



Vigilada Mineducación

**Técnicas de Producción para Piezas Cerámicas:
Comparación entre el método tradicional y el método de
transformación digital CAD/CAM**

**Production Techniques for Ceramic Products:
Comparison between the traditional and digital transformation CAD/CAM methods**

Miguel Ángel Pérez Patiño

mperezp3@eafit.edu.co

Proyecto de Maestría en Ingeniería

Asesor de Maestría:

Juan Alejandro García Flórez

**Universidad EAFIT
Escuela de Ciencias Aplicadas e Ingeniería
Medellín
2023**

Tabla de Contenidos

Abstract	5
Keywords	5
Resumen	5
Introducción	6
Problema, justificación e hipótesis	7
Planteamiento del problema	7
Justificación	8
Planteamiento de las hipótesis	8
Marco teórico	8
Materiales cerámicos	8
La Barbotina	8
Yeso escayola	10
Diseño de productos cerámicos: Métodos y fabricación	11
Artesanales	11
Tradicionales	13
Industriales	14
Método tradicional Prototipos 1	16
Moldes: Principios de moldeo y fabricación	16
Sistemas digitales de manufactura	20
Antecedentes: transformación digital	20
Sistemas CAD/CAM	21
Impresión 3D: matrices de moldeo	22
Metodología de trabajo	22
Diseño de la metodología	23
Restricciones y variables de trabajo	23
Restricciones de trabajo	23
Variables de trabajo	24
Casos de Estudio	24
Modelo de fabricación tradicional	24
Modelo de transformación digital	39
Comparación Casos de Estudio	44
Conclusiones	45

Recomendaciones.....	46
Referencias.....	46

Lista de Imágenes

Imagen 1 Producción Cerámica https://artesantiasdecolombia.com.co/PortalAC/images/produccion-ceramica-especial-raquira-colombia-artesanal-2015.jpg	12
Imagen 2 Molde de Yeso con pieza vaciada en barbotina. https://content.instructables.com/FXS/4JBZ/H82TT3O5/FXS4JBZH82TT3O5.jpg?auto=w ebp&frame=1&width=800&height=1024&fit=bounds&md=feb872596a11b12c9aae1296f0 a8e09b	14
Imagen 3 Aislantes cerámicos para cables de alta tensión Electrocerámicas Gamma. Recuperado de: https://www.gamma.com.co/wp-content/uploads/2016/03/2.jpg	15
Imagen 4 Línea de partición	17
Imagen 5 Ángulos de desmolde	17
Imagen 6 Dirección de desmolde	18
Imagen 7 Contracción adimensional	18
Imagen 8 Matriz de moldeo.....	25
Imagen 9 Matriz de moldeo y cama de moldeo en la caja para vaciado.	26
Imagen 10 Primera cavidad de molde con su comparación en cama de vaciado.	27
Imagen 11 Vaciado de segunda cavidad, sobre mesa vibradora.	28
Imagen 12 Preparación de caja para el vaciado de la tercera cavidad. Se muestran las guías del molde.	29
Imagen 13 Molde de yeso finalizado.....	30
Imagen 14 Horno de secado. Temperatura máxima de 300° C.	31
Imagen 15 Vaciado de barbotina en molde de yeso.	32
Imagen 16 Pieza en cuero secando parcialmente dentro del molde de yeso.	33
Imagen 17 Pieza en cuero retirada del molde.....	34
Imagen 18 Pieza en cuero secando completamente para su primera quema.	35

Imagen 19 Tabla de temperaturas según Cono de quema.
<https://i.pinimg.com/originals/36/f5/17/36f5173acc5373db763eb60773cb891d.jpg> 37

Imagen 20 Pieza de cerámica finalizada..... 38

Imagen 21 Matriz de moldeo digital completamente modelada en software CAD..... 39

Imagen 22 Diagrama de ampliación volumétrica 40

Imagen 23 Cavidades del molde preparadas para el proceso de manufactura. 41

Imagen 24 Proceso de mecanizado de bloques de yeso. 42

Imagen 25 Bloques de yeso mecanizados con la forma final. 43

Lista de Tablas

Tabla 1 Curva de quema para piezas bizcocho 36

Tabla 2 Curva de temperatura para quema de esmaltes..... 38

Abstract

The manufacturing of ceramic pieces is a process that dates to ancient times, but as time has progressed, the techniques and manufacturing methods have evolved. One highly recognized method is traditional manufacturing, which involves manual work and artisanal results, using a clay material known as slip. On the other hand, with the technological advancements of the last two decades, computer-aided design (CAD) tools and the use of engineering systems such as computer-aided manufacturing (CAM) have allowed the manufacturing of products to be elevated to an industrial level. However, these technologies also present a new opportunity: the manufacturing of ceramic pieces through digital transformation. By replacing certain processes of the traditional method and optimizing time and effort, this new approach offers advantages. This document distinguishes between both manufacturing methods through the analysis of a case study, presenting a comparison of their operations to highlight the differences, advantages, and critical points of each.

Keywords

Ceramics, CAD/CAM, Slip Casting, Molds, plaster of Paris, Glazing.

Resumen

La fabricación de piezas cerámicas es un proceso que data de la antigüedad, pero a medida que ha avanzado el tiempo, las técnicas y métodos de manufactura evolucionaron. Un método muy reconocido siendo el de fabricación tradicional, el cual involucra trabajo manual y resultados artesanales, utilizando un material arcilloso conocido como barbotina. Por otro lado, con los avances tecnológicos de las últimas dos décadas, las herramientas de diseño asistido por computador (CAD), el uso de sistemas de ingeniería como lo es el CAM (Manufactura asistida por computador), han permitido potencializar la fabricación de productos a un nivel industrial. Pero estas tecnologías también presentan una nueva oportunidad: la fabricación de piezas cerámicas por medio de la transformación digital. Remplazando algunos procesos del método tradicional, optimizando tiempos y esfuerzo. En

este documento se distinguen ambos métodos de fabricación mediante el análisis de un caso de estudio, presentando una comparación entre sus operaciones, para así dar a entender la diferencia entre estos, sus ventajas y sus puntos críticos.

Introducción

En este documento se presenta dos casos de estudio enfocados, cada uno, en un método de fabricación de piezas cerámicas diferente. Estos casos explican de forma detallada el proceso, componentes, requerimientos y puntos clave de cada método, exponiendo detalles y consideraciones para tener en cuenta al momento de fabricar piezas cerámicas por alguno de estos.

El método tradicional, siendo un proceso completamente manual, involucrando técnicas de moldeo y trabajo artesanal; por otro lado, está el método de transformación digital, que introduce al proceso técnicas y herramientas CAD (computer aided design) / CAM (computer aided manufacture).

Ambos métodos tienen como objetivo común la fabricación de piezas cerámicas por medio de un proceso de vaciado en moldes de yeso escayola, que se encargan de contener y transformar el material arcilloso líquido conocido como barbotina. Es este proceso el que permite obtener piezas cerámicas de espesor de forma simple.

La fabricación de piezas cerámicas por medio de moldes de yeso y barbotina crea una oportunidad de fabricación única, ya que los moldes de yeso y la barbotina, son materiales de bajo costo, fáciles de adquirir. Además, la manipulación de estos no requiere de una capacitación extensa, lo que habilita una producción de bajo volumen.

Problema, justificación e hipótesis

Planteamiento del problema

La fabricación de piezas cerámicas a base del material arcilloso conocido como barbotina por medio de moldes de yeso es un método tradicional que, para cumplir con todo su proceso, tiene una serie de variables procedimentales en relación a las condiciones ambientales a las que se somete el proceso como la humedad relativa en el ambiente de trabajo, la cantidad de humedad en barbotina, el tipo de yeso entre otros y variables de procedimiento como el uso de placas modelo, formaleas para contener el bloque de yeso, etc.; estimando un tiempo aproximado de 3 semanas para culminar una pieza efectiva de producción cuando se enfoca el diseño a máximo 3 caras. Lo anterior determina una pregunta para enfocar el problema:

¿Será posible mediante un método de transformación digital disminuir los tiempos de conformación para el proceso, y aumentar la eficacia en la fabricación de piezas cerámicas con el manejo de sistemas CAD/CAM?

Haciendo una comparación entre el método tradicional y el método de manufactura sustractiva y/o aditiva, con la iniciativa hacia la transformación digital con los sistemas CAD/CAM, identificar puntos críticos que ayuden a determinar una mayor efectividad para reducir los tiempos de desarrollo de los diseños cuando se determine el uso de tres o menos caras según el proceso.

Justificación

Este trabajo tiene como fin exponer el potencial de fabricación de piezas cerámicas por medio de la transformación digital, presentándolo por medio de casos de estudio, para mostrar la relevancia entre el método tradicional y el método con las herramientas y técnicas CAD/CAM, todo esto dentro del campus de la universidad EAFIT, para determinar una información complementaria que permita exponer una comparación entre ambos métodos.

Planteamiento de las hipótesis

- ¿Existe algún beneficio al implementar el método tradicional de fabricación, en comparación del método de manufactura sustractiva y/o aditiva?
- ¿Cuáles son los factores diferenciadores entre el método de fabricación tradicional y el método de transformación digital?
- ¿Qué habilidades son necesarias para implementar el método de transformación digital para la fabricación de piezas cerámicas?
- ¿Cuáles son las ventajas de implementar el método de transformación digital para la fabricación de piezas cerámicas?
- ¿Es posible incorporar el método de transformación digital para la fabricación de piezas cerámicas en remplazo del método tradicional?

Marco teórico

Materiales cerámicos

La Barbotina

La barbotina es un material cerámico líquido a base de diferentes minerales particulados, disueltos en una solución de agua común o desionizada y aditivos químicos, para completar la mezcla. Según Alberro D. (2014) la composición común de la mezcla de barbotina blanca tradicional es la siguiente:

Barbotina blanca para 1040° C

Arcilla blanca - 70 kg

Cuarzo - 17,5 kg

Carbonato de Calcio - 12.5 kg

Agua - 45 L

Silicato de Sodio Neutro hasta - 150 cc

Según la composición presentada, el ingrediente principal para producir la mezcla arcillosa es la arcilla blanca, de ahora en adelante a esta será entendida como Mineral Principal (MP). Este MP es el que determina un factor importante en la mezcla resultante: el color de la barbotina.

A parte del MP, los otros minerales de la mezcla de la barbotina también tienen un rol muy importante, agregando otro factor crítico de las cerámicas: la temperatura de cocción. Dependiendo de los minerales otros minerales, a los cuales se referirán como Minerales Agregados (MA), y las proporciones dentro de la mezcla, la temperatura a la cual la cerámica debe ser quemada puede o aumentar o disminuir.

Otra fórmula que presenta Alberro D. (2014), permite entender esta diferencia.

Barbotina para gres 1250° C

Arcilla blanca - 65 kg

Cuarzo - 20 kg

Feldespatos - 15 kg

Agua - 45 L

Silicato de Sodio - 0,1% a 0,2%

Carbonato de sodio anhidro - 0,1% a 0,2% Para lograr la conformación de la barbotina Alberro D (2014) dice que el proceso debe iniciar con la preparación de los componentes en seco, estos siendo el MP, los MA, el defloculante y el agua. Los cuales deben ser pesados y/o medidos de forma exacta. Luego, aun en seco, los MP y MA se mezclan tratando de evitar levantar polvo y utilizando protección respiratoria, para evitar respirar materiales

particulados. Por otro lado, se prepara el agua con los defloculantes disueltos en esta, para el agua se puede utilizar agua común o agua desionizada, esta última es recomendada, ya que posee un nivel de impurezas mucho menor que el agua común y el agua destilada.

Finalmente, los MP y MA previamente mezclados son agregados de forma medida al contenedor con la solución de agua y defloculante, asegurándose de que la mezcla quede homogénea utilizando un mezclador o batidor, hasta lograr una consistencia “cremosa” o viscosa, dejando reposar la barbotina para luego ser agitada vigorosa y posteriormente utilizada.

Yeso escayola

Comúnmente utilizado para construcción y fabricación de molduras decorativas para interiores, el yeso o escayola también puede ser utilizado para crear placas de moldeo para la fabricación de piezas cerámicas a base de materiales arcillosos como la barbotina. El yeso escayola descrito en este documento es el Escayola Modelo para Moldes y Figuras E-35 de la marca Corona.

Como presentan Cantón & Manuel (s.f.), a este yeso, denominado como escayola, es un tipo de yeso que se caracteriza por tener un nivel de pureza en aljez (la materia prima de este) mayor al 90%, comparado con su contraparte el yeso industrial posee solo un 70% de yeso mineral, además la escayola posee un grano mucho más fino a diferencia del yeso industrial.

El uso del yeso escayola para la fabricación de moldes es simple, la composición de la mezcla debe ser de aproximadamente un 60% de agua (esta puede ser común o desionizada) y 40% de polvo de yeso escayola. Utilizando un contenedor voluminoso, se vierte la medida de agua y con ayuda de un batidor o mezclador, se va agregado poco a poco el polvo de yeso, esto nos asegura que la mezcla sea completamente homogénea y no se generen bultos secos o “grumos” dentro de esta.

Una vez la mezcla esté terminada, ya es posible darle uso a esta lo más rápido posible, ya que a partir del momento que se completa el agregado del yeso en la mezcla, esta inicia con el proceso de endurecimiento, también conocido como proceso de “Fraguado”. Este proceso es mejor entendido como (Carvajal & Moreno, 1988) momento donde el yeso, sobre todo el

tipo escayola, comienza a cristalizarse hasta el punto donde sus partículas de hemihidrato está completamente saturadas con agua, llegando al punto donde se genera una liberación de calor y ocurre una expansión por el rápido aumento de tamaño de sus cristales.

Diseño de productos cerámicos: Métodos y fabricación

A continuación, se presentan tres diferentes procesos para el diseño y fabricación de productos cerámicos, teniendo como base los procesos de moldeo y manejo de materiales arcillosos como el barro, arcilla y la barbotina.

Artesanales

Los métodos de fabricación artesanal de piezas cerámicas son principalmente una profesión también conocida como la alfarería, esta es reconocida por ser no solo una profesión sino también por ser una tecnología que se desarrolla en el seno de una comunidad (Vidal A., 2019).

Un excelente ejemplo de esta profesión y su metodología tradicional es la implementada en Ráquira, Boyacá, Colombia. Un lugar reconocido por sus artesanías en cerámica, fabricando piezas únicas por medio de una técnica cultural, detallada en la siguiente gráfica.



Imagen 1 Producción Cerámica <https://artesaniasdecolombia.com.co/PortalAC/images/produccion-ceramica-especial-raquira-colombia-artesanal-2015.jpg>

Haciendo de esta tarea de fabricación una técnica heredada desde tiempos remotos, un ejemplo claro siendo los mosaicos azulejos antiguos del medio oriente o la porcelana China originaria de los años 4000 a.C., donde el trabajo era en su totalidad manual; la fabricación de forma artesanal comienza con la adquisición de la materia prima, siendo el barro o la pasta cerámica los insumos más comunes en este campo.

Para el campo de trabajo artesanal, existen diferentes tipos de cerámicas, la cuales son trabajadas dependiendo de la finalidad del producto o diseño a realizar. Como presenta Méndez et al Algunos de estos tipos de cerámicas son (2016):

Cerámicas porosas: a base de arcilla, su textura es porosa y su apariencia es terrosa, absorbe la humedad y es permeable de grasas.

Cerámicas compactas: son impermeables y no absorben humedad, son resistentes químicamente, utilizadas en lozas y porcelanas.

El trabajo y manejo de estas cerámicas, como se mencionó al principio de este capítulo, es netamente manual, pero existen herramientas que ayudan al artesano o alfarero a manipular y modificar la forma de la cerámica. Según la investigación de Méndez et al, las herramientas y equipos utilizados para el trabajo artesanal de cerámicas son el torno, mesa de trabajo, herramientas metálicas o de madera para dar textura, herramientas de corte fino (bisturí o hilo), pinceles para la decoración y pulido de la cerámica y finalmente el horno de quema.

Tradicionales

A diferencia de su contraparte artesanal, el método tradicional de fabricación de piezas cerámicas se diferencia por evitar el moldeo manual del material cerámico y en vez, se centra en crear moldes de una o más cavidades que agilicen y así estandarizar el proceso de fabricación. Estas cavidades son bloques sólidos que unidos crean un molde, el cual retiene el material vertido y crea una copia del producto final, además, pueden variar en cantidad, dependiendo de la complejidad geométrica del producto a moldear. Para entender mejor el proceso de fabricación tradicional, Aguilar & Gualberto explican que, en la cerámica los moldes de yeso son utilizados para replicar piezas a través de la técnica de colado, donde el material vertido se adhiere a las paredes internas de las cavidades del molde, generando un espesor (s.f.).



Imagen 2 Molde de Yeso con pieza vaciada en barbotina.

<https://content.instructables.com/FXS/4JBZ/H82TT3O5/FXS4JBZH82TT3O5.jpg?auto=webp&frame=1&width=800&height=1024&fit=bounds&md=feb872596a11b12c9aae1296f0a8e09b>

En el contexto local, encontramos diferentes referentes en los cuales nos podemos basar para entender el nivel de producción que otorga el método de fabricación tradicional. Las más conocidas siendo La Bestial y Vulcano Design Lab, estas empresas o laboratorios de exploración en diseño de piezas cerámicas, emplean el método de fabricación de piezas cerámicas, más específicamente utilizando la barbotina como materia prima para el uso de moldes de yeso.

Luego del proceso diferenciador de moldeado por medio de moldes de yeso, la modificación de las piezas cerámicas resultantes, se hace por medio de las mismas herramientas para crear texturas o cortes de precisión mencionadas en el capítulo anterior.

Industriales

Los métodos industriales de fabricación de piezas cerámicas ya son procesos altamente estandarizados, utilizando automatización de maquinaria y medición precisa de materiales

implementados. En una visita Industrial a la empresa Gamma Electrocerámicas en Sabaneta, Antioquia, se logró identificar este proceso de automatización, para la producción de cerámicas aislantes para líneas de distribución energética.

En Gamma el proceso inicia con la fabricación de una pieza cilíndrica simple a base de pasta cerámica, la cual es llevada a un torno vertical donde por medio de rotación y unas herramientas de desbaste automatizadas general el perfil cilíndrico de diferentes referencias de aislantes para líneas de alta tensión.



Imagen 3 Aislantes cerámicos para cables de alta tensión Electrocerámicas Gamma. Recuperado de: <https://www.gamma.com.co/wp-content/uploads/2016/03/2.jpg>

Un aspecto muy importante a tener en cuenta al momento de fabricar moldes de yeso es la relación agua/yeso, como Gutiérrez et al sugieren en su investigación, la relación agua/yeso es el factor más importante en la fabricación de moldes de yeso, ya que este determina la porosidad del molde y el tiempo de trabajo de la mezcla (2018). La porosidad del molde

permite determinar también la absorción de humedad de este, mientras la porosidad aumente la vida útil de este se incrementa, permitiéndole absorber una mayor cantidad de humedad y un proceso de secado para futuro uso más rápido.

Método tradicional Prototipos 1

El pregrado de Ingeniería de Diseño de Producto cuenta con una materia en el pensum del cuarto semestre llamada “Prototipos 1”. Durante las 8 semanas de la materia los estudiantes ven diferentes tipos y métodos de prototipado, manipulando resinas epóxicas y de poliéster, fibras de vidrio no tejidas, caucho de silicona para moldes flexibles y también materiales cerámicos para moldeo como yeso escayola y barbotina.

El proceso de fabricación de piezas cerámicas implementado en la materia, es basado en el método tradicional, creando cavidades de molde a base de yeso escayola y posteriormente utilizándolo para el vaciado o colado del material arcilloso o la barbotina. En su totalidad el proceso de fabricación de los moldes de yeso escayola, su secado, el colado de la barbotina en los moldes, la replicación de piezas y las dos quemas necesarias para cumplir con la totalidad del trabajo toma alrededor de 4 semanas intensivas.

Todo este proceso es tedioso debido a la cantidad de operaciones manuales y puntos críticos como el sellado de la caja, la aplicación del desmoldante en la matriz, los cálculos variables de cada modelo, la preparación de los componentes y el vertimiento de la mezcla. En cada una de estas operaciones puede haber un error por falta de experiencia en los estudiantes. Pero una vez realizado todo el proceso de fabricación del molde de yeso escayola, el nivel de complejidad disminuye una vez se continua con el proceso de vaciado o colado de la barbotina.

Moldes: Principios de moldeo y fabricación

Los principios de moldeo son factores obligatorios que las cavidades de los moldes deben cumplir para su correcto funcionamiento. Todos estos principios se deben cumplir para evitar errores o contratiempos en al momento de realizar el colado o vaciado de barbotina.

Los principios de moldeo son:

La línea de partición: es o son las líneas que dividen a la matriz en puntos donde el ángulo de desmolde perpendicular y determina el número de cavidades.

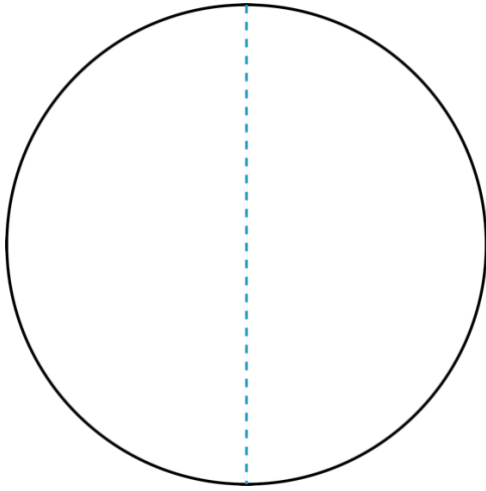


Imagen 4 Línea de partición

Ángulos de desmolde: son los ángulos perpendiculares a la línea de partición, los cuales deben ser menores a 90° para evitar amarres de las piezas.

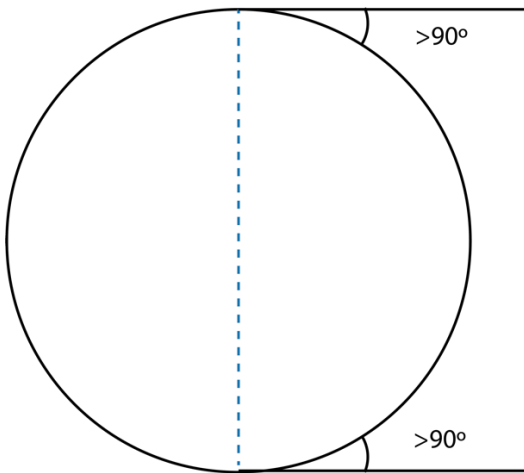


Imagen 5 Ángulos de desmolde

Dirección de desmolde: es la dirección en la que se retira una cavidad del molde, esta dirección es perpendicular a la línea de partición.

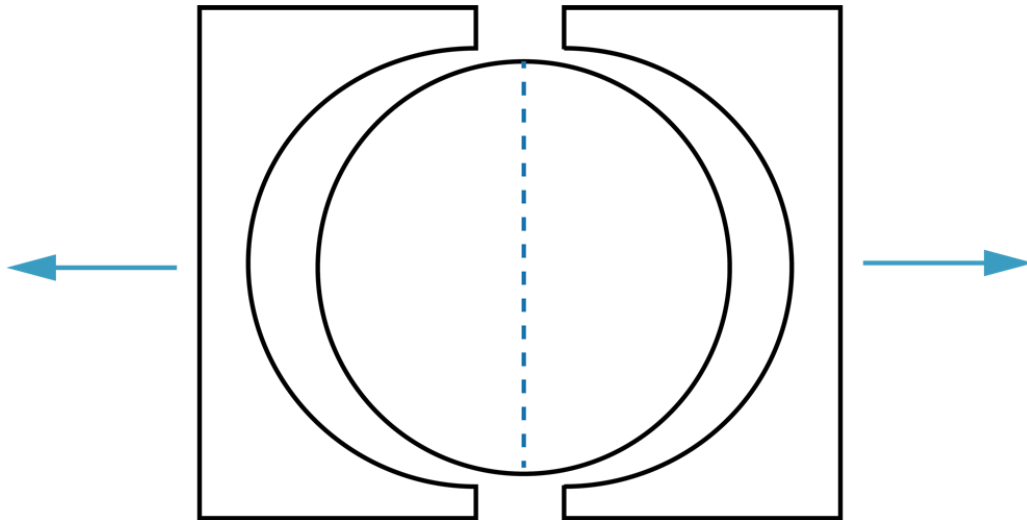


Imagen 6 Dirección de desmolde

Contracción: dependiendo del tipo de barbotina, se debe tener en cuenta un porcentaje de contracción por la evaporación del exceso de humedad en las piezas de barbotina.

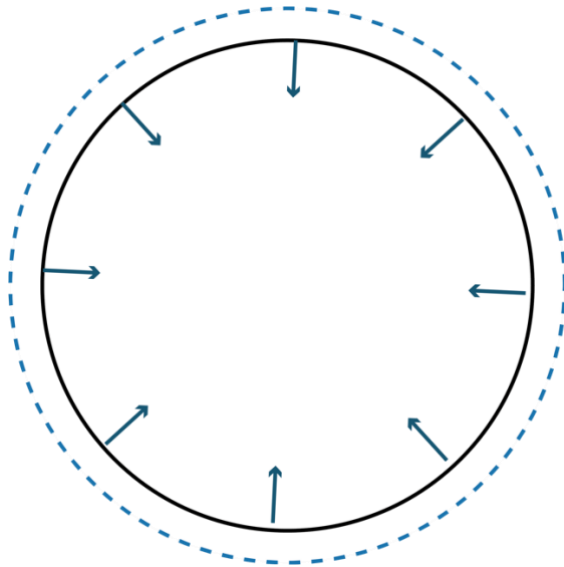


Imagen 7 Contracción adimensional

Teniendo en cuenta estos principios de moldeo, el proceso de fabricación del molde de yeso y sus cavidades debe siempre tener en cuenta no omitir ninguno de estos factores, hacerlo puede ser causante de errores en las cavidades y provocar un reproceso. La fabricación de los moldes de yeso inicia preparando la pieza a replicar, también referida como matriz, la cual

los estudiantes deben de crear utilizando materiales rígidos como maderas o polímeros. La preparación inicia con análisis de su línea de partición, por la cual las cavidades deben estar divididas. Una vez identificada esta línea, se procede a crear una cama a base de plastilina, asegurándose de que la cama sobresalga entre 2,5 a 4,5 cm en los ejes paralelos a la superficie de apoyo. Este proceso es únicamente necesario cuando la matriz lo requiera, existen casos donde las matrices son simples y solo requieren de una cavidad, evitando así el proceso de crear una cama.

Teniendo lista la cama, se procede con crear la “caja” o paredes que rodean la matriz, juntando completamente las paredes con la cama previamente realizada, para asegurarse de que no haya fugas de material en el proceso de vaciado del yeso.

Con las paredes selladas y bloqueadas usando pinzas o prensas, se deben realizar los cálculos del volumen total de la caja, teniendo en cuenta que también se deben agregar entre 2,5 a 4,5 cm de altura a las medidas de la formula, para encontrar las cantidades necesarias de agua y yeso para la mezcla. Antes de iniciar con los cálculos, es importante aplicar un desmoldante a base de aceites o grasas, es recomendado aplicar vaselina industrial en los siguientes casos:

- a. La matriz es de un material como las maderas o arcilla.
- b. La cama fue hecha en un material arcilloso como la pasta de arcilla.
- c. Las paredes son de un material poroso como las maderas.

Los volúmenes por calcular son:

$$**V total caja (Vc) = L1 L2 L3**$$

$$**V total matriz (Vm) = Depede de la forma de la matriz**$$

Los valores estándares para calcular las proporciones son:

$$**\%Yeso (\%Y) = 40\%**$$

$$**\%Agua (\%A) = 60\%**$$

$$**\rho Yeso (\rho) = 1.6 gr/cm3**$$

El proceso de cálculo sería el siguiente:

$$Vc - Vm Vtotal$$

$$Vtotal \text{ Peso total}$$

$$\text{Peso total \%Y Peso Yeso}$$

$$\text{Peso total \%A Peso Agua}$$

Con los últimos dos resultados, los pesos del yeso y del agua, se procede a recolectar la cantidad de agua necesaria en un contenedor voluminosos como un balde o contenedor plástico, utilizando elementos de medición como jaras medidoras. Para el yeso, por medio de una báscula medidora, se ubica un contenedor y ajustamos la báscula para ignorar el peso de este. Utilizando un recipiente, se coloca yeso escayola en el contenedor de la báscula, hasta llegar al peso indicado en el resultado anterior.

Luego, con ayuda de un mezclador manual o un batidor eléctrico, se va vertiendo el yeso en el contenedor con el agua mientras se mezclan los dos de forma cuidadosa, asegurándose de no generar desperdicios.

Una vez la mezcla adquiera una consistencia homogénea, la cual se identifica por su apariencia semi-cremosa, se procede a verter la mezcla en la caja previamente preparada donde se encuentra la matriz a replicar, a medida que se vierte la mezcla de yeso, es recomendado ubicar la caja en una mesa vibradora o una vez finalizado el vertimiento, golpear de forma leve las paredes de la caja para retirar cualquier aire que se encuentre encapsulado dentro de la mezcla.

Sistemas digitales de manufactura

Antecedentes: transformación digital

El termino de Transformación Digital (TD) tiene muchas definiciones, la gran mayoría enfocadas en el concepto de implementación y cambios de métodos y una cultura de adaptación frente a nuevas tecnologías que apoyen el progreso de una empresa. Como menciona Cueva, la TD son nuevas estrategias que generan oportunidades en negocios,

incorporando tecnologías emergentes, mejorando procesos y a su vez crear una cultura dentro del equipo de trabajo para adaptarse a el trabajo en conjunto con estas tecnologías (2020).

En el contexto de las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC), la TD requiere que el usuario posea una habilidad sobre el manejo de herramientas digitales, como la definición que presenta Flores Lueg, donde la competencia digital es la aplicación de habilidades y destrezas para hacer uso de las TIC y convertir una información en un nuevo conocimiento aprovechando el soporte de las herramientas tecnológicas y digitales (2014).

Teniendo en cuenta el contexto en el cual se plantea este documento, una forma concreta de definir la TD la presentan Puma & Maykol diciendo que, el usuario plasma un bosquejo inicial de un producto, de forma bidimensional o tridimensional, de la cual se requieren hacer cambios y solucionar un problema inicialmente planteado (s.f.)

Sistemas CAD/CAM

Los sistemas CAD (Computer Aided Design) o su traducción al español siendo diseño asistido por computador, una definición clara sobre CAD, la presentan Puma & Maykol, diciendo que se utiliza para modelar de forma visual una pieza o producto ya sea de forma bidimensional o tridimensional (s.f.).

Por otro lado, el CAM (Computer Aided Manufacture) o también conocido como manufactura asistida por computador, es una plataforma donde se unen el diseño CAD y procesos de manufactura por medio de máquinas o equipos de control numérico computacional CNC (Computer Numerical Control) y permite realizar procesos de manufactura sobre un modelo tridimensional. Además, como lo explica Cerlin, el CAD/CAM son implementados en un amplio rango de campos industriales y juegan un rol importante en la fabricación de prototipos rápidos, un proceso que le permite a empresas realizar pruebas de diferentes iteraciones de un producto de (2018).

Los sistemas CAD/CAM deben estar alineados, así como recomiendan Puma & Maykol (s.f.) “Es vital, que un CAD esté muy coordinado en un marco CAM, ya que esto ayuda a reducir el tiempo, y que todos los ajustes en el plan se pueden realizar en una interfaz similar sin moverse entre varios programas”. Con esta afirmación, se puede asegurar que el programa

CREO Parametric de PTC, el cual es enseñado en el pregrado de Ingeniería de Diseño de Producto en la Universidad EAFIT, es una herramienta esencial para el entendimiento de los sistemas CAD/CAM.

Esto debido a que, CREO Parametric posee diferentes módulos de trabajo, entre ellos, los más relevantes siendo el módulo de moldeado Solido y el módulo de Manufactura. Ambos integrados en el mismo sistema operativo del programa, facilitando su uso gracias a que no es necesario trasladar la información del CAD a otro programa CAM.

Impresión 3D: matrices de moldeo

La tecnología de impresión 3D o 3D Printing (3DP) es una tecnología CAD/CAM, la cual Echeverri & Santacruz afirman que permite construir piezas, componentes o partes en un periodo de tiempo relativamente corto y con un costo de fabricación bajo, permitiendo hacer modificaciones sobre estos de forma ágil, sin tener que invertir en otras tecnologías de mayor costo (2019).

Implementar la tecnología de 3DP para la creación de matrices de moldeo, de las piezas a replicar, para la fabricación de moldes de yeso es un método de implementación de los sistemas CAD/CAM debido a que (Montané, 2018) esta ha permitido reducir los costos y tiempos de fabricación y, además, otorgarle amplia libertad de diseño y experimentación al momento de prototipar una pieza o producto.

Siendo esta un canal por el cual los diseñadores pueden crear matrices de moldeo solidas de una forma rápida y a bajo costo permite (Montoya & Flórez, 2022) no solo crearlas como una pieza de prototipado rápido, sino también, gracias al avance tecnológico y la calidad de impresión, estos componentes impresos pueden ser utilizado como elementos funcionales.

Metodología de trabajo

La metodología desarrollada a lo largo de este trabajo se planteó por medio de la implementación y evaluación de dos tipos de casos de estudio, estos siendo: el proceso de

fabricación de piezas cerámicas utilizando métodos tradicionales y su contraparte aplicando operaciones de transformación digital por medio de CAD/CAM.

Estos casos de estudios se presentan un análisis cuantitativo parcial, pero principalmente, una comparación cualitativa, donde serán comparados los procesos internos que cada uno de ellos conlleva y se presentará de forma clara cuales son las grandes diferencias entre cada uno de estos procesos.

Diseño de la metodología

La metodología implementada se basa en la comparación de dos casos de estudios en su flujo de trabajo y resultados. Utilizando el marco teórico como una herramienta de conocimiento para entender a profundidad los procesos y métodos característicos de ambos casos.

Una vez presentados los casos y sus aspectos cualitativos y cuantitativos, se hará una comparación cualitativa, exponiendo conclusiones y recomendaciones, que resalten aspectos relevantes sobre cada caso y generando una comparación objetiva que permita determinar las utilidades y restricciones de cada uno de estos casos.

Restricciones y variables de trabajo

Restricciones de trabajo

- Las restricciones para la realización de estos casos de estudio son las siguientes:
- Los procesos fueron realizados dentro del campus de la universidad EAFIT.
- Los equipos, maquinaria, materiales y herramientas utilizados para el proceso de fabricación de piezas cerámicas son iguales en ambos casos.
- Para ambos casos se analizarán moldes de geometrías simples que estén compuestos por un máximo de tres cavidades.
- Se realiza un proceso completo de fabricación en cada caso.

- Las condiciones atmosféricas pueden influir sobre el resultado, pero estas son despreciables, por lo que, presentan mínimas variaciones en los tiempos.

Variables de trabajo

Las variables con las cuales los casos de estudio fueron evaluados son:

- Flujo de trabajo en el proceso completo de fabricación de piezas cerámicas.
- Dificultad o complejidad de procesos.
- Calidad de resultados obtenidos al final del proceso de fabricación.
- Duración de procesos individuales.

Casos de Estudio

Modelo de fabricación tradicional

Se inicia con la fabricación de la matriz de moldeo, esta se fabrica con materiales sólidos, en este caso se utilizaron placas de MDF previamente cortadas con una forma similar, que fueron aglomeradas. Una vez completamente seco, el aglomerado es modelado, hasta alcanzar la forma del producto deseada, además a esta pieza se le debe hacer un proceso de acabado superficial, para obtener un acabado liso, ya que, el yeso copia o replica cualquier imperfección que esta tenga, por lo que a la matriz se le aplican tres capas de base de pintura blanca, lijando cada una de estas una vez estén secas. Esta matriz, es una replicar volumétrica sólida del producto final que se desea fabricar.



Imagen 8 Matriz de moldeo

Luego de tener la matriz de moldeo, se inicia con el proceso de preparación de la caja para el vaciado de la mezcla de yeso. Para la preparación de esta caja, es necesario identificar las líneas de partición de la matriz. En este caso esta cuenta con 3 líneas de partición, lo que nos permite deducir que este modelo requiere de tres cavidades de molde, como mínimo. Antes de poder preparar las paredes de la caja, es necesario realizar una cama de un material blando maleable, en este caso plastilina, que nos permita cubrir el volumen de dos de las cavidades sobre la matriz, para que, al momento del vaciado de la primera cavidad, se restrinja el vaciado a una sola cavidad y evitar errores y reprocesos.



Imagen 9 Matriz de moldeo y cama de moldeo en la caja para vaciado.

A continuación, se muestra la matriz con una de las cavidades ya endurecida y la cama en plastilina de otra.



Imagen 10 Primera cavidad de molde con su comparación en cama de vaciado.

A medida que se obtienen una cavidad, se retira una sección de plastilina necesaria, para así liberar volumen y proceder con el vaciado de la siguiente cavidad. Para el proceso de preparar las paredes de la caja de vaciado, es necesario tener en cuenta que, se deben utilizar materiales plásticos o si son porosos, estos deben estar sellados, para que la mezcla de yeso no se adhiera a estas y evitar contratiempos. Las paredes en este caso son madera aglomerada con chapilla plástica, estas son ajustadas utilizando pinzas de, también pueden utilizarse prensas pequeñas. Con la caja asegurada, se debe aplicar una capa de desmoldante sobre la primera cavidad de yeso y la matriz de moldeo que quedas expuestas a la mezcla de la siguiente cavidad.

Se prepara la mezcla de la respectiva cavidad y posteriormente se realiza el vaciado, sobre una mesa vibradora, para asegurarse de que la mezcla quede homogénea y se retire cualquier aire encapsulado que pueda generar imperfectos como burbujas.



Imagen 11 Vaciado de segunda cavidad, sobre mesa vibradora.

Con dos de las tres cavidades listas, se prepara de la misma forma la caja para el vaciado de la última, en esta ya no es requerido tener una cama de plastilina, ya que las otras dos cavidades ya están hechas y ocupan su respectivo volumen. Antes de hacer el vaciado, se aplica desmoldante y se prepara la mezcla.



Imagen 12 Preparación de caja para el vaciado de la tercera cavidad. Se muestran las guías del molde.

En la anterior imagen, podemos ver unos pequeños bajorrelieves cónicos en los extremos de las cavidades del molde. A estos detalles se le llaman, guías de molde, son utilizadas para definir la orientación y el ajuste de las cavidades, estas guías son comúnmente utilizadas cuando las cavidades no tienen una forma muy definida que permita identificar fácilmente su orientación y/o posición.

Una vez listo el vaciado de la última cavidad, se espera que endurezca, para retirar las paredes de la caja, para así, abrir completamente el molde y retirar la matriz de moldeo. En este punto, la matriz puede ser utilizada nuevamente para fabricar más cavidades, pero se le debe dar un tiempo para que esta retire cualquier humedad que haya acumulado en el proceso y darle nuevamente un acabado superficial óptimo.



Imagen 13 Molde de yeso finalizado.

Para finalizar con el proceso de fabricación del molde de yeso, se debe hacer un proceso de secado en un horno de bajas temperaturas, para evaporar el exceso de agua que queda en el este, así obteniendo un estado óptimo de operación y potencializar la absorción de agua.



Imagen 14 Horno de secado. Temperatura máxima de 300° C.

Una vez se tiene el molde completamente seco, ya es posible fabricar de forma óptima piezas a base del material arcilloso, barbotina. Para esto se deben asegurar las cavidades del molde, en este caso, se utilizan bandas de caucho, estas al ser elásticas, permiten un aseguramiento uniforme y sin la necesidad de aplicar un aseguramiento permanente o semipermanente.

Con el molde completamente asegurado, se procede a realizar el vaciado de barbotina, este proceso es netamente de observación y reabastecimiento del material en el molde a medida que este mismo, vaya absorbiendo agua de la mezcla de barbotina, asegurándose de que el nivel de esta siempre esté a la altura de la parte superior del molde. El proceso culmina cuando, se genera un espesor de barbotina entre los 2,5 mm y 4,5 mm, este se puede detallar en el borde de una de las cavidades.



Imagen 15 Vaciado de barbotina en molde de yeso.

Obtenido el espesor deseado, lo siguiente es retirar el exceso líquido de barbotina contenido en el molde, asegurándose de que este material retirado sea almacenado en un contenedor cerrado, para ser reutilizado nuevamente en futuros procesos de vaciado.

Luego, se deja reposar la pieza de barbotina dentro del molde ya que, en esta fase, aun es muy frágil y maleable, por lo que es necesario dejar que seque un poco más. A si vez, se observa cuando la pieza se va separando, por su propia contracción, del molde, esto nos indica que ya la absorción en esos puntos ha finalizado. Se da por terminado el proceso de reposo una vez la pieza se haya separado del molde de manera parcial.



Imagen 16 Pieza en cuero secando parcialmente dentro del molde de yeso.

A continuación, se retiran las cavidades del molde cuidadosamente, para evitar dañar la pieza, ya sea por un golpe o porque aún sigue adherida a la superficie de una de las cavidades. Sin presentar contratiempos, la pieza de barbotina se soporta a sí misma y no presenta exceso de humedad en su composición, en esta etapa, a la pieza cerámica se le refiere como “pieza cuero”.



Imagen 17 Pieza en cuero retirada del molde.

El siguiente paso, es dejar secar de forma natural la pieza de barbotina, para que evapore de forma controlada el resto de humedad que presenta en su composición. Esto es evidente una vez, la pieza toma un color pálido, es en este punto donde es posible proceder a la quema.



Imagen 18 Pieza en cuero secando completamente para su primera quema.

Es necesario que la pieza esté completamente libre de humedades prominentes, ya que la quema de la cerámica es un proceso, donde se lleva a altas temperaturas para que la cerámica adquiera sus propiedades de físicas. En este caso, la barbotina implementada tiene una temperatura de quema de 1050° C. Pero para llegar a esta temperatura, es necesario utilizar un horno refractario, para este ejercicio se utilizó un horno programable de baja capacidad, el cual, permite ingresar valores de tiempo y temperatura, para establecer una curva de cocción controlada, como se presenta a continuación.

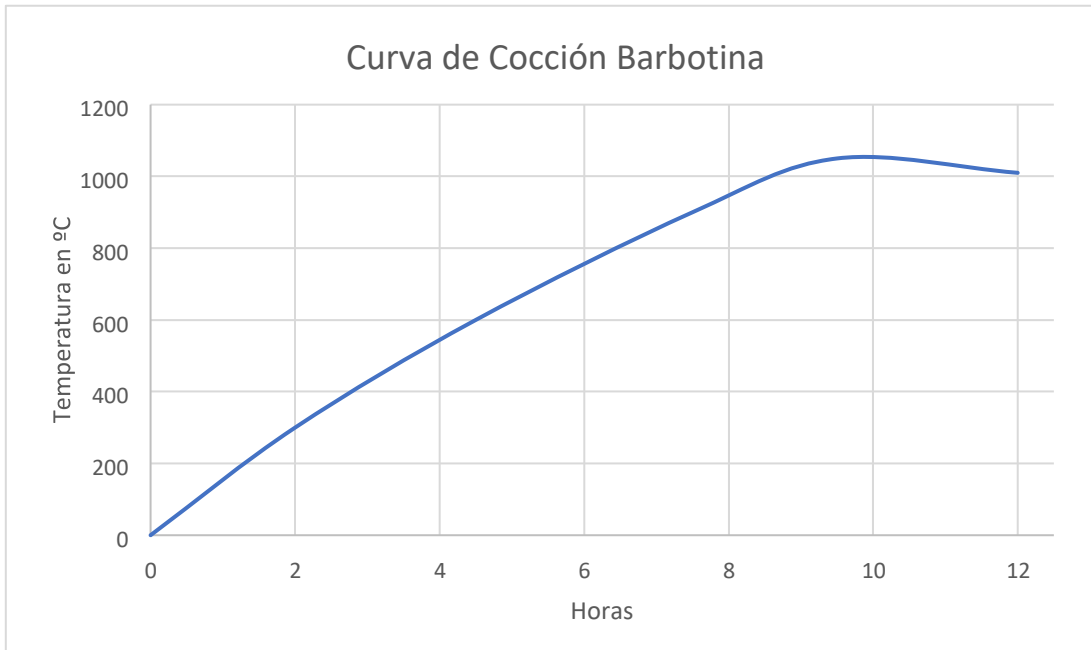


Tabla 1 Curva de quema para piezas bizcocho

Una vez completa la curva de cocción, el horno automáticamente detiene su programación, dando inicio al proceso de enfriamiento. Para este equipo en particular, este proceso de da de manera natural, dejando que el ambiente interno del horno regrese a una temperatura ambiente. Otros hornos permiten programar una curva de enfriamiento controlada, reduciendo el tiempo de trabajo, para este modelo en específico el proceso de enfriamiento toma alrededor de 10 a 12 horas, creando un ciclo de quema de aproximadamente 24 horas.

Cuando la temperatura del horno se encuentre por debajo de los 30° C luego de la fase de enfriamiento, es seguro abrir y retirar la pieza cerámica, donde está ya presenta un color blanco sólido, esto gracias a que la composición de la barbotina fue fabricada para obtener este color luego de su quema. A la cerámica ya cocida, se le conoce como “pieza bizcocho”.

Ya es posible realizar el penúltimo proceso de la fabricación, este es la aplicación de esmaltes cerámicos. Estos poseen una composición similar a la barbotina, pero a diferencia de esta, los esmaltes están diluidos en una cantidad mayor de agua, esto es para permitir su aplicación por capas y tener flexibilidad en las tonalidades que se pueden dar a la pieza.

Para la aplicación de los esmaltes, es recomendado utilizar pinceles suaves, como lo son los pinceles cola de caballo, para evitar obtener una textura rayada en el esmalte y, además, cubrir de forma homogénea la superficie. Los esmaltes cerámicos, también deben tener un proceso de quema, este varía dependiendo el tipo de esmalte y su curva de cocción, esta última es identificable por medio de un dato que otorga el fabricante.

Este dato se le conoce como “cono de quema” o “cono testigo”, este cono es un proceso controlado donde el fabricante identifica la temperatura ideal de cocción para cada esmalte, estos son categorizados según su temperatura, como podemos observar en la siguiente tabla.

Pyrometric Cone Chart (Orton Standard)

When heated at 150 degrees C/hour

Cone No.	Centigrade	Fahrenheit	Cone No.	Centigrade	Fahrenheit
022	600	1112	04	1060	1940
021	614	1137	03 1/2	1080	1976
020	635	1175	03	1101	2014
019	683	1261	02	1120	2048
018	717	1322	01	1137	2079
017	747	1376	1	1154	2109
016	792	1457	2	1162	2124
015	804	1479	3	1168	2134
014	838	1540	4	1186	2167
013	852	1565	5	1196	2185
012	884	1623	6	1222	2232
011	894	1641	7	1240	2264
010	900	1652	8	1263	2305
09	923	1693	9	1280	2336
08	955	1751	10	1305	2381
07	984	1803	11	1315	2399
06	999	1830	12	1326	2419
05	1046	1914	13	1346	2455

Low-Fire	Mid-Fire	High-Fire	Some Porcelain
Earthenware	Stoneware	Kaolin (China Clay)	

Imagen 19 Tabla de temperaturas según Cono de quema.

<https://i.pinimg.com/originals/36/f5/17/36f5173acc5373db763eb60773cb891d.jpg>

Para este caso, se utilizó un esmalte identificado por el fabricante en la categoría de cono testigo 06. Para este se debe alcanzar no más de una temperatura de 999° C con una frecuencia de temperatura de 150° C / Hora, utilizando el mismo equipo utilizado para la quema de la pieza cerámica, delimitando la siguiente curva de cocción.

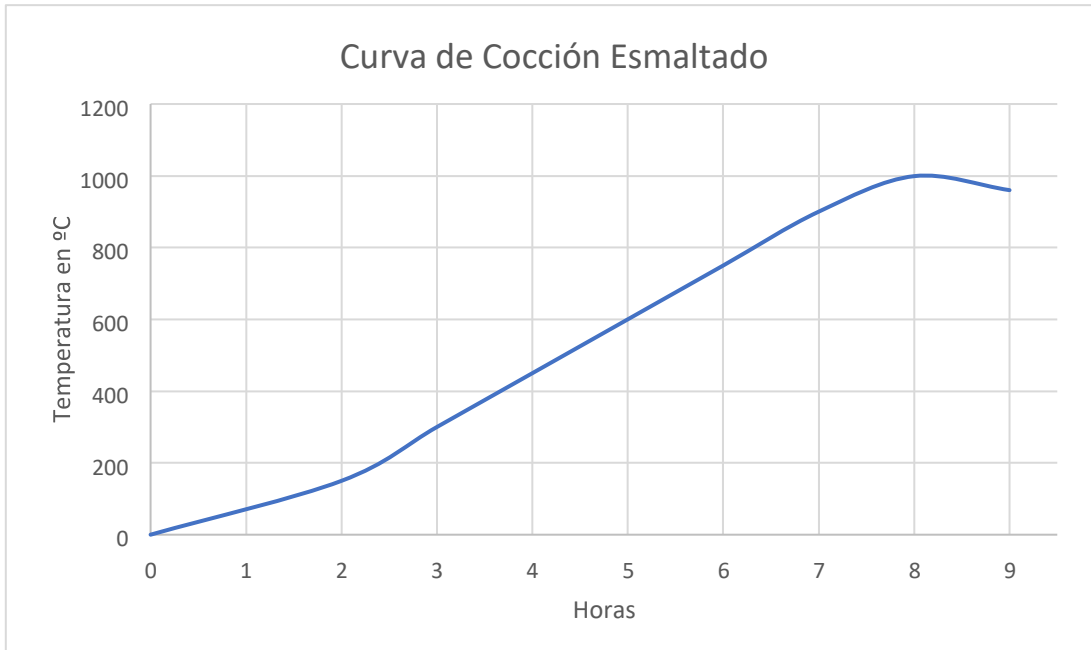


Tabla 2 Curva de temperatura para quema de esmaltes.

Se repite el proceso de enfriamiento, hasta que el horno internamente alcance una temperatura inferior a los 30° C, permitiendo una manipulación segura de este y la pieza cerámica.



Imagen 20 Pieza de cerámica finalizada.

En este punto culmina el proceso completo de fabricación de piezas cerámicas por medio de métodos tradicionales, enfocado sobre todo en la aplicación y trabajo manual desde su comienzo.

Este proceso, por medio de la metodología tradicional, tuvo una duración aproximada de 10 días. Donde el desarrollo de la matriz tomó alrededor de dos días, incluyendo su permeabilización y acabado superficial. Por otro lado, la fabricación de las cavidades de molde tomó un tiempo de cuatro, días incluyendo el proceso de secado. Luego de que hayan cumplido este requerimiento, el vaciado, quemado y esmaltado de las piezas cerámicas puede ser asumido como un proceso estándar, independientemente de la técnica implementada.

Modelo de transformación digital

Para este caso de estudio se plantea el desarrollo de un molde con dos cavidades. Se inicia con el modelado 3D del producto a obtener, este modelo es una representación digital de la pieza final con una estructura sólida, a este modelo se le puede referir también

como “matriz de moldeo digital”, ya que una vez finalizada, esta será utilizada para generar las cavidades del molde de forma digital.



Imagen 21 Matriz de moldeo digital completamente modelada en software CAD.

Con el modelo 3D de la pieza ya finalizado, se procede a crear las cavidades del molde de forma digital, utilizando la matriz de moldeo digital como geometría de sustracción. Es necesario tener en consideración un factor importante de los moldes para fabricación piezas cerámicas. Este factor es la ampliación volumétrica de cada cavidad, esta ampliación se debe realizar en todas las superficies externas de la cavidad, exceptuando aquellas que están definidas por una línea de partición.

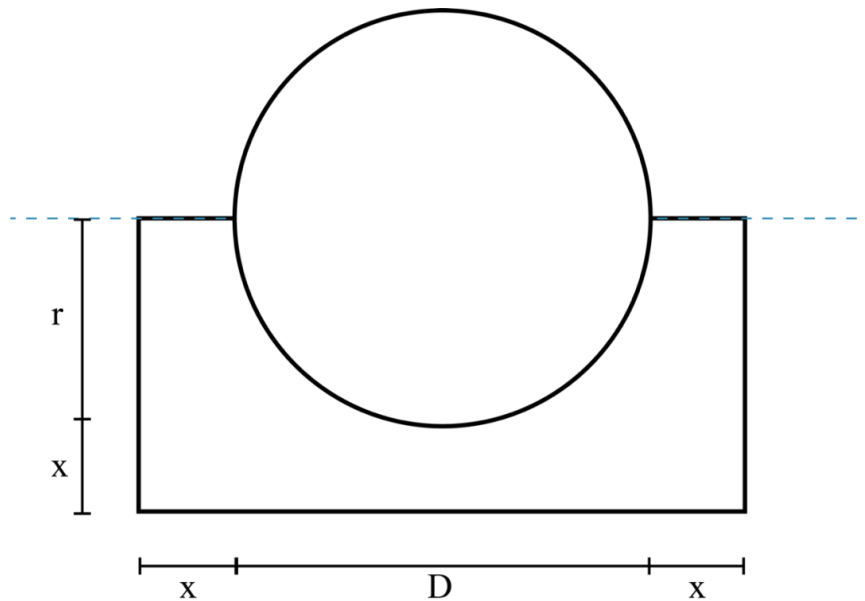


Imagen 22 Diagrama de ampliación volumétrica.

La anterior imagen se interpreta de la siguiente forma: “D” es el diámetro de la matriz de moldeo, “r” es el radio de la matriz de moldeo y “x” es el factor de ampliación volumétrica. Este factor es decisión del fabricante, pero se recomienda tener como mínimo 2,5 centímetros, pero se puede llegar hasta los 4,5 cm. La razón para esta ampliación volumétrica de las cavidades es para que cada una de estas, tenga el suficiente material (yeso) para absorber agua de la mezcla de barbotina. Tener un rango de $2,5 \text{ cm} < x \leq 4,5 \text{ cm}$ es una forma simple de asegurarse que las cavidades sean óptimas para el trabajo.

Considerando el factor de ampliación volumétrica de las cavidades, se proceden a realizar las cavidades digitales, estas son geometrías prismáticas rectangulares, con una sustracción de material de la matriz de modelo digital. Obteniendo algo similar a como se presenta a continuación.

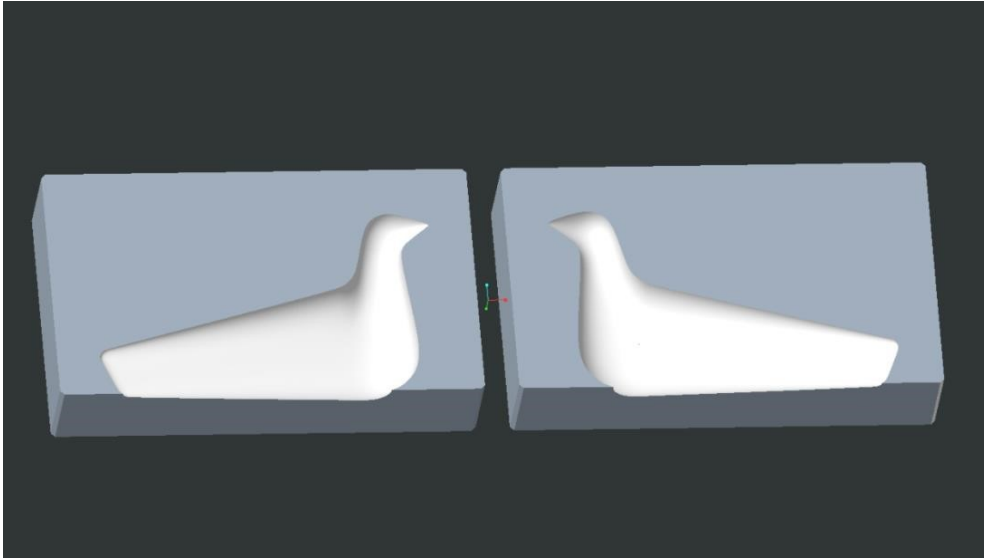


Imagen 23 Cavidades del molde preparadas para el proceso de manufactura.

Estas cavidades son luego, transferidas a un software de manufactura CAM, donde se realiza un proceso de preparación de parámetros para el mecanizado las cavidades en una máquina de ruteado CNC, obteniendo trayectorias de mecanizado. El proceso de generación de trayectorias de herramientas comienza con la selección de la herramienta de corte adecuada para el trabajo. Luego, el software CAM calcula la trayectoria de la herramienta en función del diseño de la pieza dada y los parámetros de corte especificados por el usuario, como la profundidad de corte, la velocidad de corte y la velocidad de avance.

El software genera la trayectoria de la herramienta descomponiendo el modelo digital de la pieza en una serie de secciones 2D y 3D. Luego, las secciones se procesan para crear un conjunto de coordenadas X-Y-Z que definen la trayectoria que seguirá la herramienta de corte a medida que mecaniza el material de yeso. El software de trayectorias de herramientas también incluye funciones para optimizar la trayectoria de la herramienta, como minimizar el número de cambios de herramienta y reducir la cantidad de material que debe ser removido.

Una vez que se genera la trayectoria de la herramienta, se envía a la máquina CNC, que sigue la trayectoria para cortar el de yeso y crear el molde final. La precisión de la trayectoria de la herramienta es fundamental para la calidad del molde, ya que cualquier error o inexactitud en la trayectoria de la herramienta puede resultar en un molde mal formado.

En resumen, la generación de trayectorias de herramientas es un elemento crítico en la creación de moldes de yeso precisos y de alta calidad en el proceso de herramientas CNC.

Una vez definida la trayectoria y el código para el equipo CNC, los moldes son ubicados y preparados para el proceso de manufactura, esto nos permite obtener, en un solo proceso continuo de ruteado, ambas cavidades del molde.



Imagen 24 Proceso de mecanizado de bloques de yeso.

Con el proceso de mecanizado finalizado, se asegura de retirar el excedente de material particulado residual utilizando aire comprimido, que pueda afectar o contaminar la mezcla de barbotina. Una vez limpios, las cavidades son ensambladas y aseguradas, utilizando el mismo método que en el caso de fabricación tradicional, bandas de caucho, asegurando un sellado uniforme alrededor de todo el molde.



Imagen 25 Bloques de yeso mecanizados con la forma final.

A partir de este punto, el proceso de fabricación restante es el mismo que en el caso anterior. Se hace el vaciado de barbotina, se asegura que el nivel de esta se mantenga en el mismo nivel con la superficie superior del molde. Luego se retira el material excedente del interior del molde, para después dejar reposar la pieza dentro de este y seque parcialmente. Finalmente se retiran las cavidades con cuidado, verificando que la pieza cerámica no esté adherida aún a las cavidades para retirarla completamente y dejar secar para los procesos de quema bizcocho y de esmaltado.



Para este caso de estudio, el proceso completo tuvo una duración de 5 días, donde los procesos que más tiempo requirieron fueron las quemas de bizcocho y esmaltado de la pieza. Pero se logró una reducción de 5 días, ya que los procesos de fabricación de la matriz de moldeo y el desarrollo de las cavidades del molde, se vieron significativamente beneficiados en su tiempo y eficacia de producción, permitiendo así, realizar vaciados de barbotina momentos después de que las cavidades terminaran su proceso de manufactura.

Comparación Casos de Estudio

Caso de Estudio Tradicional	Caso de Estudio Transformación Digital
<ul style="list-style-type: none"> • Métodos de fabricación mayoritariamente manuales. • Proceso de fabricación manual de las cavidades de molde. • Los tiempos de fabricación son elevados en las fases de fabricación de la matriz de moldeo y de las cavidades. 	<ul style="list-style-type: none"> • Métodos de mixtos. • Se omite el proceso de fabricación manual de la matriz de moldeo. • Proceso de fabricación automatizada para las cavidades del molde. • Los tiempos de fabricación de las cavidades de molde son reducidos

<ul style="list-style-type: none"> Alta probabilidad de fallos y reprocesos por intervención manual. 	<p>por la implementación de tecnología CNC.</p> <ul style="list-style-type: none"> Alta exigencia en manejo de software CAD/CAM para aplicar técnicas.
---	---

Conclusiones

- La fabricación de la matriz de moldeo en el caso de estudio tradicional toma alrededor de un día, teniendo en cuenta el proceso completo de acabado superficial que debe obtener esta matriz.
- En el caso de estudio de método tradicional, el proceso de fabricación de las cavidades del molde conlleva una gran cantidad de tiempo de trabajo manual, aproximadamente cuatro horas para la fabricación de tres cavidades. El proceso de secado del yeso es un proceso estándar en ambos casos, este tiene una duración de entre 8 a 12 horas.
- A diferencia del método tradicional, el proceso del método de transformación digital requiere menos trabajo manual, este únicamente se presenta al momento de la fabricación de los bloques de yeso para el mecanizado y en la etapa de vaciado, esta última siendo un proceso similar en ambos casos.
- La flexibilidad que otorga el diseño 3D de la matriz digital de moldeo, en el caso de transformación digital, permite realizar cambio y análisis visuales antes de proceder con el proceso CAM.
- Las etapas de vaciado de barbotina, quemado de la pieza bizcocho, aplicación del esmalte y quema de esmaltado, son etapas estándar en ambos casos, la gran diferencia entre estos es durante las etapas de fabricación de la matriz de moldeo, preparación de cama y caja (para el caso tradicional), vaciado de las cavidades del molde (método tradicional) y el vaciado de los bloques de yeso (método de transformación digital).
- El caso de transformación digital permite reducir los tiempos de trabajo durante la etapa de fabricación del molde, permitiendo ahorrar aproximadamente 2 días de trabajo manual continuo, además, otorgando flexibilidad y precisión al momento de diseñar la matriz de moldeo.

Recomendaciones

- Es una buena práctica, solicitar o buscar las fichas técnicas de los materiales que se van a utilizar, ya que cada proveedor o fabricante puede tener una formulación diferente.
- Se recomienda ser muy cuidadoso y detallista al momento de fabricar las cavidades del molde ya que, al realizar una buena cama para la matriz de moldeo en el método tradicional, asegura un buen sellado entre las cavidades y se obtiene un molde de buena calidad.
- El método de fabricación de transformación digital presenta una curva de aprendizaje elevada, ya que requiere del manejo y entendimiento de software CAD/CAM, los cuales son cruciales para poder llevar a cabo este método.
- Es recomendado realizar el proceso de fabricación de piezas cerámicas por el método tradicional varias veces, para así comprender cuales son las consideraciones más importantes al momento de trabajar con estos materiales, y transportar este conocimiento al método de transformación digital, el desarrollo se facilita considerablemente.

Referencias

- Aguilar Alayo, J. G. (2018). Equipos, herramientas y materiales en la elaboración de moldes para cerámica.
- Alberro, D. (2014). Barbotinas de colada. Barbotinas de colada: preparación y uso. Recuperado 14 de octubre de 2022, de <https://sites.google.com/site/barbotinasdecolada/home>
- Cantón, V. & Manuel, J. (s. f.). *Caracterización de placas de falso techo de escayola y su reciclado* [Trabajo de Grado]. Universidad de Almeira.
- Carvajal, A., & Moreno, R. (1988). Estudio de algunas propiedades de los moldes de escayola para el colaje de materiales no arcillosos. *Bol Soc. Esp Ceram V*, 27, 11-5
- Crelin, J. (2018). *CAD/CAM fields of study*. Salem Press.
- Cueva, D. A. (2020, diciembre). Transformación digital en la universidad actual. *Revista Conrado*, 77, 483-489.

- Echeverri Tabares, C. M., & Santacruz Restrepo, R. A. (2019). Medifit Impresión 3D.
- Flores Lueg, C. (2014). Competencia digital docente: desempeños didácticos en la formación inicial del profesorado. *Revista Científica de Educación y Comunicación. Hachetepe*, (9), 55-70. <https://doi.org/10.25267/Hachetepe-pe.2014.v2.i9.6>.
- Gutiérrez, C. A., López-Cuevas, J., Rendón, J., Rodríguez-Galicia, J. L. & Cruz-Álvarez, J. (2018, 3 abril). Effect of Water/Plaster Ratio on Preparing Molds for Slip Casting of Sanitaryware; Rheology of the Initial Plaster Slurry, Microstructure and Mold Properties. *Transactions of the Indian Ceramic Society*, 77(2), 84-89. <https://doi.org/10.1080/0371750x.2018.1475262>
- Hodgson, B. A., & Pitts, G. (1989). Designing for CNC Manufacture. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 203(1), 39–45. https://doi.org/10.1243/pime_proc_1989_203_146_02
- Lee, E. (2020). *Computer-aided design (CAD)* (N.º 89316938). Salem Press Encyclopedia of Science.
- Méndez, V., López, C. & Hernández, M. (2016, abril). Taller de cerámica artesanal desarrollado en el instituto tecnológico superior de Fresnillo. *Congreso Internacional de Investigación e Innovación*, 2, 7866-7874. https://www.researchgate.net/profile/David-Agudelo-Gutierrez/publication/334045358_EL_MODELO_DE_GESTION_DE_LA_ORGANIZACION_QUE_CREA_CONOCIMIENTO_EN_LAS_EMPRESAS_SOCIALES_COMUNITARIAS_DE_MEXICO_APROXIMACIONES_TEORICAS/links/5d13c3f6299bf1547c821826/EL-MODELO-DE-GESTION-DE-LA-ORGANIZACION-QUE-CREA-CONOCIMIENTO-EN-LAS-EMPRESAS-SOCIALES-COMUNITARIAS-DE-MEXICO-APROXIMACIONESTEORICAS.pdf#page=1562
- Montané Palomo, C. (2018). Idea, desarrollo y validación de un modelo de negocio basado en la impresión 3D: THink in 3D.
- Montoya, J., & Flórez, L. (2022). Manufactura aditiva: tendencias, retos y caso de estudio en impresión 3D de hidrocoloides. *Manufactura y gestión del ciclo de vida del producto (PLM)*, 268-280.

- Newman, S., Allen, R., & Rosso, R. (2003). CAD/CAM solutions for STEP-compliant CNC manufacture. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 16(7-8), 590-597. <https://doi.org/10.1080/0951192031000115688>
- Puma, C. & Maykol, J. (s. f.). *Sistemas CAD, CAM* [Monografía]. Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán Valle.
- Hatna, A., Grieve, R. J., & Broomhead, P. (1998). Automatic CNC milling of pockets: geometric and technological issues. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 11(4), 309-330.
- Potter, N. (2002). What Is a Designer. In *What is a Designer* (Vol. 4, pp. 7-177). Amsterdam University Press.
https://hyphenpress.co.uk/samples/17/WIAD_sample.pdf
- Vidal, A. (2019). Nadie nace sabiendo: los aprendices en la cerámica hecha a mano. *Treballs d'Arqueologia*, 23, 237-257.