 respectivamente. El tiempo entre una colada y la siguiente fue de 8 hs.



Aspectos operativos

Cuando el porcentaje de humedad de los moldes alcanza el 18%, se empiezan a presentar ciertas dificultades para el desmolde. Si el molde se emplea con una humedad del 20%, la pieza no alcanza la dureza necesaria para ser desmoldada luego de ser colada, sin sufrir deformaciones. Sin embargo en una situación de producción normal, la humedad que el molde no es capaz de absorber, podría dispersarse en el ambiente, permitiendo el desmolde después de haber transcurrido un cierto tiempo. Por lo que el rango de humedad de entre 20% y 25% puede considerarse trabajable, si bien no es el óptimo. En cambio, los moldes empleados con una humedad mayor al 25% se consideraron inútiles para la producción, ya que el desmolde de la pieza en buenas condiciones implicaría un excesivo tiempo de secado.

Mediciones Registradas



A partir de las mediciones registradas, se realizó un cuadro de mediciones "cuadro 1" (p.66) en el que cada peso de la pieza (en estado seco) se corresponde al peso del molde utilizado para fabricarla (antes de realizar la colada). A partir de éste, se elaboró un segundo cuadro "cuadro 2" (p.67), en el que los valores se encuentran procesados como espesores y porcentajes de humedad, según los cálculos indicados en la metodología, capítulo 3, páginas 53 y 54.

Mediciones registradas

Peso del molde

Peso de la pieza

Colada	Peso del molde						Peso de la pieza					
	Molde 1 (10 min)	Molde 2 (15 min)	Molde 3 (20 min)	Molde 4 (25 min)	Molde 5 (30 min)	Molde 6 (35 min)	Molde 1 (10 min)	Molde 2 (15 min)	Molde 3 (20 min)	Molde 4 (25 min)	Molde 5 (30 min)	Molde 6 (35 min)
1	2049	2015	1975	2026	1998	2018	115	130	144	159	179	197
2	2080	2048	2013	2063	2039	2064	114	137	148	166	180	194
3	2107	2080	2048	2103	2082	2111	114	134	147	162	176	191
4	2134	2111	2083	2140	2122	2155	114	132	147	159	175	187
5	2162	2143	2119	2178	2163	2199	110	126	141	154	169	181
6	2187	2172	2150	2211	2201	2240	109	124	138	151	167	176
7	2213	2201	2184	2245	2239	2280	107	123	135	148	163	174
8	2237	2229	2215	2278	2275	2320	106	120	134	146	157	170
9	2254	2251	2239	2303	2303	2350	104	118	132	145	156	167
10	2272	2272	2263	2328	2332	2381	103	116	130	141	152	164
11	2290	2292	2286	2352	2359	2410	101	114	130	138	151	159
12	2313	2315	2313	2378	2390	2443	101	111	127	134	146	158
13	2333	2335	2337	2402	2416	2469	101	106	122	127	137	150
14	2352	2356	2362	2427	2445	2499	102	106	125	125	139	146
15	2372	2375	2386	2449	2474	2534	99	101	121	120	132	139
16	2391	2393	2412	2470	2498	2560	96	95	114	109	124	128
17	2407	2407	2433	2490	2519	2580	94	91	110	109	117	122
18	2423	2420	2449	2503	2535	2597	90	90	106	105	113	117
19	2440	2438	2468	2518	2553	2616	88	86	102	104	110	113
20	2456	2450	2486	2535	2571	2635	86	86	100	104	110	112
21	2470	2462	2500	2551	2589	2652	83	85	97	99	105	109
22	2480	2472	2515	2564	2603	2665	82	85	96	101	107	110
23	2494	2487	2531	2580	2619	2682	81	85	95	101	106	109
24	2508	2502	2547	2598	2639	2702	80	86	95	101	105	109

Cuadro 1

Unidad: gramos

Indicadores calculados

Nota: Este cuadro se obtuvo a partir del cuadro de mediciones registradas "Cuadro 1", empleando los calulos especificados en las paginas 53 y 54 del capitulo 3 "Metodología Aplicada"

Porcentaje de humedad del molde

Espesor de la pared de la pieza

Colada	Porcentaje de humedad del molde						Espesor de la pared de la pieza					
	Molde 1 (10 min)	Molde 2 (15 min)	Molde 3 (20 min)	Molde 4 (25 min)	Molde 5 (30 min)	Molde 6 (35 min)	Molde 1 (10 min)	Molde 2 (15 min)	Molde 3 (20 min)	Molde 4 (25 min)	Molde 5 (30 min)	Molde 6 (35 min)
1	12,6	11,5	10,2	11,8	10,9	11,6	2,99	3,39	3,75	4,14	4,66	5,13
2	13,6	12,6	11,4	13,0	12,2	13,1	2,97	3,57	3,85	4,32	4,69	5,05
3	14,5	13,7	12,6	14,4	13,7	14,7	2,97	3,49	3,83	4,22	4,58	4,97
4	15,4	14,7	13,7	15,6	15,0	16,1	2,97	3,44	3,83	4,14	4,56	4,87
5	16,3	15,7	14,9	16,8	16,3	17,6	2,86	3,28	3,67	4,01	4,40	4,71
6	17,1	16,7	16,0	17,9	17,6	18,9	2,84	3,23	3,59	3,93	4,35	4,58
7	18,0	17,7	17,1	19,0	18,8	20,2	2,79	3,20	3,52	3,85	4,24	4,53
8	18,8	18,6	18,1	20,1	20,0	21,6	2,76	3,12	3,49	3,80	4,09	4,43
9	19,3	19,3	18,9	21,0	21,0	22,6	2,71	3,07	3,44	3,78	4,06	4,35
10	19,9	20,0	19,7	21,8	21,9	23,6	2,68	3,02	3,39	3,67	3,96	4,27
11	20,5	20,7	20,4	22,6	22,8	24,5	2,63	2,97	3,39	3,59	3,93	4,14
12	21,3	21,4	21,3	23,4	23,8	25,6	2,63	2,89	3,31	3,49	3,80	4,11
13	21,9	22,1	22,1	24,2	24,7	26,5	2,63	2,76	3,18	3,31	3,57	3,91
14	22,5	22,8	23,0	25,0	25,6	27,5	2,66	2,76	3,26	3,26	3,62	3,80
15	23,2	23,4	23,7	25,8	26,6	28,6	2,58	2,63	3,15	3,12	3,44	3,62
16	23,8	24,0	24,6	26,5	27,4	29,5	2,50	2,47	2,97	2,84	3,23	3,33
17	24,4	24,5	25,3	27,1	28,1	30,1	2,45	2,37	2,86	2,84	3,05	3,18
18	24,9	24,9	25,8	27,6	28,6	30,7	2,34	2,34	2,76	2,73	2,94	3,05
19	25,4	25,5	26,5	28,0	29,2	31,3	2,29	2,24	2,66	2,71	2,86	2,94
20	26,0	25,9	27,0	28,6	29,8	32,0	2,24	2,24	2,60	2,71	2,86	2,92
21	26,4	26,3	27,5	29,1	30,4	32,5	2,16	2,21	2,53	2,58	2,73	2,84
22	26,8	26,6	28,0	29,6	30,9	33,0	2,14	2,21	2,50	2,63	2,79	2,86
23	27,2	27,1	28,5	30,1	31,4	33,5	2,11	2,21	2,47	2,63	2,76	2,84
24	27,7	27,6	29,1	30,7	32,0	34,2	2,08	2,24	2,47	2,63	2,73	2,84
	28,1	28,0	29,6	31,2	32,5	34,7						

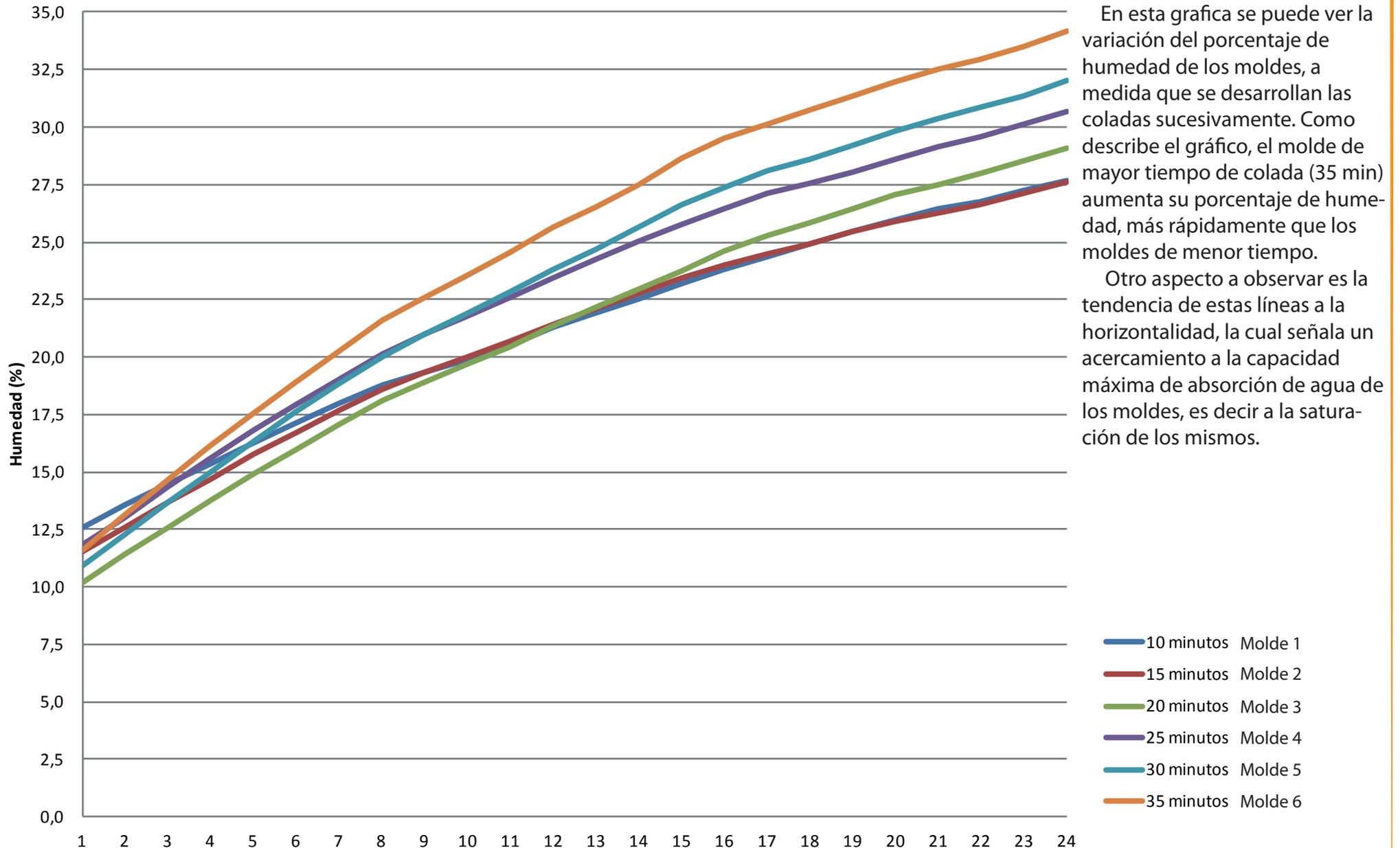
Cuadro 2

Unidad: %

Unidad: mm

Comportamiento de los moldes

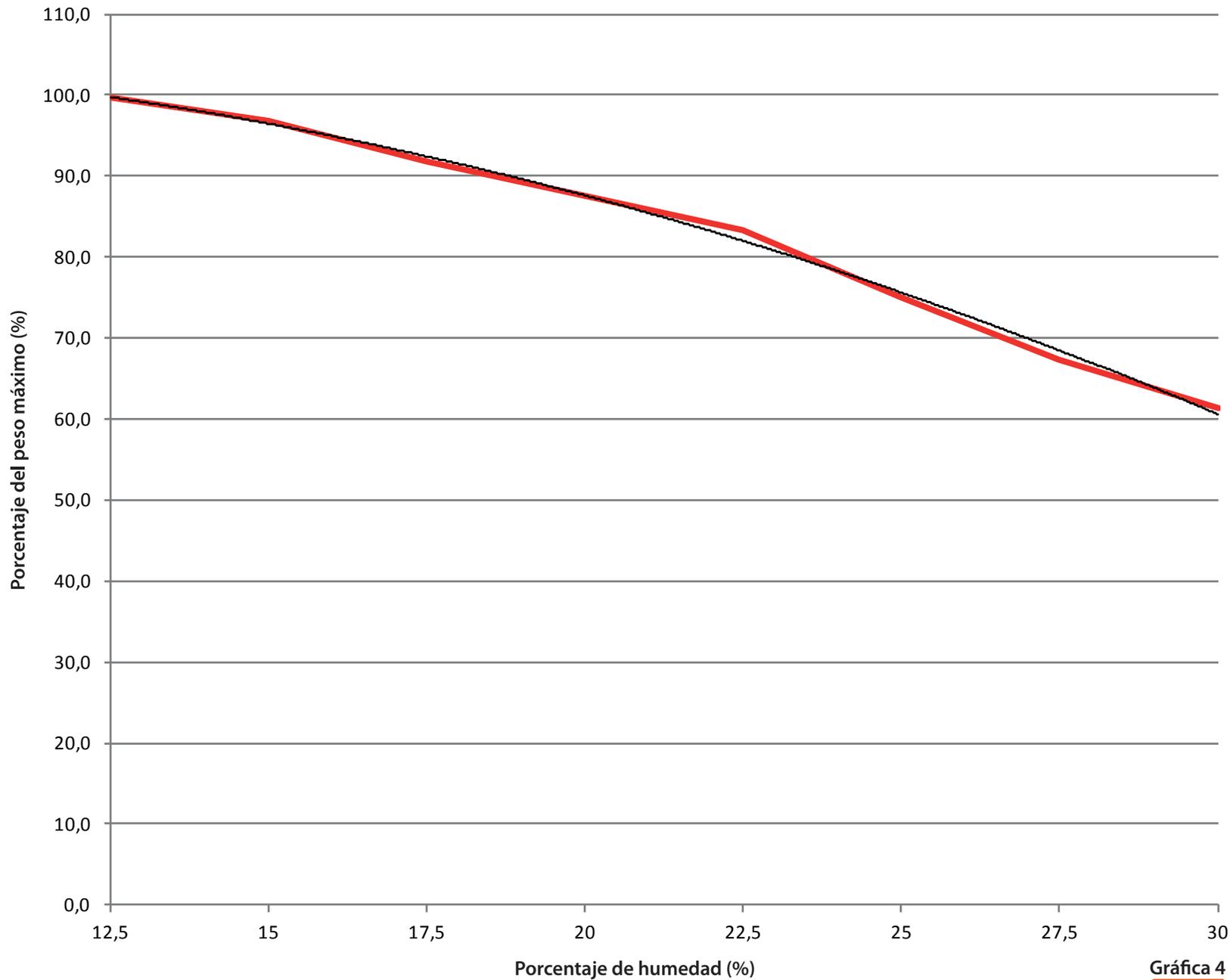
Aumento del porcentaje de humedad



Coladas: (Unidades) **Gráfica 3**

Comportamiento de las piezas

Reducción promedio del peso de las piezas



Interpretación de resultados

Desarrollo del Análisis

A partir de los resultados de la experimentación, se pudieron realizar gráficos que describen el comportamiento de la humedad de los moldes, y de los espesores de las piezas, en el transcurso de una serie de coladas. Se puede verificar en los gráficos que existe una relación de interdependencia entre las tres variables estudiadas, la humedad del molde, el espesor de la pieza, y el tiempo de colada.

Tras procesar los valores del cuadro 2 por medio de un software de estadística, específicamente el Stata, se obtuvo un modelo de regresión que permite vincular las tres variables del estudio en una misma ecuación. Dicha ecuación se desprende del análisis del rango de humedades que se consideró apto para la producción, del 10 al 25%. Los coeficientes que arrojó el modelo son los siguientes:

$$(E) = 0.0765048(T) - 0.0789905(H) + 3.403881$$

Donde:

"E" es el espesor de la pieza cruda en estado seco (mm)

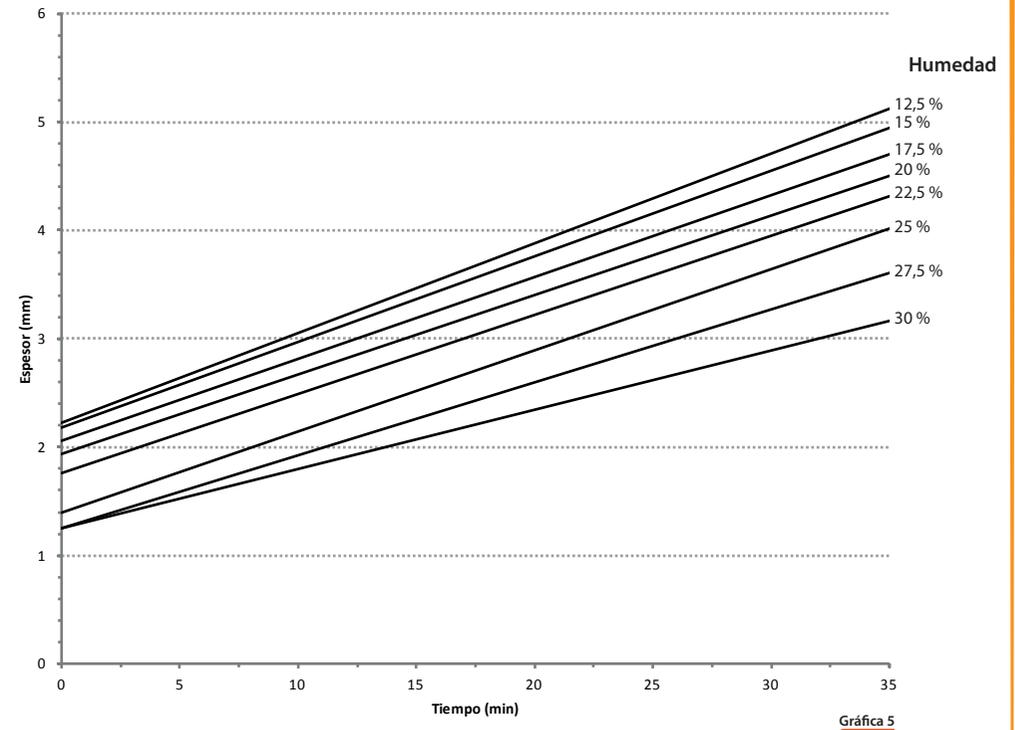
"T" es el tiempo de colada (min)

"H" es el porcentaje de humedad del molde utilizado (%)

Dado que en la práctica, la humedad del molde será un factor variable y que el espesor deseado para la pieza podría ser un valor específico, la variable de ajuste que el operario dispone para lograr el espesor deseado es el tiempo. Por esta razón se despejó el Tiempo de la ecuación obtenida del software estadístico resultando la siguiente ecuación simplificada para el uso en producción:

$$T = 13(E) + H - 44.5$$

Relación tiempo/espesor por grado de humedad



Gráfica 5

En la gráfica 5 se puede observar como la relación entre el tiempo de colada y los espesor obtenido de la pieza, varía según el porcentaje de humedad del molde empleado.

En anexo se encuentra adjuntado el análisis estadístico obtenido por medio del software, con el modelo de regresión ajustado al intervalo de humedad productivo de los moldes (de 10 a 25%).

Capítulo 5

Aplicación del método

Manual de producción

El siguiente manual es el resultado de la extensa investigación de esta tesis, y lo que busca es facilitar la aplicación de este nuevo conocimiento a la producción de piezas cerámicas.

El mismo consiste en un instructivo para la producción de piezas cerámicas por colada y vertido el cual permite obtener piezas de un espesor específico con un margen de error menor a 0.5 mm, si se aplica bajo las condiciones establecidas. Dichas condiciones se vinculan a los materiales y proporciones empleadas para la barbotina y los moldes, los cuales se encuentran detallados tanto en el manual (pag 4) como en la tesis (pag 44 y 46).

Este manual propone un método de producción que se diferencia del modo tradicional de realizar la colada y el vertido en un aspecto fundamental: El cálculo del tiempo de colada. En el método que propone este manual, este cálculo se realiza en base al espesor que se desea obtener en la pieza, y de las condiciones de humedad del molde que se va a utilizar. Mientras que en el modo tradicional, el tiempo de colada se establece a partir de la observación y/o la experiencia previa del ceramista, lo cual da lugar a un margen de error que es desconocido.

Es por ello, que este nuevo método de producción, ofrece ventajas frente al tradicional, ya que nos brinda una mayor precisión en el espesor de las piezas de colada, lo cual significa una mejor calidad de los productos seriados que se fabrican artesanalmente. Por otro lado, también brinda una mayor facilidad en la operativa del artesano, ya que éste puede despreocuparse del molde mientras realiza otras tareas, simplemente manteniendo un control del tiempo, lo cual permite un mejor aprovechamiento del tiempo y de la fuerza de trabajo del artesano.

Dado que puede resultar engorroso y poco práctico estar realizando cálculos durante la tarea de la colada y el vertido, el manual propone un cuadro, en el cual, suponiendo que cada molde se utilizará para obtener siempre un mismo espesor, permite saber cuál es el tiempo óptimo para obtenerlo, simplemente pesando el molde y siguiendo una grilla. Este cuadro, denominado "Cuadro de información de molde" deberá ser completado por el usuario del manual, realizando todos los cálculos en una instancia previa a la producción, a fin de agilizar la tarea de la colada.

Por último, para poder evaluar los resultados de una serie de coladas, el manual incluye un segundo cuadro, denominado "Cuadro de seguimiento de coladas" el cual permite registrar todos los datos de las piezas obtenidas y las condiciones en las que se realizó cada colada. Con esta información el artesano puede corregir los tiempos de colada y así mejorar la calidad de su producción.



**Manual de producción de piezas cerámicas
de espesor específico por colada y vertido.**

Valentín Carrasco - Escuela Universitaria Centro de Diseño - UDELAR - 01/09/17

Margen de error y tolerancia

Margen de error de la experimentación

El modelo de regresión ajustado a partir de los datos de la experimentación, indica que el error en la estimación del espesor de las piezas fue de 0,2 mm. De lo cual cabe destacar que el modelo se ajusta con gran precisión a los resultados de la experimentación.

Este margen de error que arrojó el modelo, aplica únicamente para las condiciones establecidas en la investigación. Por lo que refiere a la estimación de espesores de entre 3 y 6 mm, en el uso de moldes con un porcentaje de humedad de entre 10 y 25 %, además de las condiciones especificadas del material y los moldes detalladas en pagina 42 y 44 del capítulo 3 Metodología.

Tolerancia respecto a la evaluación de resultados

Dado que en la tarea de producción mediante colada y vertido existen diversos factores propensos a experimentar variaciones con el transcurrir del tiempo, como lo pueden ser las variaciones en las partidas de materia prima, o las variaciones de fluidez o porcentaje de agua en las barbotinas de colado, se sugiere un rango de tolerancia mayor al arrojado por el modelo, de más menos 0.5 mm respecto del espesor deseado.

Si bien este rango es algo mayor al margen de error arrojado por el modelo, en la práctica resulta un margen adecuado para su consideración en el diseño de piezas de un espesor específico. Al menos es un valor a considerar frente al margen desconocido que implica la técnica artesanal.

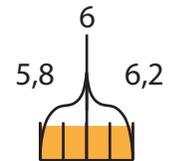
Cabe destacar que si se requiere de extrema precisión en el espesor de la pieza, siempre existe la posibilidad de desarrollar un modelo que se ajuste caso a caso a las condiciones del molde y los materiales empleados, para así obtener un margen de error lo más reducido y ajustado a las condiciones de una producción en particular.

Ecuación generada por el modelo:

$$T = 13,071(E) + 1,0325(H) - 44,5$$

Margen de error arrojado por el modelo:

Espesor calculado a partir de la ecuación del modelo.

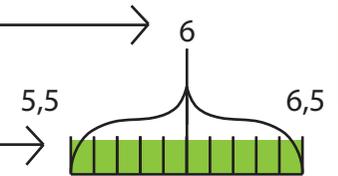


Intervalo donde osciló el promedio de los espesores de la experimentación.

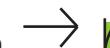


Tolerancia sugerida para la producción:

Espesor deseado, calculado a partir de la ecuación del modelo.



Intervalo donde osilará el promedio de los espesores de la pieza fabricada



Experimentación testigo variando volumen

Descripción de la experimentación

La siguiente fue una experimentación testigo de la aplicación del método de producción propuesto por esta tesis, para la obtención de piezas de un mayor volumen que el de las piezas realizadas en la anterior investigación.

En este caso se propuso realizar una bacha de baño. Dado que se trata de un gran volumen, la pieza requiere de un espesor algo mayor al de la investigación para mantener cierta resistencia. Sin embargo se procuró no alejarse en demasía del espesor máximo de la investigación que fue 6mm, ya que lo que se buscó estudiar fue lo que ocurre con la variación del volumen de la pieza, no con el aumento del espesor.

El desafío de esta experimentación fue obtener dos piezas de un mismo espesor (8mm), utilizando el mismo molde en diferentes grados de humedad (12,5 % y 20%) , utilizando el tiempo de colada, calculado a partir de la ecuación del método, para obtener el espesor deseado.

La metodología que se aplicó fue la sugerida por el manual de producción propuesto por esta tesis. La única diferencia respecto a una situación de producción normal fue que la humedad del molde se controló añadiendo agua al molde entre colada y colada. Dicha metodología se encuentra detallada a continuación (p.75).



Características del molde fabricado

- Molde simple de un solo tassel
- Se empleó un 55% yeso y 45% de agua en la preparación del yeso.
- Yeso empleado: Betalfa
- Peso del molde mojado: 31.3 kg



Metodología aplicada



Mezclar barbotina



Colada



Reposo de la barbotina el tiempo calculado



Vertido



Secado (24 hs)



Extraer boca de colada



Desmoldar



Pesar molde



Agregar agua



Aislar del ambiente (24hs)



Quitar aislante

Secuencia de trabajo

- Mezclar barbotina
- Colada
- Resodo de la barbotina el tiempo calculado
- Vertido
- Secado (24 hs)
- Extraer boca de colada
- Desmoldar
- Pesar molde
- Agregar agua
- Aislar del ambiente (24 hs)

Cálculos realizados para la experimentación

Como indica el método de producción propuesto por esta tesis, el primer paso consistió en completar toda la información fija de la fila superior del cuadro de información del molde. Es así que éste se completó con los datos, peso del molde mojado "PMM", el porcentaje de yeso "PY", y el peso seco del molde el cual se calculó empleando la fórmula indicada en la página 9 del manual, "Cálculo del peso seco de un molde":

$$PS = \frac{PMM \times PY}{100}$$

$$PS = \frac{31,3 \times 55}{100}$$

$$PS = 17,215 \text{ kg}$$

Una vez que disponemos de la información fija del molde, se procede a definir el espesor de la pieza que queremos fabricar, y las condiciones de humedad en las que se utilizará el molde, para así calcular el tiempo de colada con la ecuación según plantea el manual en su página 5:

$$T = 13(E) + H - 44.5$$

Donde:

"T" es el tiempo de colada (min)

"E" es el espesor de la pieza cruda en estado seco (mm)

"H" es el porcentaje de humedad del molde utilizado (%)

Debe tenerse en cuenta que el espesor "E" que menciona la ecuación refiere al espesor de la pieza en estado crudo y seco. Por lo tanto para obtener el espesor deseado para el producto final, deberá contemplarse la reducción por horneado, la cual varía dependiendo de la temperatura de cocción.

Considerando que el producto es una pieza de gres de alta temperatura (1180 C), su reducción por horneado es de un 7% como se indicó en la página 42, "Variables de la barbotina". Dado que el espesor final que se desea para la bacha de baño es de 7,5 mm, el cálculo realizado para definir la variable "E" resulta de la siguiente forma:

$$E \times 0,93 = 7,5$$

$$E = \frac{7,5}{0,93}$$

$$E = 8 \text{ mm}$$

Posteriormente se definieron los grados de humedad en los que se testaría el método de producción. En este caso se definieron los porcentajes 12,5%, 20%, para representar el molde seco, y húmedo (como podría estarlo en situación de uso). Dado que estos niveles de humedad se controlaron añadiendo agua directamente sobre el molde, es necesario saber cuál es el peso del molde que corresponde a dichos porcentajes de humedad. Para saberlo se utilizó la fórmula planteada en la página 14 del manual de producción, sustituyendo "H" por los porcentajes establecidos 12,5% y 20%:

$$PM = \frac{PMM \times H + PS}{100}$$

$$PM = \frac{31,3 \times 12,5 + 17,215}{100}$$

$$PM = 21,128 \text{ kg}$$

""

$$PM = \frac{31,3 \times 20 + 17,215}{100}$$

$$PM = 23,475 \text{ kg}$$

Con conocimiento del espesor deseado, y las condiciones de humedad del molde a utilizar se procede a calcular el tiempo de colada, y con ello se completa el cuadro de información del molde:

$$T = 13(E) + H - 44.5$$

$$T = 13(8) + 12,5 - 44.5$$

$$T = 72 \text{ min}$$

""

$$T = 13(8) + 20 - 44.5$$

$$T = 80 \text{ min}$$

Cuadro de información del molde

Molde: <i>Bacha de baño</i>		Peso molde mojado "PMM": 31,3 kg	
Porcentaje de yeso "PY": 55%		Peso seco "PS": 17,215 kg	
Peso molde "PM" (g)	Porcentaje de humedad "H" (%)	Espesor deseado "E" (mm)	Tiempo de colada "T" (min)
21,128	12,5	8	72
23,475	20	8	80

Resultados y conclusiones de la experimentación testigo

Resultados

Como se puede observar en el cuadro de seguimiento de coladas, el resultado del espesor obtenido en las piezas es muy próximo al espesor deseado, e incluso se encuentra dentro del margen de error de 0.2 mm que arroja el modelo de regresión.

Espesores medidos

N° colada	Espesor máximo	Espesor mínimo (mm)	Espesor promedio (mm)
3	8,32	7,5	7,91
4	8,76	7,28	8,02

Las coladas fueron numeradas, comenzando desde la tercer colada, ya que las primeras dos fueron descartadas con el fin de limpiar el molde de los restos de desmoldantes, para poder así testar el molde en sus condiciones normales de producción.

Cuadro de seguimiento de coladas

Molde: <i>Bacha de baño</i>		PMM (kg): 31,3	PY (%): 55%	PS (kg): 17,215					
N° colada	Peso molde "PM" (kg)	Porcentaje de humedad "H" (%)	Tiempo de calculado "T" (min)	Tiempo real transcurrido (min)	Espesor deseado "E" (mm)	Espesor seco obtenido	Error (mm)	peso de la pieza seca (kg)	
3	21,1	12,5	72	72	8	7,91	0,09	3,062	
4	23,5	20	80	80	8	8,02	0,02	2,974	

Observaciones de la experiencia

Como observación de aspectos que han cambiado respecto de la investigación con las piezas de menor volumen, se puede señalar que la variación de espesor en una misma pieza aumentó notoriamente al aumentar el volumen de la misma. Es decir que a mayor volumen, mayor podrá ser la variación de sus espesores.

Sin embargo esto no representa dificultad alguna en la predicción del espesor promedio de las piezas, el cual como muestra la experiencia, fue más que satisfactorio.

Conclusiones

La modificación de la variable volumen de la pieza no tiene incidencia en la predicción del espesor promedio de la misma. Con lo cual, el método de producción propuesto por esta tesis es aplicable a piezas de diferentes volúmenes.



Experimentación testigo variando espesor

Descripción

El propósito de esta segunda experimentación fue testar el desempeño del método de producción propuesto por esta tesis, en la búsqueda de espesores mayores a los de la investigación inicial.

Por este motivo se utilizó el mismo molde y se aplicó la misma metodología pero en este caso para obtener una pieza de un espesor mayor.

Calculos realizados para la experimentación

Dado que el molde utilizado fue el mismo los datos fijos de la fila superior se mantienen.

En este caso se planteó explorar los porcentajes de humedad de 10, 15, 20 y 25% por lo que el peso del molde para representar dichos porcentajes se calculó de la siguiente manera:

$$PM = \frac{PMM \times H + PS}{100}$$

$$PM = \frac{31,3 \times 10 + 17,215}{100}$$

$$PM = 20,345 \text{ kg}$$

""

$$PM = \frac{31,3 \times 15 + 17,215}{100}$$

$$PM = 21,910 \text{ kg}$$

""

$$PM = \frac{31,3 \times 20 + 17,215}{100}$$

$$PM = 23,475 \text{ kg}$$

""

$$PM = \frac{31,3 \times 25 + 17,215}{100}$$

$$PM = 25,040 \text{ kg}$$

En cuanto al cálculo del espesor deseado se partió de la base de que la pieza a obtener deberá medir 10 mm de espesor al salir del horno. Considerando que la temperatura de cocción establecida fue de 1180°C, y la contracción registrada para esta barbotina a esa temperatura fue de 7% se realizó el siguiente cálculo:

$$Ex 0,93 = 10$$

$$E = \frac{10}{0,93}$$

$$E = 10,75 \text{ mm}$$

A partir del espesor deseado y los porcentajes de humedad a testar se procedió a calcular los tiempos de colada de la siguiente manera:

$$T = 13(E) + H - 44.5$$

$$T = 13(10,75) + 10 - 44.5$$

$$T = 72 \text{ min}$$

""

$$T = 13(10,75) + 15 - 44.5$$

$$T = 80 \text{ min}$$

""

$$T = 13(10,75) + 20 - 44.5$$

$$T = 80 \text{ min}$$

""

$$T = 13(10,75) + 25 - 44.5$$

$$T = 80 \text{ min}$$

Cuadro de información del molde

Molde: <i>Bacha de baño</i>		Peso molde mojado "PMM": 31,3 kg	
Porcentaje de yeso "PY": 55%		Peso seco "PS": 17,215 kg	
Peso molde "PM" (g)	Porcentaje de humedad "H" (%)	Espesor deseado "E" (mm)	Tiempo de colada "T" (min)
20,345	10	10,75	105
21,910	15	10,75	110
23,475	20	10,75	115
25,040	25	10,75	20

Resultados

Ya desde la primer colada de esta experimentación se pudo constatar que el espesor obtenido en la pieza no coincide, ni se aproxima al espesor deseado. Por este motivo se suspendió la realización de las siguientes coladas, dado que no aportarían mayor información.

Cuadro de seguimiento de coladas

Molde: <i>Bacha de baño</i>		PMM (kg): 31,3	PY (%): 55%	PS (kg): 17,215				
N° colada	Peso molde "PM" (kg)	Porcentaje de humedad "H" (%)	Tiempo de calculado "T" (min)	Tiempo real transcurrido (min)	Espesor deseado "E" (mm)	Espesor seco obtenido	Error (mm)	peso de la pieza seca (kg)
5	20,350	10	105	105	10,75	8,12	2,63	3,075

Conclusiones

El modelo (ecuación) desarrollado en esta tesis no es aplicable a la producción de piezas de un espesor mayor al testado de 8 mm. Para aplicar el método a espesores mayores debe generarse un nuevo modelo.

Ejemplos ilustrativos del alcance del método propuesto

Situaciones para la aplicación del método

Puede que para algunos productos el espesor de la pieza no sea de mayor significancia, como puede ser el caso de una maceta sencilla, un florero, una estatuilla decorativa u otros productos en los que ni siquiera se percibe que son huecos. Por otro lado también es cierto que hasta ahora las piezas se han fabricado por el método tradicional, sin dificultad aparente.

Sin embargo, vale la pena preguntarse ¿Que complejidad han tenido las piezas realizadas por colada y vertido artesanalmente? ¿ A qué escala se han producido? ¿Qué pasaría si se aumentara la complejidad y la escala de un pedido en una producción artesanal? ¿ Sería igualmente sencilla la tarea?

Existen numerosos casos de productos en los que el espesor de las paredes de la pieza cerámica es determinante en las características funcionales y/o estéticas del producto. Para ejemplificar este amplio abanico de situaciones se clasificó el motivo por el cual se requiere controlar el espesor de las piezas en tres grupos: Encastres, encuentros con otros materiales e insumos, y necesidad de un espesor específico.

Encastres

¿Qué sucedería si le piden a un ceramista 300 tazas apilables para una cafetería?

Todo ceramista conoce lo difícil que resulta realizar un buen encastre entre piezas cerámicas. Los encastres en cerámica son frecuentes en todo tipo de contenedores, y piezas compuestas. El control de los espesores de las piezas de colada sin dudas que contribuiría a facilitar la producción de este tipo de piezas.



Encuentro con otros materiales e insumos

¿Es posible realizar un contenedor de cerámica con tapa de madera?

Existen numerosos insumos y materiales en el mercado que tienen medidas que no se pueden modificar. El control de los espesores puede hacer que las piezas cerámicas se adapten a estos, favoreciendo la producción seriada de productos compuestos por diferentes materiales, sin tener que dimensionar el interior de las piezas caso a caso.



Necesidad de un espesor específico



¿Se puede hacer una tetera de un litro, con 4 tazas de 250 ml?

En todos los casos el espesor de la pieza, tiene incidencia en el peso de la misma. En el caso de los productos de vajilla, el peso y el volumen son atributos de gran importancia para la comodidad y funcionalidad de éstos. El empleo del método de control de espesores propuesto, permitiría la mayor liviandad posible en cada pieza.

Ejemplos

A continuación se presentarán dos productos de cada categoría, a modo de ejemplificar el uso que podría darse a este método productivo.

Tales ejemplos se presentan en un formato dividido en seis áreas, que detalla de que manera contribuye este método a la obtención de cada pieza, y porque cada producto requiere de un espesor específico.

Ejemplos ilustrativos

Producto: Taza de café apilable

Importancia del espesor

En esta sencilla taza de café, el espesor de la pieza es determinante para la funcionalidad y comodidad del producto. No sólo por el hecho de que el espesor tiene una relación directa con el peso de la pieza, sino que también la capacidad de la taza se verá reducida en la medida que aumente el espesor. En una taza de tan pequeñas dimensiones, un gran espesor podría resultar en una taza pesada, incómoda, y de poco volumen interno.

A esto se debe añadir, que la característica apilable del producto también depende del espesor definido en el diseño, ya que con un espesor mayor se perdería esta funcionalidad del producto.

Proceso productivo

Esta pieza se conforma por 2 elementos: El cuerpo y el asa.

El cuerpo se obtiene por colada y vertido mediante el uso de un molde simple de un solo tacle. Luego del desmolde, se le extrae la boca de colada, y se le da un redondeado con esponja al borde de la taza.

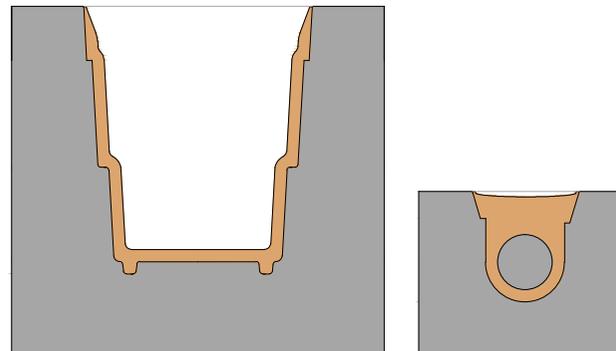
El asa de la taza se obtiene por colada en un molde de espesor obligado, conformado por dos taceles. Luego de desmoldar, se extraen la boca de colada y los excedentes en las líneas de unión del molde.

Finalmente se le da una capa de engobe con pigmento al exterior del cuerpo de la taza, el cual se usa como barbotina para la unión del asa. Luego sólo resta la primer horneada, el esmaltado, y hornear en alta temperatura.

Perspectiva



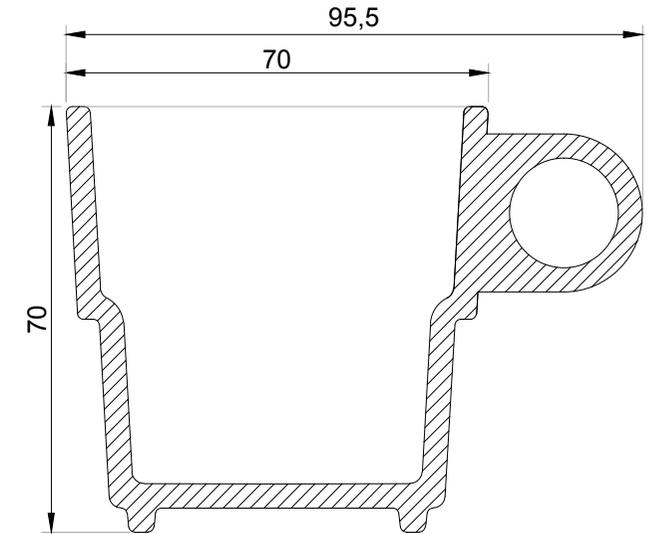
Características del Molde



Escala 1:4

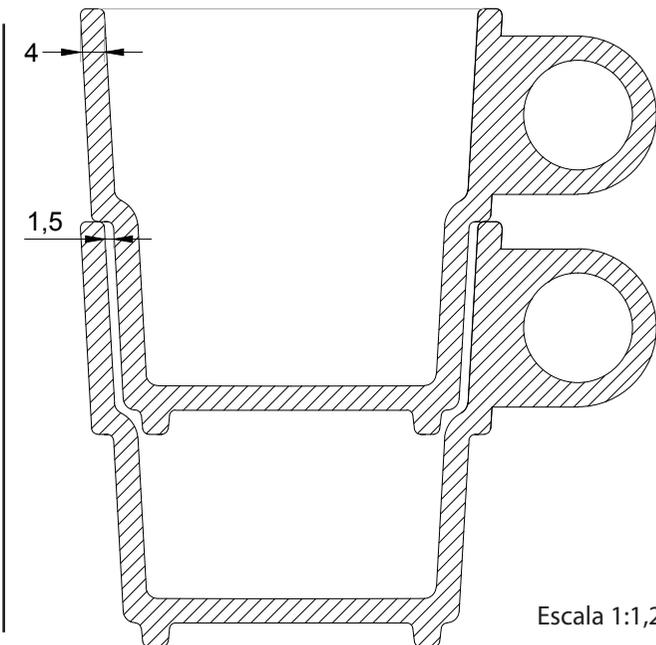
Categoría: Encastre

Corte Integral



Escala 1:1,25

Detalle



Escala 1:1,25

Ejemplos ilustrativos

Producto: Maceta con plato

Importancia del espesor

Esta maceta está diseñada para encastrar con un plato reservorio del agua excedente, de manera tal de que el plato continúe la forma de la maceta, aparentando ser parte de la misma. Este producto requiere un encastre para lograr este efecto, dejando el reservorio de agua escondido en el interior.

Dado que las dimensiones exteriores de la maceta contemplarán un cierto espesor del plato, éste deberá controlarse para lograr el encastre deseado. Si el espesor del plato es demasiado grueso la maceta no entrará en éste, y por lo contrario si es demasiado fino podría desalinearse con la figura exterior al tener demasiada libertad de movimiento.

Proceso productivo

Tanto la maceta como el plato se obtienen por colada y vertido de moldes simples de un solo tacel.

En el caso de la maceta luego del desmolde se extrae la boca de colado, y se le da una terminación redondeada al borde con una esponja. Además, se realizan los orificios de drenaje con un saca bocado, en los lugares predefinidos por el molde.

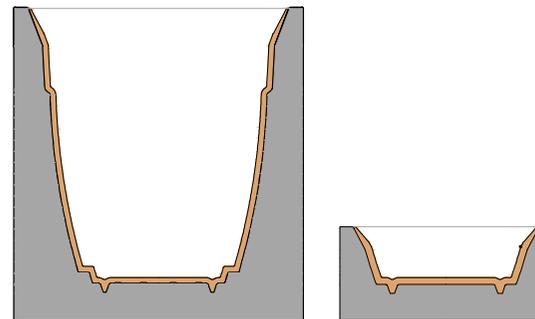
El plato contenedor del agua, luego de desmoldar y extraer la boca de colada, se desgasta el borde sobre una superficie rígida, lisa y mojada, a modo de lograr que el canto resulte perfectamente plano, para garantizar un apoyo estable de la maceta.

Finalmente se esmalta con soplete y se realiza una monococción de alta temperatura.

Perspectiva



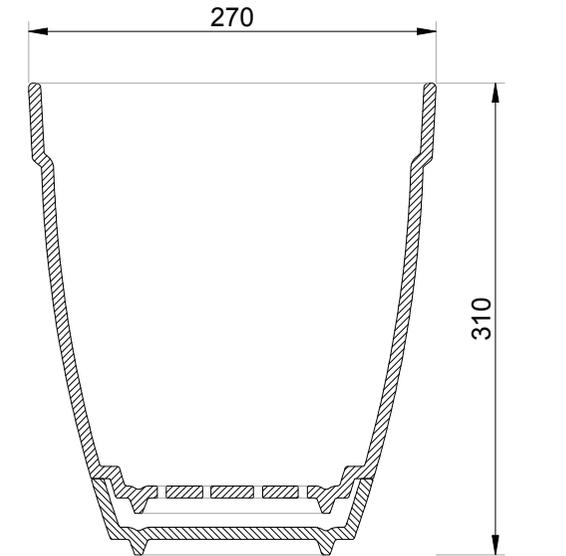
Características del Molde



Escala 1:5

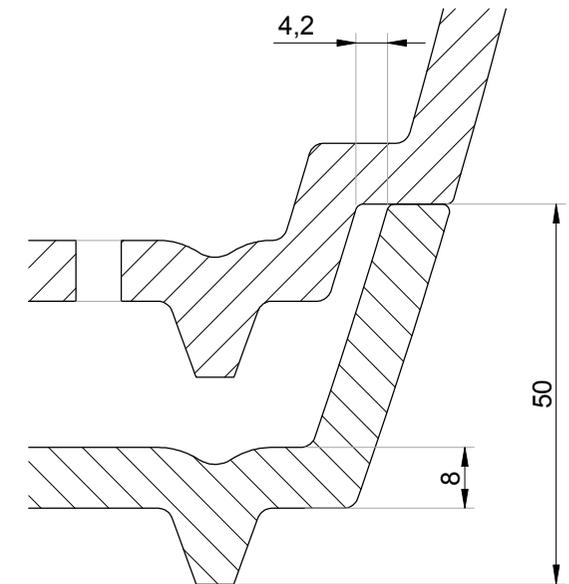
Categoría: Encastre

Corte Integral



Escala 1:5

Detalle



Escala 1:1

Ejemplos ilustrativos

Producto: Contenedor

Importancia del espesor

Este contenedor de alimentos requiere de un cierre hermético para su funcionalidad. Dado que la tapa fabricada en madera tendrá una medida constante, el espesor de esta pieza resulta determinante para el adecuado cierre de este contenedor.

Excederse en el espesor podría dificultar o impedir la colocación de la tapa mientras que un espesor demasiado fino podría generar menor hermetismo o incluso una libertad de movimiento no deseada para el producto.

Proceso productivo

La pieza cerámica de este producto se obtiene a partir de un molde simple de un solo tacel, realizando el proceso de colada y vertido.

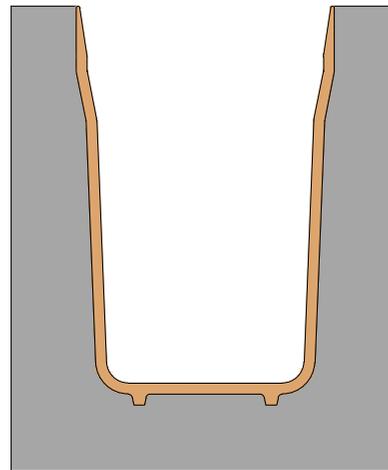
Una vez que la pieza seca lo suficiente como para ser retirada sin deformarse, se desmolda y se corta la boca de colada. Para darle una terminación pareja al borde, se hace frotar la pieza boca abajo en una superficie lisa con agua. Luego con una esponja se redondean los cantos de la pieza. Luego se deja secar la pieza completamente y se lleva a su primer horneada.

Finalmente, se realiza el esmaltado de toda de la pieza por inmersión, se retira el esmalte de la valona, y se hornea en alta temperatura.

Perspectiva



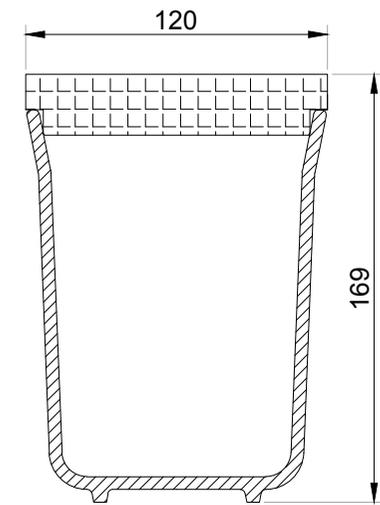
Características del Molde



Escala 1:4

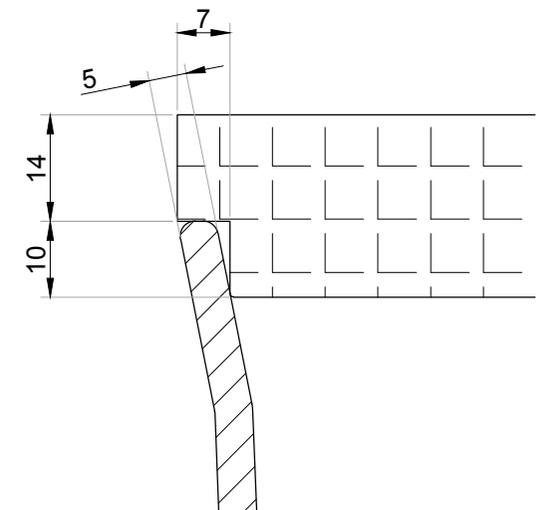
Categoría: Encuentro con otros materiales e insumos

Corte Integral



Escala 1:3

Detalle



Escala 1:1

Ejemplos ilustrativos

Producto: Lámpara de mesa

Importancia del espesor

Esta clásica luminaria de mesa se diferencia de otras tantas por la peculiaridad de que el portalámparas no requiere de una varilla roscada para su correcta ubicación en la pieza. Esto es posible gracias a que el diseño de la lámpara contempla las dimensiones del insumo dejando libre el espacio adecuado para colocarlo empleando simplemente un adhesivo como puede ser una silicona neutra. Este ahorro de insumos en el producto resulta en una gran simplicidad para su elaboración y una reducción de su costo.

Para que esto sea posible, es necesario definir un espesor de la pieza cerámica y controlarlo en su producción.

Proceso productivo

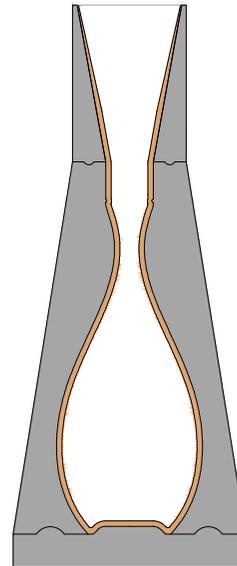
El cuerpo cerámico de esta lámpara se logra a partir de un molde de colada y vertido de 3 taceles. Uno inferior que es el primero en retirarse, y dos laterales. Un cuarto elemento de yeso se añade a modo de embudo para generar una extensión de la boca de colada. Esta se retira al pasar una tanza tensa entre el molde y la extensión de boca de colada. Una vez seco como para desmoldar, se retiran las líneas de molde y se da un esponjeado final para alisar la pieza y redondear los cantos del borde.

A partir de aquí solo resta la terminación superficial la cual puede trabajarse a partir de la aplicación de engobes, esmaltes, o ambos.

Perspectiva



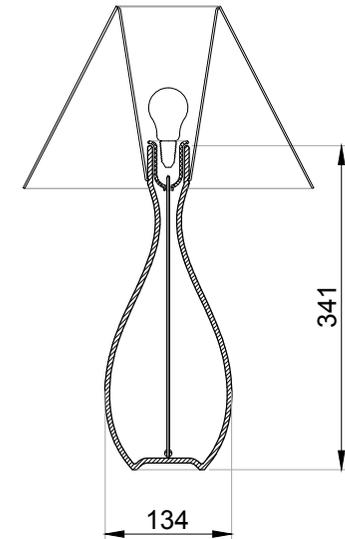
Características del Molde



Escala 1:8

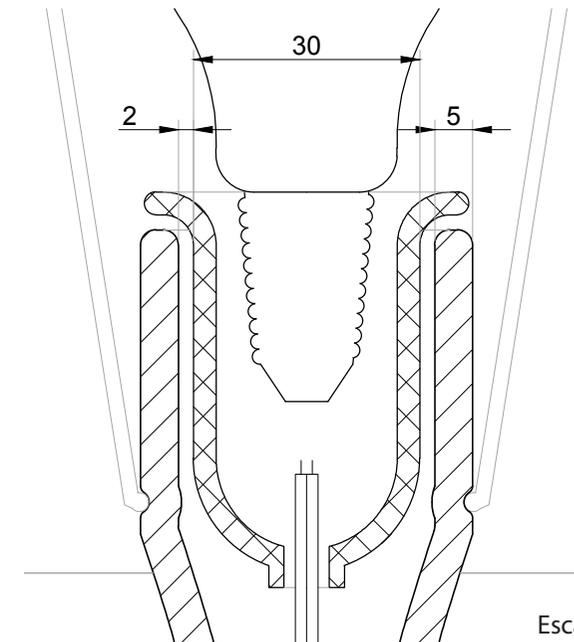
Categoría: Encuentro con otros materiales e insumos

Corte Integral



Escala 1:8

Detalle



Escala 1:1

Ejemplos ilustrativos

Producto: Tetera

Importancia del espesor

En cualquier tetera cerámica el espesor de la pieza es importante, ya que éste incide en el peso de la pieza y por lo tanto también en la comodidad a la hora de manipularla. Por otro lado, aunque sea en forma mínima, el espesor afectará también a la capacidad de la tetera.

Pero existe además un tercer motivo por el cual es de interés controlar el espesor de la pieza, y es que la zona estrecha del pico de la tetera podría obstruirse si las paredes se engrosan demasiado, o bien resultar con una insuficiente circulación del líquido que contiene. En cuyo caso requeriría de una corrección manual que podría haberse evitado si se controlara el espesor de pared de la pieza.

Proceso productivo

Esta tetera se obtiene empleando dos moldes de colada y vertido. Uno para la tapa el cual se conforma por 2 taceles, y otro para el cuerpo de la tetera, cuyo molde presenta 4 taceles: inferior, dos laterales, y uno superior.

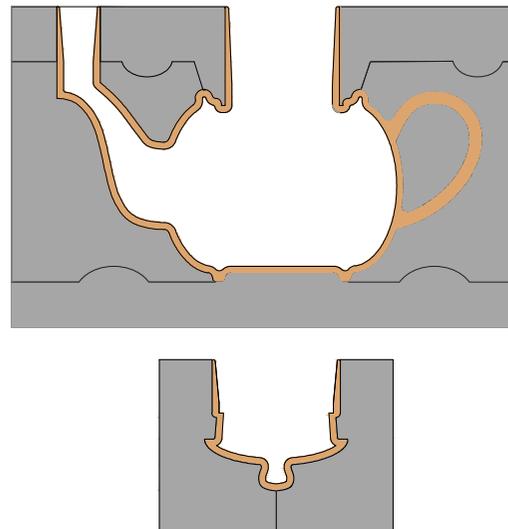
Cuando esta pronta para desmoldar, se retira primero el superior, luego el inferior, y por último los laterales. Posteriormente se extrae la boca de colado, se quitan las líneas de molde, y se trabajan los bordes, el pico y las superficies con herramientas y esponja.

Luego del secado se hornean las piezas. La tapa se esmalta por inmersión evitando la zona de agarre. La tetera también se esmalta por inmersión en su interior, mientras que el exterior se esmalta con soplete. Por último, ambas piezas se llevan a alta temperatura.

Perspectiva



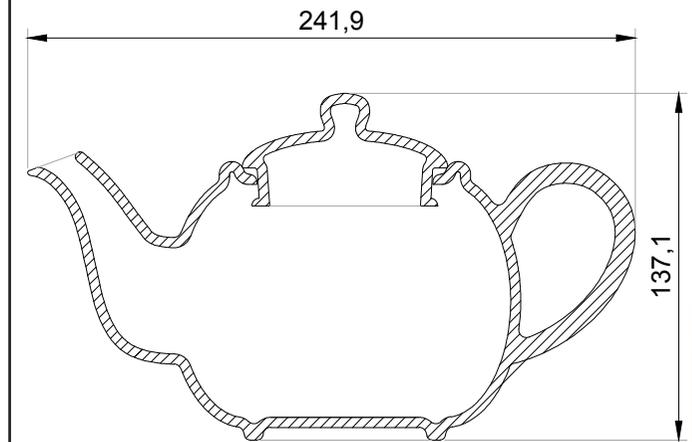
Características del Molde



Escala 1:5

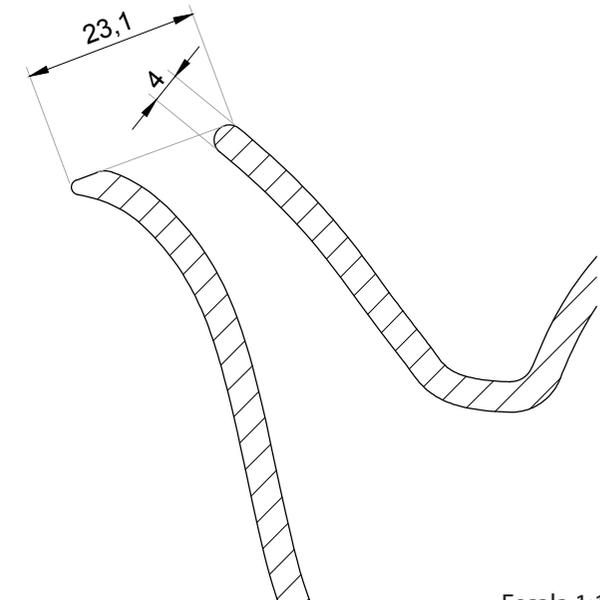
Categoría: necesidad de un espesor específico

Corte Integral



Escala 1:3

Detalle



Escala 1:1

Ejemplos ilustrativos

Producto: Cazuela de doble pared

Importancia del espesor

Esta particular cazuela está diseñada para contener alimentos calientes. Por esta razón su diseño presenta una doble pared que genera una cámara de aire que oficia de aislante térmico. Esta peculiar forma de la pieza, hace que hasta el más mínimo cambio en el espesor de la misma modifique en gran medida el peso de ésta, pudiendo resultar incomoda cuando el espesor es excesivo.

Dado que se trata de una pieza que se obtiene con molde y contra molde, tampoco puede resultar demasiado fina, ya que resulta demasiado frágil en su desmolde. Por eso el control del espesor de la pieza es de vital importancia en el desarrollo de este producto.

Proceso productivo

Esta cazuela de doble pared, se logra a partir de un molde complejo de 5 taceles. El inferior por el cual entra la barbotina, dos laterales, y dos más que forman un contra molde.

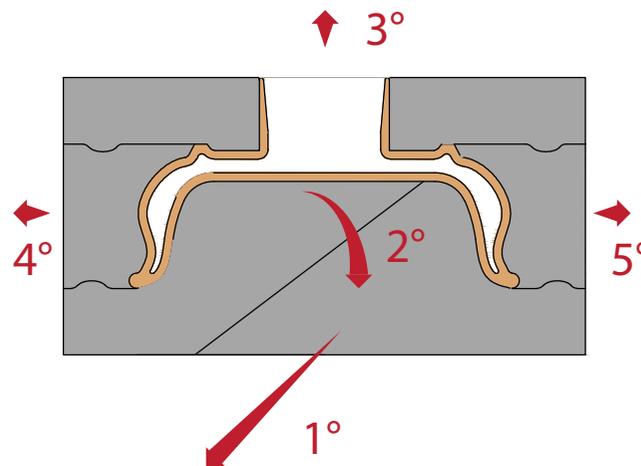
Para que el contra molde no haga succión al retirarlo, lo que rompería la pieza, primero se retira uno de los taceles en sentido diagonal, y luego se retira el segundo tacle a través del espacio liberado por el anterior. Luego se retira el tacle inferior y se corta la boca de colada para poder apoyarlo en posición invertida. Por último se retiran los taceles laterales con la pieza en su en su apoyo natural.

Desmoldada la pieza, se extraen las líneas de molde y se alisa con esponja. Luego de la primer cocción, se esmalta el interior y el borde por inmersión y se hornea en alta temperatura.

Perspectiva



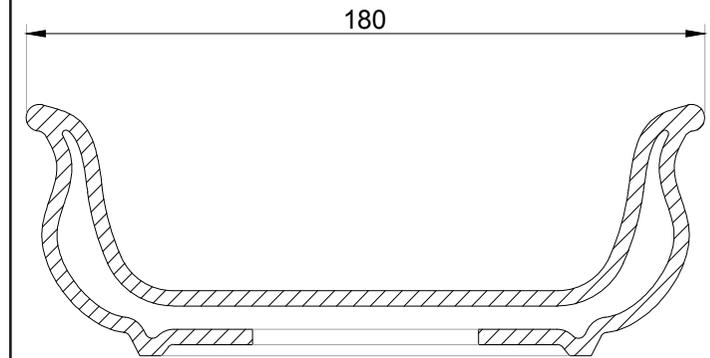
Características del Molde



Escala 1:4

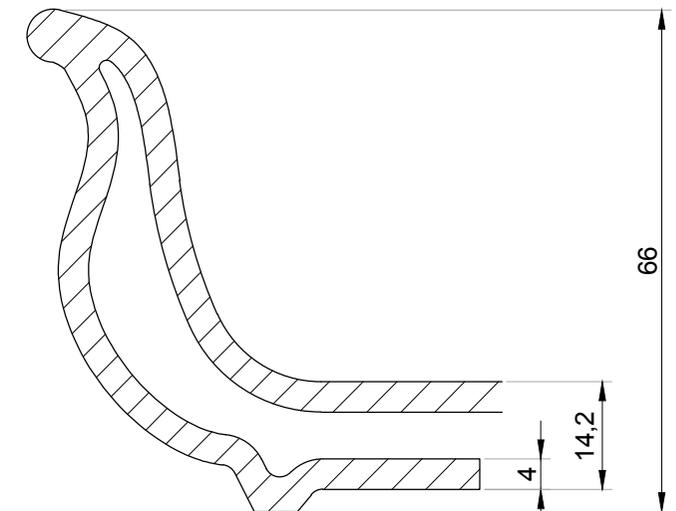
Categoría: necesidad de un espesor específico

Corte Integral



Escala 1:2

Detalle



Escala 1:2

Capitulo 6

Conclusiones

Conclusiones

La ecuación que arroja el modelo de regresión ajustado a partir de los datos de la experimentación, permite predefinir el tiempo de colada para la obtención de piezas de entre 3 y 8 mm, empleando moldes con un porcentaje de humedad de entre 10 y 25 % de humedad, con un error menor a 0,5 mm en la predicción del espesor, si se lo aplica en las mismas condiciones en las que fue realizada la experimentación.

Dicho modelo es aplicable a piezas de diferentes volúmenes, según se verificó empíricamente, si se lo aplica bajo las mismas condiciones mencionadas anteriormente. Sin embargo el método de producción no es aplicable a espesores mayores al testado de 8 mm, o si se emplean moldes con un porcentaje de humedad por fuera del rango de entre 10 y 25 %.

Cualquier cambio en las condiciones del proceso como lo pueden ser el empleo de otras barbotinas, o la búsqueda de espesores mayores, requieren de la generación de un nuevo modelo ajustado a las nuevas condiciones, para la correcta predicción de los espesores. Se concluye que a partir de la metodología aplicada en esta tesis, es posible estudiar el comportamiento de cualquier barbotina de colado, y así generar nuevos modelos para su aplicación en producción.

Se considera que se alcanzó el objetivo general de profundizar en el conocimiento del proceso productivo de colada y vertido, proponiendo una metodología de investigación, así como también se cumplió con el objetivo particular de describir, para una barbotina específica, la relación entre las principales variables que participan en este proceso: el tiempo de colada, la humedad del molde, y el espesor de la pieza.

Finalmente, se concluye que el método de producción propuesto en esta tesis contribuye a la integración del diseño industrial con la cerámica artesanal, dado que facilita y mejora la calidad de las producciones seriadas, permitiendo la elaboración de los diseños más exigentes en los contextos productivos de los talleres artesanales.

Bibliografía

- Cosentino, P. (1999) *Enciclopedia de técnicas de cerámica*. Buenos Aires : Editorial La Isla
- Costales, F. F. ; Olson, D.W. (1962) *Cerámica para escuelas y pequeñas industrias*. Mexico : Editorial Continental
- Fernández, J. (2011) *Manual de cerámica : artística y artesanal*. Buenos Aires : Editorial Condorhuasi
- Freiría, H. ; Aspirot, J.A. (1964) *Barbotinas de colado. Viscosidad aparente y defloculación*. Montevideo : Facultad de ingeniería
- Sentance, B. (2005) *Cerámica : Sus técnicas tradicionales en todo el mundo*. San Sebastián : Editorial Nerea
- Pache, J. (2011) Piezas únicas 24.11.2014, Juan Pache Blog, Recuperado el 15 de Agosto del 2014. URL. <http://juancpache.blogspot.com/#>
- OLMOS. (2014) Recuperado el 20 de Agosto del 2014. URL. <http://www.olmos.com.uy/es/#nosotros>
- Apud, F (2017), Tan azul, Recuperado el 20 de agosto del 2017. URL. <http://www.tanazul.com.uy/#inicio>