



Análisis y descripción gráfica del funcionamiento de los hornos cerámicos

Grupo de trabajo 411. Curso 2014/15. Escuela de Arte Francisco Alcántara

**Análisis y descripción gráfica
del funcionamiento de los hornos cerámicos.**

Madrid, a 8 de mayo de 2015

PRÓLOGO

El presente trabajo está dirigido a ser un material didáctico que facilite la comprensión del proceso de cocción de los materiales cerámicos.

La bibliografía existente sobre el tema es, o bien meramente divulgativa, o bien sumamente técnica. En cualquiera de los dos casos, se ajusta poco a las necesidades didácticas de las enseñanzas profesionales de cerámica. Por otro lado, se puede encontrar mucha información sobre tipos de hornos concretos pero es más complicado hacerse con algún texto que estructure las distintas tipologías de hornos y las relacione con los procesos físico - químicos que influyen en el proceso de cocción. Cubrir esta necesidad didáctica es la intención fundamental de este trabajo.

No cabe dudar sobre la importancia del conocimiento del proceso de cocción y su influencia en el resultado final del producto cerámico. Este proceso está condicionado por varios factores que podemos agrupar en dos categorías:

- **Los procesos físico - químicos que tienen lugar durante la cocción.**
- **La disposición y estructura de los distintos tipos de hornos.**

En la introducción al trabajo se describen los siguientes conceptos:

Transmisión del calor.

Aislamiento.

Combustibles.

Circulación de gases.

Oxidación.

Reducción.

Vitrificación.

Las fichas descriptivas analizan la disposición y funcionamiento de ejemplos que ilustran las tipologías más extendidas históricamente, agrupadas en tres categorías:

Tiro cruzado.

Tiro invertido.

Tiro superior.

En estas fichas se completan las informaciones escritas con ilustraciones que permitan entender el funcionamiento del horno. La información gráfica de que dispone la bibliografía existente resulta, en general, demasiado esquemática y difícil de relacionar con una percepción intuitiva de la forma y estructura de los hornos. Este trabajo intenta incidir en este aspecto.

Para finalizar, se describe un horno existente en la Escuela de Cerámica de la Moncloa, que puede resultar muy útil a la hora de relacionar la información que aporta el documento con la realidad.

RECONOCIMIENTO

Este trabajo está basado en el libro “THE KILN BOOK” del autor Frederick L. Olsen.

En esta colosal monografía hemos encontrado los datos fundamentales que hemos intentado completar, con intenciones puramente didácticas, a base de ampliar la información gráfica y estructurar la información de manera fácil de asimilar, así como ponerla en relación con conceptos físicos y químicos.

AUTORES

La investigación bibliográfica y la elaboración del documento se ha llevado a cabo durante el curso 2014 - 15 por los profesores de la Escuela de Arte Francisco Alcántara

Isabel Blasco Castiñeyra

Javier Ferrero Barrio

Carlos García Estades

Roberto González Sanz

Estos profesores constituyen el grupo de trabajo 411 del curso 2014/15

BIBLIOGRAFÍA

The Kiln Book. / Frederick L. Olsen. / Krause Publications.

Hornos para ceramistas. / Daniel Rhodes. / Ediciones CEAC.

La cocción de productos cerámicos. / Leone Padoa. / Ediciones Omega.

Construcción de hornos. / Ian Gregory. / Editorial Gustavo Gili.

Inside Japanese Ceramics. / Richard L. Wilson. / Weatherhill Editions.

Salt Glazed Ceramics. / Jack Troy. / Warson-Guption Publications.

Lustres. / Margery Clinton. / Batsford Ltd. Editions.

The Potters Dictionary of Materials and Techniques / Frank Hammer / Pitman Publishing.

Cerámica industrial Tomo 10 / Singer / Editorial Urmo.

Cerámica fina / F. H. Norton / Ediciones Omega.



Este trabajo está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Introducción

Para que la arcilla perdure es necesario someterla al proceso del calor, ya que durante la cocción la pieza cerámica sufre una serie de transformaciones físico-químicas que otorgan a la arcilla cocida sus valoradas propiedades de dureza y resistencia, además de una gran variedad de posibilidades estéticas. El horno es el instrumento que posibilita dicho proceso. Hay muchos puntos de vista que pueden adoptarse a la hora de elaborar una clasificación de los hornos cerámicos como, por ejemplo, su evolución histórica, el tipo de combustible utilizado, la tipología constructiva, etc. En este caso vamos a centrarnos en tres características para clasificar los distintos hornos:

- Detalles estructurales
- Procesos físicos
- Procesos químicos

La importancia de los detalles estructurales es evidente si consideramos que el horno es un espacio que debe contener las piezas a cocer, así como retener la máxima cantidad del calor producido en su interior.

Respecto a los procesos físicos hay un aspecto que sobresale en la clasificación de los hornos, la circulación del calor en el interior del horno. Según el recorrido del aire en el interior del horno, en los hornos de combustión diferenciaremos entre los de tiro cruzado, de tiro invertido y de tiro superior.

Finalmente, los procesos químicos que se dan en el interior del horno son el factor más importante a la hora de explicar los resultados obtenidos en la cerámica cocida. Así, puede cocerse en atmósfera reductora u oxidante, pueden hacerse cocciones a la sal, se pueden provocar superficies lustrosas, cristalizaciones, ahumados, etc.

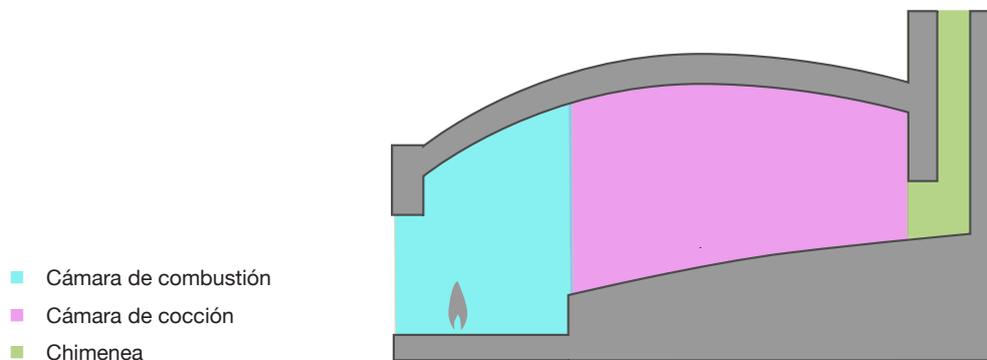
Si bien es posible distinguir estos procesos de forma teórica, hay que entender el horno como una estructura única en la que todas las características mencionadas se complementan entre sí para producir un resultado en cierto modo único. Los detalles estructurales influyen directamente sobre los procesos físicos y químicos que se dan en el interior del horno, y los procesos químicos que afectan a la cerámica se logran como consecuencia de ciertos procesos físicos.

En este trabajo describiremos las características enumeradas arriba y las ilustraremos con ejemplos en dos y tres dimensiones elaborados para tal fin. Trataremos de ejemplificar con cada modelo de horno representado las diferencias existentes en cuanto a estructura, procesos físicos y procesos químicos.

DETALLES ESTRUCTURALES

LA GEOMETRÍA DEL HORNO

Al describir la estructura del horno pueden distinguirse dos aspectos diferenciados: la forma del horno y los materiales empleados en su construcción. Describiremos por separado ambos aspectos.



En cuanto al horno como espacio para la cocción podemos separar tres zonas en la mayor parte de los hornos: la cámara de combustión, la cámara de cocción y la chimenea. Sin embargo, como suele ocurrir en cerámica, hay innumerables excepciones que se salen de la norma. Por ejemplo, suele distinguirse entre hornos unicamerales y multicamerales, siendo los primeros aquellos en los que no hay una diferenciación entre la cámara de combustión y la de cocción, ya que cacharros y combustible se apilan unos con otros, como en los hornos de hoyo o de barril. Aunque los hornos de hoyo pertenecen a etapas muy primitivas de la cerámica se han utilizado hasta época reciente, y los hornos de barril son ampliamente utilizados todavía. En los multicamerales, en cambio, sí hay una separación entre las zonas de combustión y de cocción, pudiendo haber más de una de cada clase. Por ejemplo, en los grandes hornos de botella que se utilizaban en Europa para cocer la porcelana solía haber varias zonas de combustión donde se quemaba el carbón y, por otro lado, en Oriente construían grandes hornos con múltiples cámaras de cocción que podían llegar a medir unos cien metros. Otro aspecto formal importante es el que define la circulación del aire dentro del horno. Tal como vimos en la introducción, los hornos pueden ser de tiro superior, de tiro cruzado, o de tiro invertido. En los primeros, el aire circula simplemente desde la cámara de combustión, abajo, hacia la salida en la parte superior del horno. Así, el aire caliente sigue su camino más natural desde abajo hacia arriba. En estos hornos la chimenea puede no estar diferenciada, ya la propia geometría del horno hace las veces de chimenea. Ejemplos de este tipo son el ya mencionado horno de botella o los hornos romanos y árabes, estos últimos tan ampliamente utilizados en los alfares tradicionales repartidos por toda la geografía peninsular.

En los hornos de tiro cruzado, el aire recorre la cerámica en sentido aproximadamente horizontal desde un extremo del horno, donde se produce la combustión, hasta el otro, donde se encuentra la boca de la chimenea. Ejemplos de ello son el anagama, que es un horno japonés primitivo excavado en el terreno aprovechando alguna pendiente, o los primeros hornos

industriales para cocción de ladrillos, u hornos actuales construidos con esta geometría que ilustraremos más adelante en este trabajo.

Por último, encontramos los hornos de tiro invertido, en los cuales el recorrido del aire primero sube desde la cámara de combustión para después bajar mientras atraviesa los cacharros y salir por debajo de estos hacia la chimenea. Esta clase de hornos está muy ampliamente difundido entre los ceramistas de estudio modernos y suele ser el tipo preferido para hornos de mampostería de tamaño pequeño a mediano y cocciones de leña. No hay ejemplos históricos comunes de este tipo de hornos ya que su invención es de época relativamente reciente.

DETALLES ESTRUCTURALES

MATERIALES

Podemos pensar en un horno cerámico como una estructura cerrada destinada a mantener el calor en su interior de la forma más eficaz posible y por ello, uno de los aspectos más importantes al evaluar la eficiencia de un horno son los materiales con los que está construido. En este sentido, la evolución desde los hornos tradicionales a los que se construyen en la actualidad es notable, ya que en nuestros días existen materiales de gran capacidad aislante como los ladrillos refractarios blandos o la fibra cerámica. Baste como ejemplo un pequeño horno de laboratorio que puede desarrollar en su interior temperaturas cercanas a los 1300°C y sin embargo, es posible tocar su superficie exterior aislada mediante una sola capa de ladrillos refractarios blandos.

En la construcción de hornos pueden distinguirse actualmente tres tipos de materiales: ladrillos refractarios duros, ladrillos refractarios blandos y fibra cerámica, aunque siempre hay alternativas, como algunos hornos construidos a partir de arcillas refractarias o a partir de restos sin formas regulares provenientes de desechos de materiales refractarios.

Entre los ladrillos duros y los ladrillos blandos y la fibra cerámica hay una diferencia muy importante en cuanto a la resistencia. Los ladrillos duros son muy resistentes y pueden utilizarse en cualquier zona del horno sin sufrir demasiado por el esfuerzo que supone el peso que soporta como, por ejemplo, en la construcción de chimeneas. Sin embargo, los ladrillos blandos y la fibra no están preparados para sufrir grandes esfuerzos porque son bastante blandos. Por ejemplo, no puede hacerse una solera con ladrillos blandos ya que esta se desharía fácilmente debido al continuo trasiego de los cacharros en la carga y descarga del horno. La gran ventaja de ladrillos blandos y fibra es su poder aislante, son los mejores aislantes refractarios y, por ello, su uso es casi obligado en la construcción de cualquier horno. Para compensar su baja resistencia suelen enclaustrarse en estructuras metálicas como, por ejemplo, sucede en todos los hornos eléctricos. Otra ventaja importante es su ínfimo coeficiente de dilatación que permite construir el horno sin tener en cuenta juntas de dilatación, imprescindibles con otro tipo de materiales debido a las enormes diferencias de temperatura que se desarrollan durante la cocción cerámica. Finalmente, una ventaja a favor de los ladrillos blandos

es la facilidad con la que pueden cortarse con un serrucho para adaptar su forma al construir cúpulas o estructuras curvas.

Otro factor a tener en cuenta es la inercia térmica de los diferentes materiales, esto es, la capacidad de mantener la temperatura una vez que cesa el suministro de calor, lo que tiene una influencia muy directa en el enfriamiento del horno. Aquí, los materiales con mayor inercia térmica son los ladrillos duros, seguidos de los ladrillos blandos, y la fibra es el material con menor inercia térmica. En general, se considera que lo más adecuado en cerámica es una elevada inercia térmica para conseguir un enfriamiento lento y gradual, por ello, son preferibles los ladrillos a la fibra, que provoca un enfriamiento bastante rápido del horno.

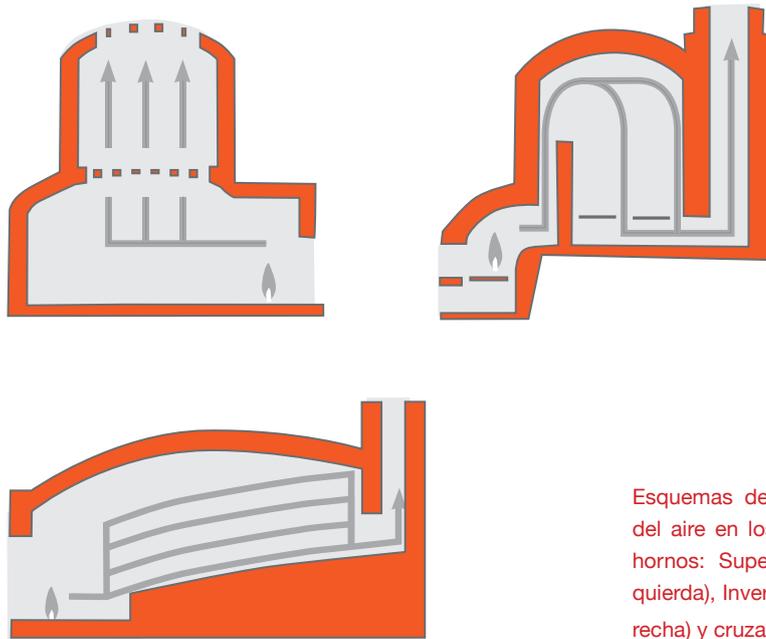
Un problema adicional de la fibra cerámica es que está formada por unas fibrillas de dimensiones minúsculas que, al romperse, se desprenden al medio ambiente y son tóxicas, por lo que debe manipularse con guantes y mascarilla durante la construcción del horno. Por este motivo y la baja inercia térmica de la fibra, hay ceramistas que prefieren evitarla en beneficio de los ladrillos a pesar de que la fibra es mejor aislante.

PROCESOS FÍSICOS CALOR

Hay dos magnitudes físicas cuya importancia resulta evidente para comprender el funcionamiento de los hornos: calor y temperatura. Ya hemos mencionado que los hornos son cavidades cuya eficacia se mide por la capacidad que tengan para retener el calor en su interior, ya que mediante la acumulación de calor se consigue el aumento de temperatura necesario que posibilita las distintas transformaciones de la arcilla durante la cocción. Comenzaremos aclarando los conceptos de calor y temperatura.

El calor es una forma de energía y se mide, por tanto, en julios (J) o calorías. Esta última unidad se introdujo en una época en la que aún no se comprendía bien la naturaleza del calor y por ello, se creó una unidad diferente para medirlo, que ha perdurado hasta nuestros días.

Hay dos fenómenos independientes a considerar en relación con los hornos cerámicos: cómo se produce el calor y cómo se transmite en el interior del horno. Empezaremos por lo último. Hay tres mecanismos de transmisión del calor: conducción, convección y radiación. La conducción es la transmisión a través de un cuerpo sólido, es un fenómeno similar a la conducción eléctrica y, también, hay materiales que son buenos conductores del calor y otros que no lo son. En relación con los hornos cerámicos la transmisión juega un papel muy importante en el aislamiento del horno, ya que el calor del interior del horno se escapa de este por conducción a través de las paredes. De ahí la importancia de utilizar materiales aislantes en la construcción del horno. Otro fenómeno de transporte es la convección, que es el transporte de calor por el movimiento de un fluido. Este es el fenómeno más importante en lo que respecta al calentamiento de la cerámica en un horno de combustión. En este caso, el aire es el fluido caliente que se mueve en el interior del horno. Como ya se ha descrito anteriormente, el tiro del horno hace circular el



Esquemas de la circulación del aire en los tres tipos de hornos: Superior (arriba izquierda), Invertido (arriba derecha) y cruzado

aire desde la cámara de combustión, a través de la cámara de cocción, hacia la chimenea, a través de la cual sale a la atmósfera. En este movimiento de convección se establece una transferencia de calor desde la cámara de combustión a la cerámica que provoca el aumento de temperatura necesario para la transformación de la arcilla.

Por último, la radiación es una emisión de energía característica de todos los cuerpos en función de la temperatura de los mismos. Es un proceso muy importante en el caso de los hornos eléctricos ya que, en este caso, el calentamiento de la cerámica no se produce por convección, ya que no hay circulación de aire en el interior del horno, sino por la radiación emitida por las resistencias del horno. Es un proceso similar al de una bombilla vulgar, que emite luz y calor por radiación electromagnética. En relación con este proceso es muy espectacular ver el interior de un horno cerámico por encima de los 1000°C, ya que a esta temperatura gran parte de la radiación electromagnética emitida pertenece al espectro visible por que que todo el interior del horno se enciende emitiendo una intensa luz.

Este último fenómeno, la radiación, nos introduce directamente en los mecanismos de producción del calor ya que, como hemos dicho, es el fenómeno responsable de la producción del calor en los hornos eléctricos. Pero los hornos eléctricos son algo muy reciente, casi una excentricidad si consideramos los hornos desde una perspectiva histórica. A lo largo de esta, el fenómeno dominante a la hora de producir el calor ha sido la combustión y, en particular, la combustión de la madera. Casi todos los hornos que se describen en este trabajo son hornos de leña que obtienen el calor de la quema de madera, sin embargo, hay que decir que en la actualidad, aunque su uso sigue vigente, son claramente minoritarios en relación con con hornos eléctricos y los de gas. Valga como ejemplo nuestra escuela de cerámica, en la que, a parte de alguna fiesta extraordinaria, se utilizan exclusivamente hornos eléctricos.

En relación con la combustión, que es un fenómeno químico, trataremos los aspectos que más atañen a los fenómenos físicos y la geometría del horno y estos dependen, básicamente, del combustible que se utilice. Podemos diferenciar tres tipos de combustibles: la madera o el carbón, el butano o el propano, y el gasoil, pues en cada caso habrá diferencias en el diseño del horno derivadas de las diferencias entre cada tipo de combustión. Para quemar madera o carbón necesitamos más espacio que para quemar gases o líquidos. Así, en la mayor parte de los hornos descritos en este trabajo aparece diferenciada la cámara de combustión, que es el lugar destinado para quemar la madera y debe ser suficientemente grande para permitir una buena combustión. Un ejemplo sencillo es la chimenea de una casa de campo, que nunca pasa desapercibida en la habitación donde se encuentre.

La clase de combustible utilizado para acumular el calor en el interior del horno también tiene una incidencia directa en el diseño del horno, ya que los diferentes combustibles tienen requisitos de espacio diferentes en el horno. Así, los hornos que precisan una cámara de combustión mayor son los de leña o carbón, siendo los únicos que precisan una cámara de combustión claramente diferenciada. Los hornos de gas o de gasóleo consumen el combustible por medio de quemadores, que no precisan de una cámara de combustión diferenciada. Entre los quemadores, los más sencillos son los de gas, ya sea propano o butano, y requieren poco espacio para la llama. Los quemadores de gasóleo, en cambio son mayores y de funcionamiento más complejo, y requieren un mayor espacio para la llama en el interior del horno.

PROCESOS FÍSICOS TEMPERATURA

El calor es la energía que posibilita los diferentes procesos que sufre la cerámica durante la cocción, pero la magnitud que nos permite controlar cuándo ocurren dichos procesos es la temperatura. Debemos entender la temperatura como movimiento, en el sentido de que cuanto mayor es la temperatura más acusado es el movimiento de las partículas que constituyen la materia. Así, a una temperatura suficientemente baja, el movimiento cesa. De acuerdo con este concepto se establece la escala Kelvin de temperatura, el cero Kelvin es un cero absoluto, no hay temperaturas inferiores porque a 0°K el reposo es absoluto. La escala que utilizamos habitualmente, la Celsius, se basa en las temperaturas de congelación y ebullición del agua al nivel del mar. Los cero grados Celsius corresponden a la temperatura de congelación del agua y los cien grados a la temperatura de ebullición. Las escalas Celsius y Kelvin son equivalentes excepto por el nivel cero, de modo que para pasar de una a otra solo hay que sumar o restar 273,15, ya que $0^{\circ}\text{K} = -273,15^{\circ}\text{C}$. Las temperaturas que se alcanzan en los hornos cerámicos varían entre unos 900°C , para las cocciones de baja temperatura, hasta los 1300°C para las de alta. A lo largo de ese recorrido, la cerámica se va transformando al sufrir una serie de procesos físicos y químicos que describiremos brevemente. Una de las primeras cosas que suceden es que la cerámica se seca, es decir, pierde el agua de plasticidad que contenía, proceso

que no se completa hasta sobrepasar los 100°C de temperatura en el interior del horno. Este es un proceso físico que nos sirve también para ejemplificar el concepto de temperatura como movimiento. A temperatura ambiente, las moléculas de agua permanecen unidas formando un líquido pero, a medida que aumenta la temperatura, el movimiento de las partículas es cada vez mayor hasta que, a 100°C, dicho movimiento es suficiente para vencer las fuerzas intermoleculares que mantienen las partículas unidas formando el líquido y se produce el cambio de estado de líquido a gas. Algo similar ocurre en la transformación de sólido a líquido que ocurre a 0°C. En este caso las partículas no pueden moverse libremente como en un líquido, sino que oscilan alrededor de sus posiciones de equilibrio en la red cristalina del sólido hasta que, a 0°C, la amplitud de dichas oscilaciones es lo suficientemente grande para que las partículas no recuperen sus posiciones de equilibrio, produciéndose entonces el cambio de estado de sólido a líquido. Como veremos más adelante, los materiales cerámicos son más complejos que las sustancias puras como el agua, por lo que el cambio de fase de sólido a líquido no ocurre a una temperatura concreta sino que es un proceso gradual que pasa por una fase previa de reblandecimiento. Tradicionalmente, para medir la temperatura en el horno, los ceramistas no disponían de otro método que la experiencia y el color de la atmósfera del horno. Sin embargo, según se han desarrollado las ciencias este proceso ha favorecido también la invención de nuevos métodos para controlar la temperatura.

Actualmente, hay dos métodos que se han generalizado: los conos Seger y los pirómetros basados en termopares. Los conos Seger son unas pequeñas pirámides cuya dimensión vertical es mucho mayor que las otras y cuya constitución es variable, pero siempre a partir materias primas cerámicas, de modo que permiten conocer la temperatura en un amplio rango que va desde los 600°C a los 2000°C, utilizando un sistema de conos numerados desde el 022 (600°C), 021, 020, ..., 05 (1000°C), 01, 1, 2, ..., 9 (1280°C), etc. Los termopares, por otra parte consisten en una pareja de cables metálicos unidos, que en el punto de soldadura producen corrientes eléctricas al variar la temperatura. Aprovechando este fenómeno, puede calibrarse un instrumento que mida la temperatura en base a la corriente que circula por la unión. Los hornos actuales suelen disponer de un pirómetro de este tipo que realimenta la electrónica de control del horno para posibilitar el funcionamiento desatendido del horno en función de una lógica programable. El termopar más común en los hornos de alta temperatura está constituido por rodio y platino, por lo que es una pieza bastante cara. En el siguiente apartado describiremos los distintos procesos químicos que afectan a la cerámica según aumenta la temperatura en el horno.

PROCESOS QUÍMICOS

En el apartado anterior hemos comenzado a describir los procesos cerámicos que ocurren en el horno conforme aumenta la temperatura. Solo vimos que, alrededor de 100°C, la cerámica acaba de secarse por la evaporación del agua de plasticidad. Describiremos a continuación los fenómenos que se van sucediendo, según aumenta la temperatura. Hay que remarcar que estos fenómenos son de naturaleza estadística y se dan ciertas diferencias

dependiendo de las materias primas, por lo que algunas temperaturas solo pueden interpretarse como referencias aproximadas.

El siguiente fenómeno también tiene que ver con el agua y es la transformación irreversible que se da en los materiales cerámicos cuando pierden el agua de constitución o agua química, transformación que sucede alrededor de 600°C. Por tanto, en torno a los 100°C y 600°C se produce en el interior del horno una gran cantidad de vapor de agua que sale por la chimenea. Otro fenómeno destacable es la descomposición y posterior combustión de la materia orgánica presente en la cerámica. La descomposición comienza alrededor de 200°C pero la combustión del carbón procedente de dicha descomposición no alcanza su clímax hasta, aproximadamente, 800°C. En relación con este fenómeno ocurre el defecto conocido en la industria del ladrillo como corazón negro, que suele producirse cuando el proceso de cocción es demasiado rápido y en el interior de los ladrillos no hay suficiente oxígeno para completar la combustión del carbón. En estos casos queda un remanente de carbón en el interior de los ladrillos, que perjudica su resistencia. Las curvas de cocción que suelen programarse en los hornos tienen en cuenta estos hechos y es bastante común programar una primera rampa hasta, aproximadamente, 120°C con una lenta subida de temperatura, después otra rampa con un crecimiento algo más rápido de temperatura hasta unos 600°C y, finalmente, una rampa bastante más rápida hasta la temperatura final de cocción. Otro hecho que refuerza este esquema de cocción es la inversión del cuarzo que ocurre a 573°C e implica cierta dilatación del cuarzo presente en la pasta.

Quizás el proceso físico-químico más importante que ocurre en el horno es el que puede denominarse con el nombre genérico de “sinterización” y que consiste en la consolidación de las diferentes materias primas que constituyen la pasta hasta formar una sustancia dura e inerte, tal como conocemos la cerámica cocida. Este proceso de sinterización es bastante complejo e incluye reacciones en estado sólido, formación de eutécticos, crecimientos cristalinos, formación de sustancias fundidas y fenómenos de transporte que, a su vez, dependen de la composición particular de cada pasta. Así, por ejemplo, hay pastas en las que los fenómenos de sinterización pueden llegar a alcanzar temperaturas elevadas, con abundante formación de sustancia líquida ligante pero sin deformación del cuerpo cerámico, lo que da lugar a pastas muy compactas y poco porosas como el gres y la porcelana; y hay otras pastas donde no es posible alcanzar temperaturas elevadas porque empiezan pronto los fenómenos de reblandecimiento y deformación, como en el barro rojo común. La cocción es un proceso complejo y hemos

descrito algunas de sus etapas más importantes pero, junto a estas se solapan otros procesos como la descomposición de los carbonatos, con abundante producción de gases debido al CO_2 que se produce en la reacción; las transformaciones del cuarzo, de las cuales se ha mencionado una de ellas; la formación de cristales aciculares de mullita que actúan como importante ligante en la estructura cerámica con el consiguiente aumento de su resistencia; los fenómenos relacionados con el hierro, que en mayor o menor proporción siempre está presente en las arcillas, etc. Todos estos procesos se describen en el gráfico de la página siguiente a partir de una imaginaria curva de cocción.

Sin entrar en detalles, también hay que mencionar las cubiertas vítreas que se aplican en crudo sobre los cacharros cerámicos y que durante la cocción llegan a fundirse completamente mediante un proceso similar al que hemos descrito sobre los cuerpos cerámicos pero que avanza más allá de la sinterización hasta alcanzar una fusión homogénea y completa de todos sus componentes para lograr objetos cerámicos impermeables o con determinadas características utilitarias y estéticas.

ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN DE UN OBJETO CERÁMICO

Para poder entender las transformaciones que ocurren en un objeto cerámico necesitamos conocer su naturaleza y los principales materiales que lo componen.

Los objetos de cerámica están formados a partir de PASTAS CERÁMICAS que no son más que una mezcla de componentes que cumplen diferentes funciones:

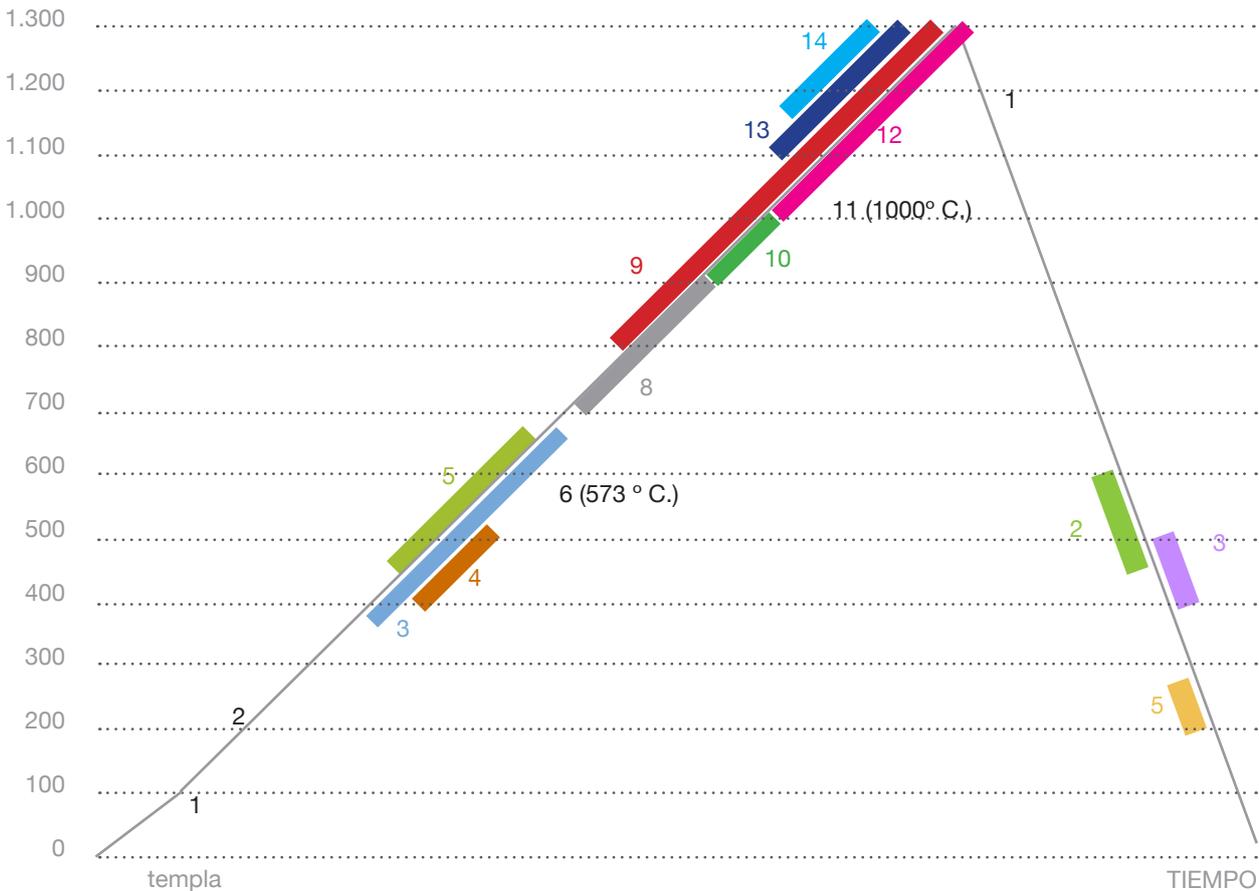
- Materiales plásticos: son los que aportan la capacidad de dar forma a las pastas. Son las arcillas y los caolines, ambos formados por caolinita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2 \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).
- Materiales antiplásticos: en crudo compensan el exceso de plasticidad y una vez cocidos aportan estructura y armazón a los objetos cerámicos. Son la sílice (en sus diferentes formas cristalinas: cuarzo, cristobalita y tridimita), la alúmina (Al_2O_3) y la chamota (barro ya cocido y triturado a la granulometría deseada)
- Fundentes: son los materiales de menor temperatura de fusión que ayudan a que fundir parcialmente a los materiales más refractarios. Los principales fundentes son los feldespatos

Además, las pastas cerámicas pueden tener otros componentes como los óxidos colorantes y otros que actúan variando sus propiedades físicas.

Algunos objetos cerámicos pueden tener un REVESTIMIENTO que está formado fundamentalmente por sílice (SiO_2) que funde en los hornos cerámicos gracias a la acción de los fundentes (óxidos como el Na_2O , K_2O , PbO , ...) que rebajan su temperatura de fusión. La sílice llega a alcanzar el estado líquido y se enfría a una velocidad lo suficientemente rápida para que no pueda volver a su estado cristalino, formando un vidriado amorfo sobre el cuerpo cerámico.

PROCESOS QUÍMICOS

Una vez descrito el funcionamiento de los hornos cerámicos describiremos, en forma de esquema, las principales transformaciones que sufren los cuerpos cerámicos durante su cocción en los hornos. Además del proceso que se produce a cada temperatura, se indican sus consecuencias fisico-químicas, ya que éstas pueden ser las responsables de la aparición de ciertos defectos o, simplemente, son las que van a determinar sus características finales.



TRANSFORMACIONES DURANTE LA COCCIÓN

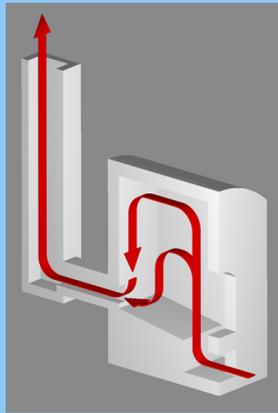
FASE DE AUMENTO DE LA TEMPERATURA (los números de los diferentes procesos se corresponden con los del esquema de la curva de cocción)

1. 100°C. Pérdida del agua de los poros.
2. 200-225°C. La cristobalita α se transforma en β (expansión del 3%)
3. 350-650°C. Combustión de la materia orgánica (\uparrow porosidad)
4. 425-510°C. Disociación de la pirita: $\text{FeS}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{SO}_2 \uparrow$ (emisión de gases)
5. 450 y 650°C. Pérdida del agua química (irreversible) Cambio cerámico
6. 573°C. Transformación del cuarzo α en β (expansión del 1%)

7. 800-950°C. Descomposición de los carbonatos y sulfatos: $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2\uparrow$, $\text{FeSO}_4 \rightarrow \text{FeO} + \text{SO}_3\uparrow$ (emisión de gases)
8. 700-900°C. Disociación del meta caolín en alúmina γ (cúbica) y SiO_2
9. A partir de 800°C. Fusión parcial. Los óxidos fundentes empiezan a fundirse y facilitan la fusión de la sílice. Contracción.
10. 900-1000°C. La alúmina γ se transforma en alúmina α (octaédrica). Alúmina + sílice + óxidos metálicos (CaO, MgO, FeO...) \rightarrow silicatos
11. 1000°C. En las cocciones muy lentas se puede formar tridimita.
12. >1000°C los silicatos se enriquecen en alúmina y se transforman en MULLITA ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) que cristaliza en forma de agujas.
13. 1100°C empieza a reducirse el óxido férrico (totalmente a 1230°C) y se libera $\text{O}_2\uparrow$
14. 1150°C Se empieza a formar cristobalita a partir de la sílice libre

FASE DE DESCENSO DE LA TEMPERATURA

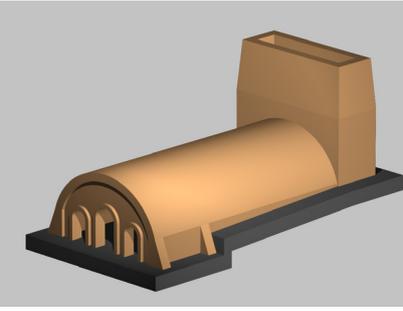
1. 1300°C-1000°C. El cuerpo es termoplástico. Si el enfriamiento es lento se pueden formar más cristales de cristobalita.
2. de 650°C a 600°C se solidifican los barnices de gres y porcelana
3. 500°C a 400°C se solidifican los barnices de baja temperatura
4. 573°C. El cuarzo β revierte a α con una contracción del 1 al 2%. El paso por esta temperatura debe ser lento y la atmosfera del horno uniforme para evitar la aparición de grietas causadas por una contracción irregular que produce tensiones.
5. de 250 a 200°C la cristobalita β revierte a α con una contracción del 3%.



HORNOS DE TIRO CRUZADO

Marmota
Anagama
Noborigama
Bizen

Horno marmota



DISEÑO

Horno tipo túnel rectangular de tiro cruzado con cámara de combustión en la zona frontal comunicada con la cámara de cocción, que queda ligeramente elevada mediante un escalón. En la parte posterior se encuentra la chimenea, también del mismo ancho que las otras dos cámaras. La comunicación entre la cámara de cocción y la chimenea puede ser, mediante una única entrada, o a través de numerosos huecos en la parte inferior (como en el modelo representado). En el primer caso es necesaria la construcción de dos columnas laterales que soporten el peso de la chimenea.

Las cámaras de combustión pueden variar en profundidad. Las menos profundas pueden tener chimeneas de menor longitud.

Hay dos tipos de hornos Marmota:

- a-Los semienterrados, que se construyen excavando en el suelo, de forma que la propia tierra del hoyo actúa como contrafuerte. En este tipo de hornos la puerta de carga es frontal (en la cámara de combustión).
- b-Los construidos sobre el terreno, que utilizan piedra u otro material de construcción como sistema de refuerzo. En este tipo de hornos la puerta de carga se sitúa en la parte posterior (en la chimenea).

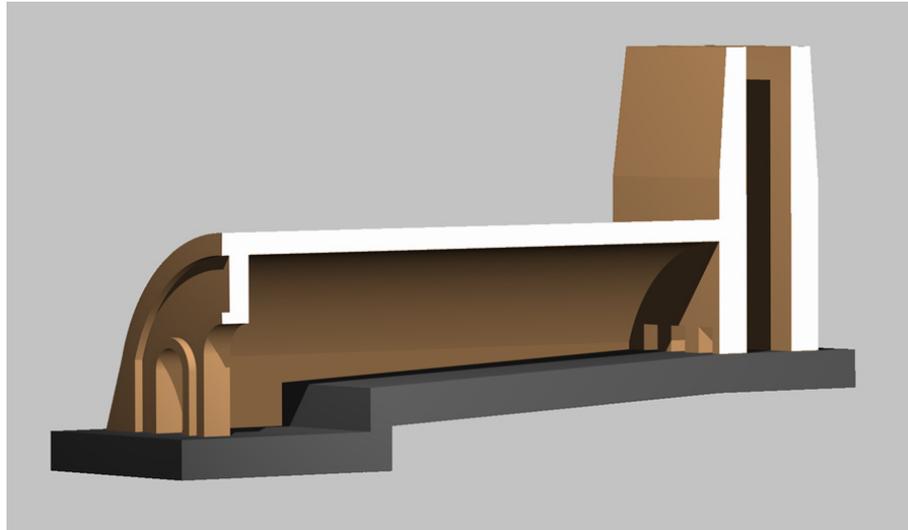
Ambos tipos de horno se cubren con tierra y escombros para evitar la pérdida de calor. En algún caso la tierra se mezcla con paja y cemento para conseguir un material parecido al adobe.

MATERIALES

Ladrillos refractarios (rectangulares en general y cónicos para las bóvedas). La construcción se realiza con la ayuda de listones de madera para construir la bóveda. Una vez construidos se recubren de tierra con escombros para evitar la pérdida de calor. En los hornos levantados sobre el terreno se utilizan contrafuertes de piedra como refuerzo.

DISTRIBUCIÓN DE LA CARGA

La diferencia de temperatura que se genera en este tipo de hornos permite que se realicen vidriados de alta y baja temperatura en la misma cocción. Los de alta temperatura se disponen en la zona anterior y central del horno (en las que se alcanzan temperaturas más elevadas) y los de baja temperatura en las zonas laterales de la parte posterior de la cámara de cocción. La baja temperatura alcanzada en estas zonas provoca que la pasta no vitrifique correctamente.



2. COCCIÓN



Un ejemplo de cocción, de una duración aproximada de treinta horas, es el siguiente:

- Empezar a encender pequeñas hogueras en los conductos de la cámara de combustión durante una hora.
- Introducir el fuego a la cámara de combustión y mantener una temperatura de unos 90°C durante 12 horas.
- Empezar a subir la temperatura del horno a unos 40°C por hora.
- Cuando se llega a los 540°C seguir subiendo la temperatura a unos 90°C por hora.
- La parte delantera alcanza los 1200°C y se empiezan a cargar totalmente los agujeros de carga frontales cada vez que la llama se retira dentro de la chimenea.
- Una hora después se empiezan a realizar las cargas laterales de la parte trasera. Se alcanza la temperatura del cono 12 en la parte delantera (unos 1326° C).
- Se acaba a unos 1315°C (cono 11) en la entrada de la chimenea.
- No se suele mantener meseta al final de la cocción.

3. FENÓMENOS FÍSICOS

En estos hornos el aire caliente se dirige a la parte superior de la bóveda de la cámara de cocción, desde dónde baja por la parte lateral del arco hasta el suelo. Este tipo de circulación hace que, en las zonas laterales de la parte posterior de la cámara de cocción, se alcance menos temperatura que en el resto de la cámara. Esta situación se acentúa en los hornos en los que la cámara de cocción se comunica mediante una entrada única y que poseen dos columnas laterales que dificultan el flujo del aire.

4. FENÓMENOS QUÍMICOS

COCCIONES A LA SAL

Fundamento: el óxido de sodio (Na_2O) que se forma cuando los diferentes tipos de sales se introducen en los hornos cerámicos a temperaturas muy elevadas, actúa como fundente de los componentes de las pastas: la sílice (SiO_2) y la caolinita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Esta fusión, seguida de un enfriamiento relativamente rápido hace que se forme un vidriado en la superficie de las pastas cerámicas.

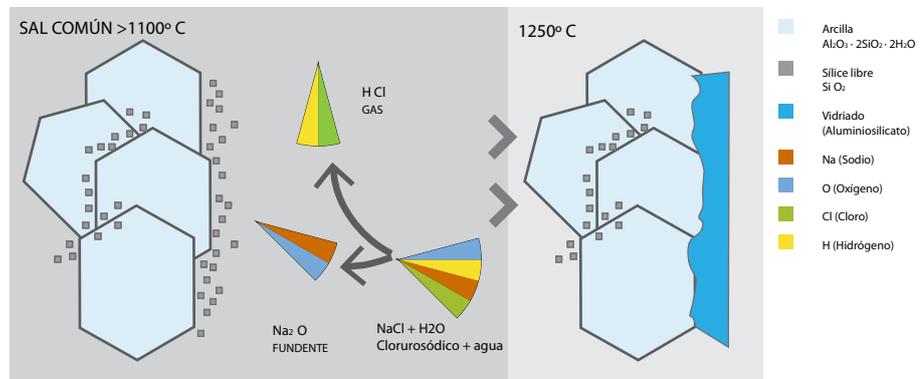
Las fórmulas de las reacciones que se producen al utilizar las diferentes sales son las siguientes:

Sal común:
cloruro sódico NaCl

$\text{NaCl} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}_2\text{O} + \text{HCl} \uparrow (\text{gas})$
cloruro sódico + agua \rightarrow óxido de sodio (fundente) + ácido clorhídrico

$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} (\text{fundente}) \rightarrow \text{VIDRIADO (Aluminosilicato)}$
Sílice + caolinita (componentes de la pasta) + óxido de sodio \rightarrow vidriado

El ácido clorhídrico es un gas muy activo que genera fuertes corrientes en la atmósfera del horno que hacen que el fundente se distribuya de forma regular sobre los objetos proporcionando unos vidriados de gran calidad. Sin embargo, existe el inconveniente de su gran poder corrosivo y su efecto contaminante sobre el medio ambiente por lo que estas cocciones fueron prohibidas a escala industrial.



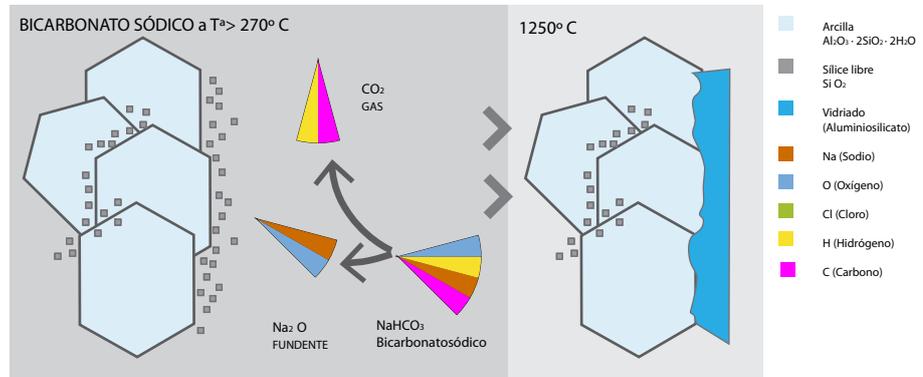
Bicarbonato sódico

$\text{NaHCO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}_2\text{O} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
Bicarbonato sódico + Agua \rightarrow Óxido de sodio + dióxido de carbono + agua

$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} (\text{fundente}) \rightarrow \text{VIDRIADO (Aluminosilicato)}$
Sílice + caolinita (componentes de la pasta) + óxido de sodio \rightarrow vidriado

El bicarbonato sódico se usa como alternativa no contaminante a la sal común pero presenta un inconveniente: el dióxido de carbono es menos contaminante y menos corrosivo pero no dispersa tan eficazmente el óxido de sodio. Para conseguir un reparto uniforme del fundente la sal debe ser pulverizada sobre las piezas lo que complica el procedimiento.

Horno marmota - Hornos de tiro cruzado



Carbonato sódico: cenizas vegetales

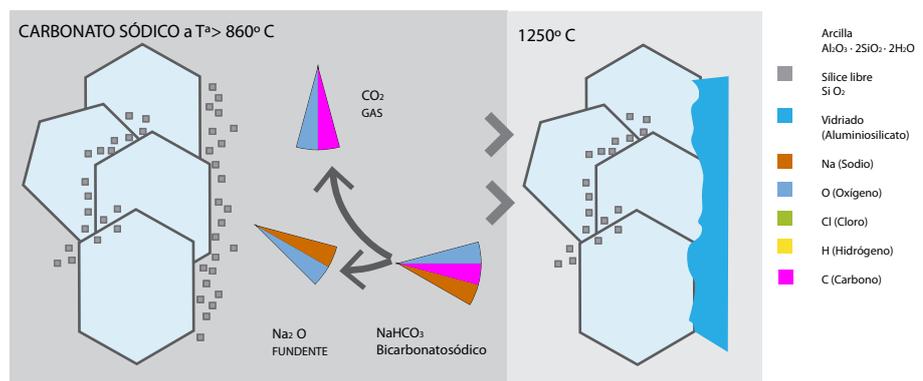


Carbonato sódico (principal componente de las cenizas vegetales) → óxido de sodio + dióxido de carbono



Sílice + caolinita (componentes de la pasta) + óxido de sodio → vidrioado

Las cenizas que se forman durante la combustión en los hornos de leña pueden proporcionar el óxido de sodio que actúa como fundente y formar un vidrioado sobre las pastas. La cantidad de fundente depende del tipo de cenizas.

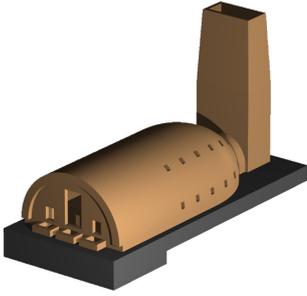


5. PRODUCTO CERÁMICO

Se utiliza principalmente para piezas de alta temperatura decoradas con engobes o con cubiertas a la sal. Existe la posibilidad de hacer cocciones en atmósfera oxidante o reductora.

También se pueden realizar cocciones de baja temperatura en la zona posterior del horno, como se ha indicado en el apartado de distribución de la carga.

Horno anagama

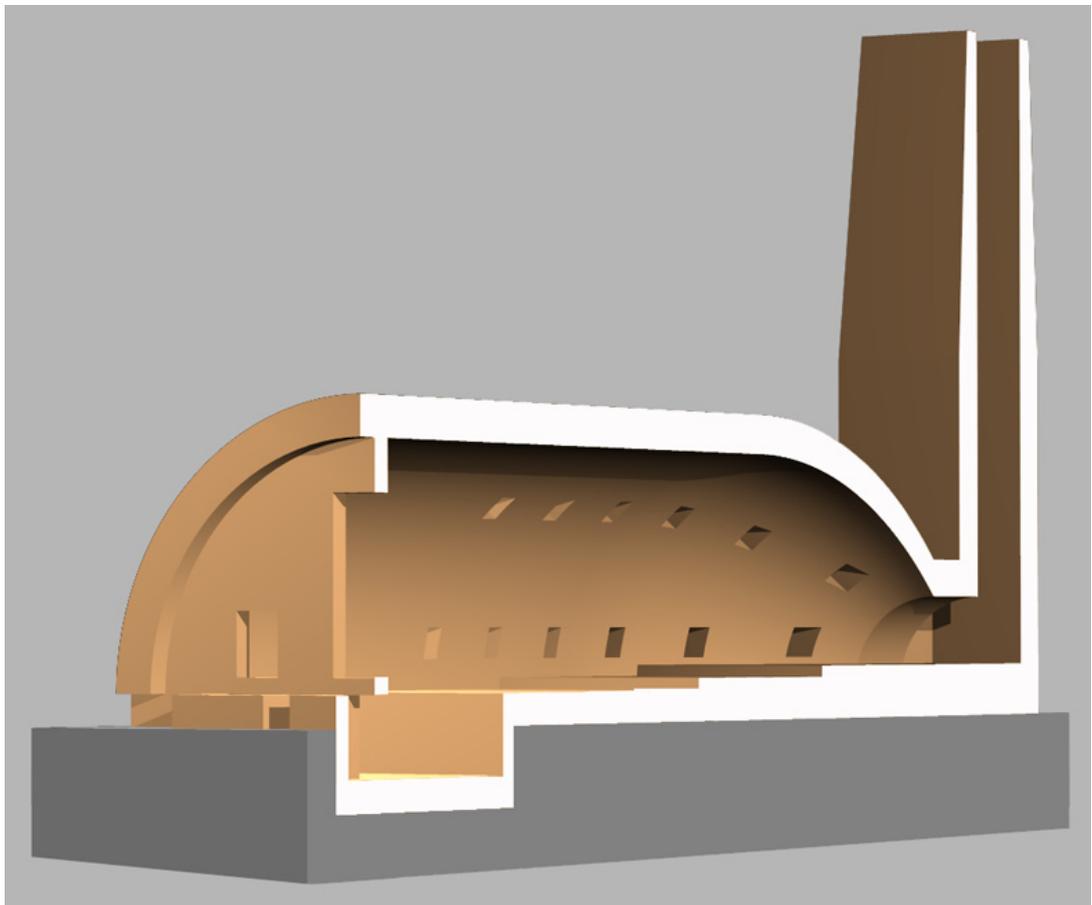


1. ESTRUCTURA

DISEÑO

Este horno es una variación del horno Marmota. La cámara de cocción se alarga y se estrecha en la parte posterior para dirigirse a la chimenea en forma de embudo. En esta zona se construyen orificios adicionales de carga de combustible para evitar la disminución de temperatura en las zonas laterales de la parte posterior de la cámara de cocción. En este tipo de hornos, la puerta de acceso a la zona de carga se encuentra en la parte delantera.

La cámara de combustión está excavada en el terreno y es bastante profunda. Para salvar este desnivel y acceder a la zona de carga es necesario instalar una pasarela durante la carga, que se retira para realizar la cocción. Las entradas de aire a la zona de combustión se construyen excavadas en el terreno en la zona anterior al muro de la cámara de combustión.



Horno anagama - Hornos de tiro cruzado



MATERIALES

Similares a los utilizados en el horno Marmota de la ficha 1.



DISTRIBUCIÓN DE LA CARGA

En este tipo de hornos la temperatura es uniforme en toda la cámara de cocción por lo que la disposición de la carga no está condicionada por este motivo.

2. COCCIÓN

El proceso de cocción es semejante al propuesto en la ficha anterior. Uno de los inconvenientes de este tipo de hornos es la enorme cantidad de combustible necesario.



3. FENÓMENOS FÍSICOS

FENÓMENOS FÍSICOS

En este tipo de horno se mejora la circulación del aire y se evitan las zonas en las que se alcanzaba menor temperatura (las laterales de la zona posterior).

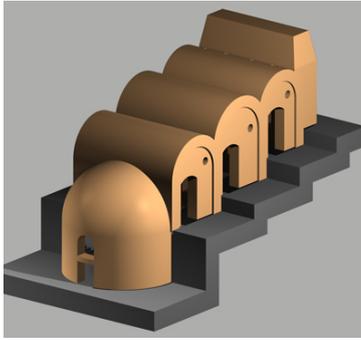
4. FENÓMENOS QUÍMICOS

La incorporación de orificios en la parte posterior permite la realización de cocciones a la sal en esta zona del horno.

5. PRODUCTO CERÁMICO

Objetos cerámicos de alta temperatura que se pueden decorar con cubiertas a la sal.





Horno noborigama

22

1. ESTRUCTURA

DISEÑO

Horno multicámara ascendente de pequeño tamaño construido en una ladera con escasa pendiente. La cámara inicial es la cámara de combustión y las cámaras sucesivas, dedicadas a la cocción, están construidas a distintos niveles ascendentes. Las cámaras de cocción tienen orificios laterales para la carga de combustible y una salida para el vapor de agua en la zona superior.

Las paredes laterales del horno están levemente inclinadas hasta la zona donde comienza el arco. Para evitar que se desplomen durante la construcción, las paredes se sujetan con codales de madera hasta que se cierra el arco.



Horno noborigama - Hornos de tiro cruzado



MATERIALES

Ladrillos de gran tamaño unidos con mortero refractario para el perímetro y ladrillos más pequeños para las zonas abovedadas. Una vez finalizado se recubre con una mezcla de barro de alta temperatura, escombros y paja, dejando libres los agujeros de salida del vapor y de las llamas.

DISTRIBUCIÓN DE LA CARGA

El diseño con varias cámaras sucesivas aporta la ventaja de aumentar considerablemente el espacio destinado a la cocción. La utilización de gacetas les permite almacenar mayor cantidad de piezas.

2. COCCIÓN

A diferencia de los hornos Anagama, de una sola cámara, las múltiples cámaras largas y estrechas permiten un mayor control de la temperatura. La carga inicial de combustible se realiza en la cámara de combustión y la cocción continua con la carga de las siguientes cámaras por las aberturas laterales.

Como medida aproximada, el tiempo empleado para una cocción de alta temperatura en un horno de siete cámaras es de unas 56 horas.

Este tipo de hornos permite realizar cocciones de alta temperatura en atmósfera oxidante o reductora. Para la reducción, se debe cargar la cámara en intervalos rápidos para mantener gran cantidad de brasas.

3. FENÓMENOS FÍSICOS

El aire pasa de una cámara a la siguiente por las puertas de comunicación que existen entre las cámaras. De esta forma, cada cámara precalienta a la que le sucede.

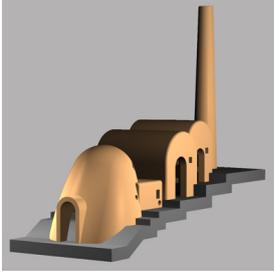
4. FENÓMENOS QUÍMICOS

No hay fenómenos químicos destacables. Se pueden realizar cocciones en atmósfera oxidante o reductora.

5. PRODUCTO CERÁMICO

Este tipo de hornos fue diseñado en China durante la dinastía Sung (960-1279) para la cocción de tazas de té decoradas con Tenmoku y con esmaltes en reducción tipo Celadón.





Horno Bizen

1. ESTRUCTURA

DISEÑO

Horno multicámara con un diseño inusual respecto a otros hornos Japoneses que solo se construye en la zona central de Japón. La primera cámara es muy grande y se utiliza tanto de cámara de combustión como de cocción. A continuación se comunica con una segunda cámara muy pequeña que permite acumular gran cantidad de cenizas, denominada “himitsu” o “cámara secreta”. Los agujeros de entrada a esta cámara son muy pequeños y los de salida a la siguiente cámara son de mayor tamaño. Esta cámara dispone también de dos orificios laterales que permiten la entrada de aire. A continuación, están situadas dos cámaras de mayor tamaño que cuentan con un orificio de salida de vapor en la parte superior de la bóveda. Estas cámaras disponen de entradas laterales para la carga de combustible. La primera es de mayor tamaño y la segunda sirve de comunicación con el conducto de la chimenea. Todas las cámaras están construidas a mayor altura que las precedentes. Sin embargo, el conducto de la chimenea está a la misma altura que la última cámara. La altura de la chimenea es aproximadamente tres veces mayor que el desnivel total del horno.



MATERIALES

Ladrillos unidos con mortero refractario. Una vez finalizado se recubre con barro y cascotes.

DISTRIBUCIÓN DE LA CARGA



La cámara de combustión se carga por la puerta delantera que es suficientemente grande cuando está abierta. Las piezas se disponen en placas refractarias que se colocan en numerosos pisos en las escaleras de la cámara. El primer escalón es el que contiene más piezas y luego va disminuyendo el número debido a la inclinación del suelo hacia la cámara "Himitsu". Hay que dejar un espacio entre las piezas y el suelo para facilitar el flujo de aire. En el resto del espacio las piezas se pueden apilar bastante apretadas porque el flujo de aire es forzado por el diseño de la cámara "Himitsu". Ésta cámara se carga disponiendo las vasijas en el suelo unas sobre otras. Sólo se almacenan entre los orificios de entrada y salida de la cámara. Es muy difícil de cargar y esta operación debe hacerse antes de cargar la cámara de combustión y la primera cámara de cocción ya que se suele hacer a través de los conductos de comunicación con estas cámaras. También hay otra posibilidad que es utilizar la apertura lateral de esta cámara a la que puede acceder una persona pequeña.



La primera cámara de cocción también se carga con placas y puntales que se disponen a lo largo de toda la cámara manteniendo un separación con el suelo y la bóveda. En la segunda cámara de cocción no hay sitio para poner placas y las piezas son amontonadas unas sobre otras, hasta llenar dos tercios de la cámara.

2. COCCIÓN

Una cocción completa tarda siete días y se divide en tres etapas principales:

1-Dos días y medio cargando el conducto de la cámara de cocción con leña de pequeño tamaño (la mitad de la leña hacia fuera y la mitad hacia dentro). Cuando la leña se convierte en brasas se va añadiendo más combustible. Cuando se forman suficientes brasas se introducen en la cámara y se sigue añadiendo más madera. Este proceso seca totalmente la cerámica del horno y produce suficiente calor para que arda la madera que se añade posteriormente.

2-Cuatro días cargando el combustible por el agujero de la cámara de cocción. La madera ya arde con facilidad por la cantidad de rescoldos acumulados. En esta fase la leña tiene mayor tamaño y se va añadiendo

conforme se va quemando. Hacia el cuarto día se van añadiendo troncos de mayor tamaño que tienen una combustión más lenta. La adición de estos troncos hace que ardan inmediatamente al entrar en contacto con las brasas y se formen grandes llamas y ceniza. Durante este proceso se puede añadir pinocha, dependiendo de los resultados que se quieran obtener. La pinocha hace que se genere más ceniza.

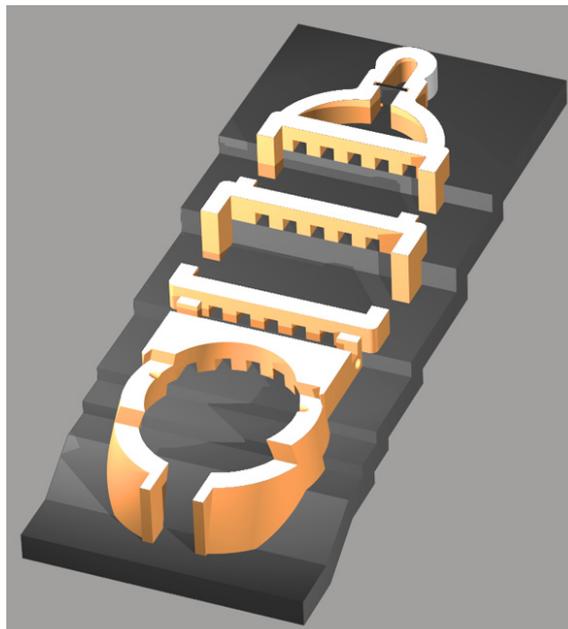
3-Carga por los conductos laterales de las cámaras. Se realiza hasta alcanzar la temperatura deseada y se mantiene hasta el séptimo día. El control de la temperatura se realiza por unos agujeros “espía” en la parte superior e inferior que permiten observar los conos pirométricos.

Una vez finalizada la cocción, el horno se enfría durante unos tres días.

3. FENÓMENOS FÍSICOS

El gran tamaño de la cámara de combustión y el hecho de que ésta carezca de un montículo en su suelo que dirija el aire caliente al conducto de entrada a la primera cámara, proporciona una intensa atmósfera reductora. Esta primera cámara se utiliza también para cocer, de forma que la llama está en contacto directo con las piezas.

De esta gran cámara el aire se dirige a una cámara muy pequeña, llamada “Himitsu”, por unos conductos de entrada muy reducidos. Esto provoca que aumente el flujo de aire hacia la siguiente cámara, lo que se facilita por el mayor tamaño de los conductos salida de la “Himitsu”. Por tanto, el diseño de esta pequeña cámara hace que el aire pase con gran facilidad. Una vez dentro de la primera cámara de cocción el aire caliente se dirige lentamente, desde arriba hacia abajo debido a su gran volumen. Para conseguir la temperatura adecuada hay que añadir combustible por las zonas de carga laterales. De la primera cámara, el aire pasa a la segunda cámara de cocción por unos conductos que son suficientemente grandes para que el flujo de aire vaya hacia la chimenea.



4. FENÓMENOS QUÍMICOS

En la primera cámara, las piezas se cuecen en atmósfera reductora y están en contacto directo con las llamas y las cenizas lo que favorece la formación de vidriados de cenizas en algunas zonas de las piezas (de forma aleatoria).

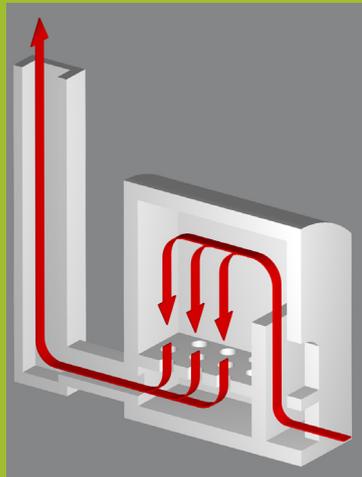
Las cocciones en las cámaras posteriores pueden realizarse en atmósfera oxidante o reductora controlando el regulador de tiro que se encuentra en la entrada a la chimenea. Cerrando el tiro, el flujo de aire regresa y se consigue una atmósfera reductora. Si se mantiene abierto la atmósfera será oxidante.

5. PRODUCTO CERÁMICO

Permite elaborar cerámica de estilo tradicional con efectos muy especiales. Para fines comerciales se utilizan arcillas semi refinadas con un contenido en óxido de hierro del 4-5% que se mezclan en una proporción de 2/3 a 1/3 con una pasta de alta temperatura de color gris. Otros artistas más arriesgados utilizan mezclas de tres arcillas. La primera tiene un elevado contenido en óxido de hierro y materia orgánica y es almacenadas un mínimo de un año antes de su utilización. La segunda tiene sedimentos de origen marino y la tercera es una arcilla muy plástica de color amarillo. Durante la cocción esta mezcla tiene tendencia a hincharse, formar ampollas, craquelar y combarse cuando se cuece de forma rápida.

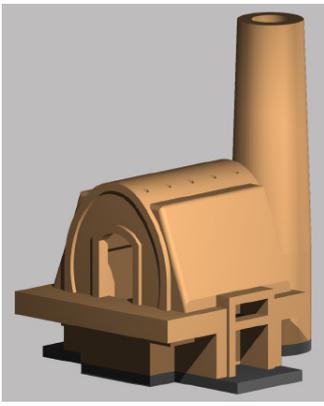
Los productos están siempre sin esmaltar y su aprecio se debe al color de la arcilla, la atmósfera del horno, la utilización de paja o pinocha y el efecto natural de la ceniza de la madera sobre las pastas. En la cámara "Himitsu" se cuecen tazas de té de pequeño tamaño y botellas de sake.





HORNOS DE TIRO INVERTIDO

Tajini
Abovedado
Chimenea central

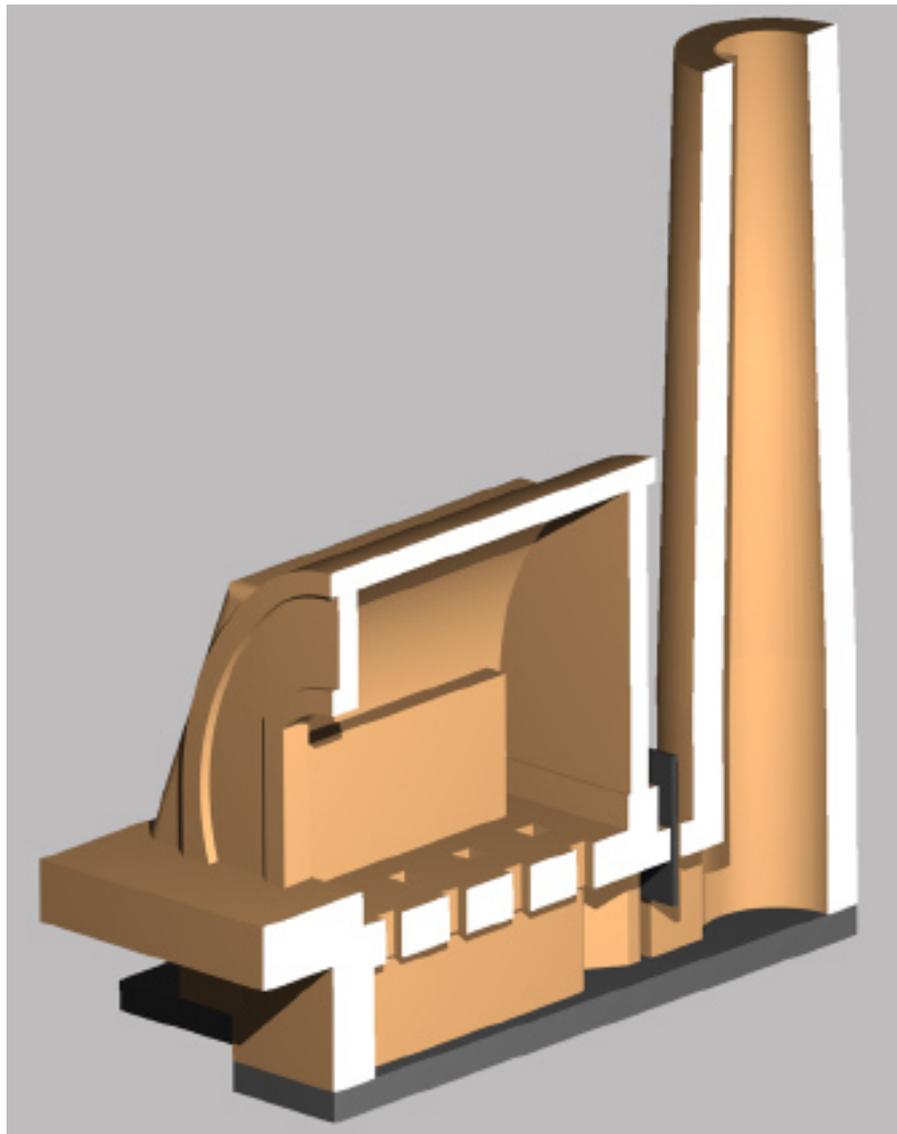


Tajini

1. ESTRUCTURA

DISEÑO

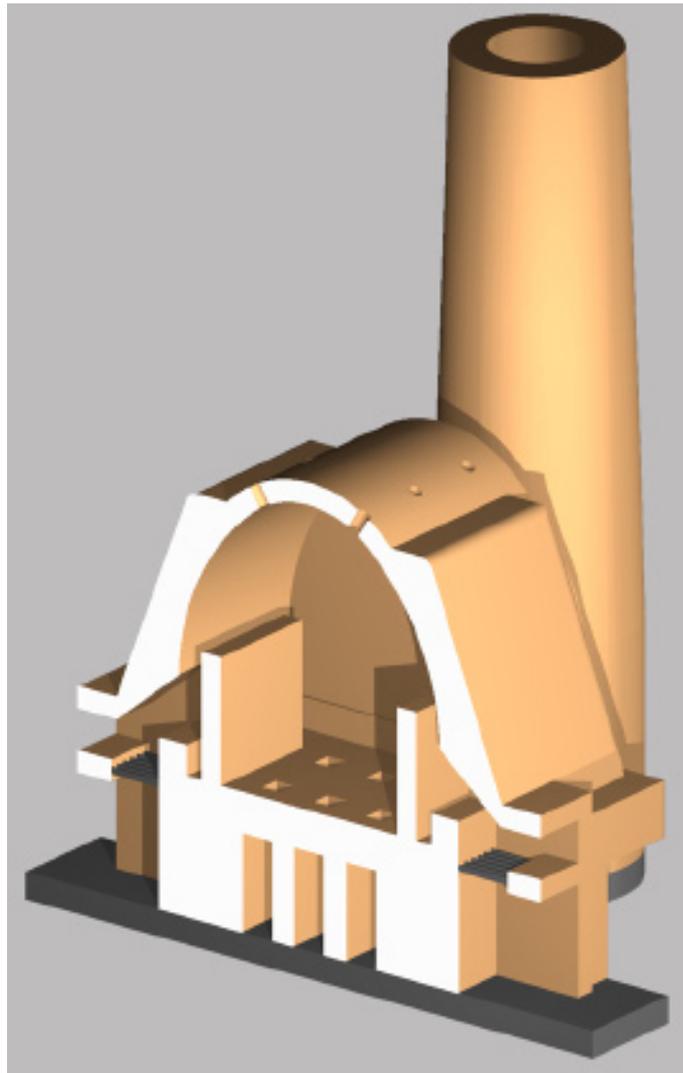
Es un horno de tiro invertido cuyo tamaño aproximado es de 7 m³. El diseño del horno es simétrico, con dos cámaras de combustión laterales, como puede verse en la descripción gráfica. Una de las características más interesantes de este horno es la forma curva de las paredes, lo que imparte un movimiento más beneficioso a la corriente de convección del que provocan las paredes rectas. Se facilita así el movimiento del calor hacia el centro del horno.



MATERIALES

Se desconocen los materiales con que se ha construido el horno del señor Kato, en el que se basa la presente descripción, sin embargo, una solución muy eficiente para este tipo de hornos que suele emplearse para los hornos con forma de catenaria, bastante parecidos a este, es emplear ladrillos refractarios duros para la parte interior del horno, ladrillos aislantes blandos en el exterior y un revoco para proteger los ladrillos blandos.

Las parrillas deben ser de hierro fundido que permita soportar las altas temperaturas que genera la combustión del carbón.



DISTRIBUCIÓN DE LA CARGA

Al cargar el horno, las placas de abajo deberían colocarse al menos a 11 cm y medio del suelo. También debe dejarse una distancia de unos 5 cm entre ellas y colocarlas entrecruzadas para facilitar el movimiento del calor. Un apilamiento sobrecargado podría ocasionar una distribución poco homogénea del calor y formación de zonas calientes. Solo la experiencia al realizar algunas cocciones mostrará la forma adecuada de cargar el horno. Si se utilizan gacetas, la inferior de cada columna debería tener perforaciones para permitir la circulación del aire, y distanciar suficientemente las columnas entre sí.

2. COCCIÓN

Cuece a 1300°C en 50 horas en una atmósfera fuertemente reductora y el enfriamiento dura tres días o más. El ciclo de cocción es bastante lento debido al grosor de las paredes del horno y a que sólo hay dos cámaras de combustión. Tras alcanzar los 1090°C, en reducción, la velocidad de adición de combustible es de 10 a 12 paladas de carbón cada 20 minutos, mientras que en oxidación se añaden 3 o 4 en el mismo periodo.



3. FENÓMENOS FÍSICOS

Como ya se mencionó, la forma de las paredes facilita el flujo del aire hacia la carga como se muestra en la sección transversal

4. FENÓMENOS QUÍMICOS

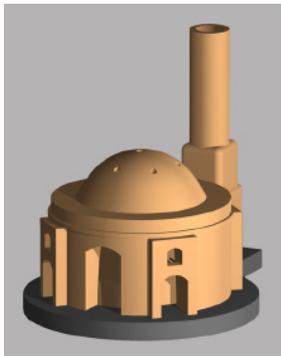
Como se describe en el apartado sobre la cocción, el horno es adecuado para cocer en oxidación o reducción según la cantidad de carbón que se suministra a las cámaras de combustión. Si el suministro de carbón excede las cuatro paladas cada 20 minutos, la combustión no es completa y comienza a generarse el monóxido de carbono que provoca la atmósfera reductora. Según se aumenta la cantidad de carbón, aumentará el monóxido de carbono y la reducción será mayor. También, como puede verse en la descripción gráfica, en la zona de la chimenea hay un tiro que permite regular el flujo del aire y, por tanto, la cantidad de oxígeno presente en el interior del horno.

5. PRODUCTO CERÁMICO

La producción más característica podrían ser piezas de gres y porcelana con la posibilidad de una gran variedad de vidriados.

33





Abovedado

1. ESTRUCTURA

DISEÑO

Horno con cúpula circular de tiro invertido con cuatro cámaras de combustión que tiene unas dimensiones aproximadas de 16,5 m³. La chimenea se construye en la parte exterior del horno, opuesta a la entrada a la zona de carga y tiene una longitud aproximada de 9 m. Aunque el horno es circular, las proporciones son similares a las de los hornos de tiro invertido rectangulares o cuadrados.

Las cuatro cámaras de combustión se sitúan en forma de cruz entre la chimenea y la entrada a la zona de cocción. Las zonas para la carga del combustible se encuentran sobre las entradas de aire, que sirven también para lugar de recogida de la ceniza. El carbón se dispone sobre unas parrillas que separan ambas zonas. Las cámaras de combustión están separadas de la cámara de cocción por la propia pared del horno que hace de muro deflector. De esta forma se simplifica el diseño, sin que exista la necesidad de construir un muro independiente, que suele tener tendencia a derrumbarse. En la zona interior del inicio de la bóveda ésta tiene una curvatura que hace que el flujo del aire caliente, que tiende a ascender hacia la bóveda, se dirija hacia abajo realizando un bucle.

MATERIALES

Ladrillos refractarios

DISTRIBUCIÓN DE LA CARGA

La diferencia de temperatura entre las zonas superiores e inferiores de la cámara de cocción permiten cargar el horno con cerámica de diferente temperatura de cocción. La carga se realiza mediante el uso de gacetas. Las piezas se amontonan muy apiñadas hasta que quedan 15 o 20 cm para alcanzar la bóveda. La disposición de las gacetas debe respetar los orificios de la solera de la cámara de cocción para evitar tapar la salida del aire hacia la chimenea.

2. COCCIÓN

Este tipo de horno utiliza carbón como combustible lo que permite alcanzar temperaturas muy elevadas, siempre dependiendo de la calidad del combustible empleado. La atmósfera es oxidante en su mayor parte, pero puede ser reductora en algunas partes del horno. Un ciclo de cocción típico, de unas 19-20 horas de duración para el cono 10 (1.300°C), es el siguiente:

- 1 a 3 horas: 1 pala de carga cada media hora con las entradas de aire abiertas.

Abovedado - Hornos de tiro invertido

-4 a 6 horas: 2 palas de carga cada media hora tapando las entradas de aire

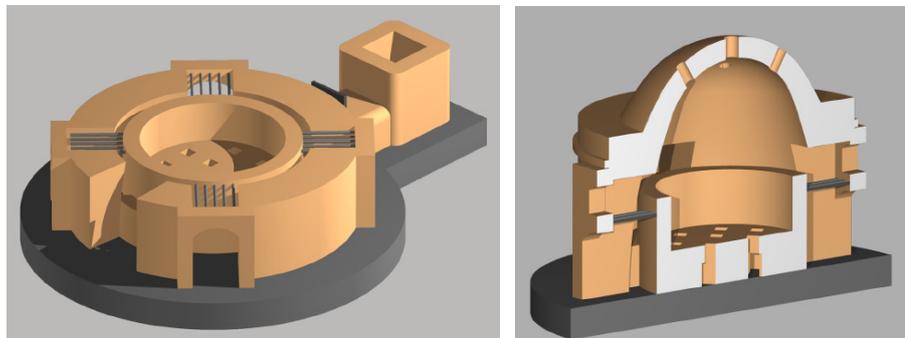
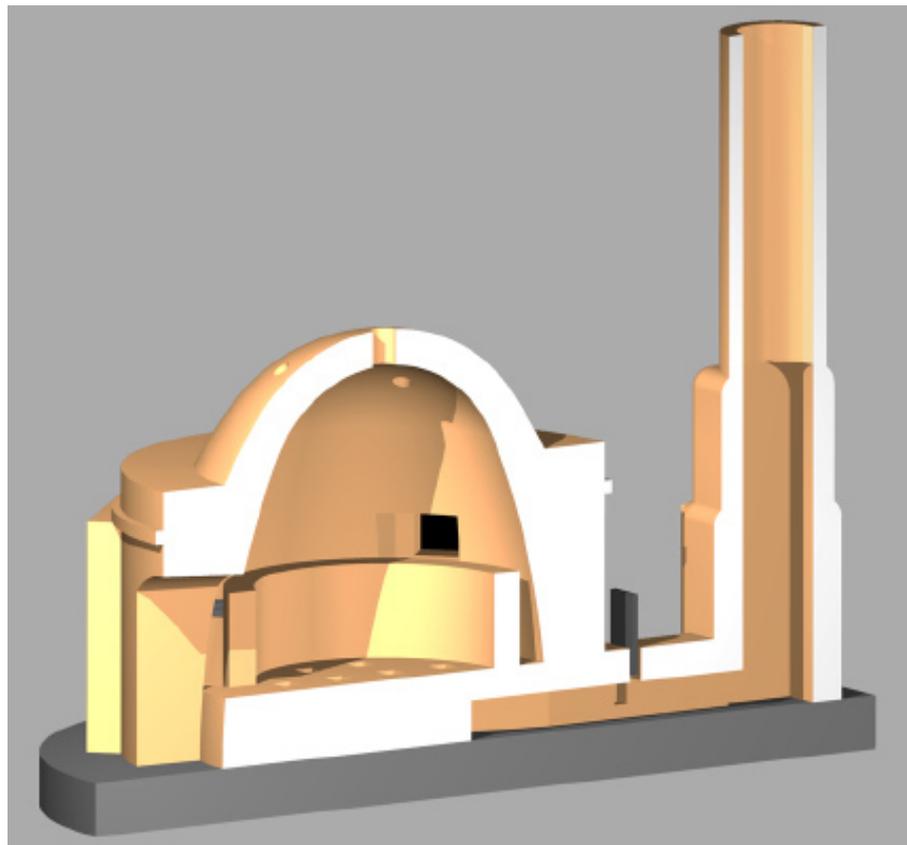
-7 a 12 horas: 3 palas cada 45 minutos

-12h al final: 4 palas cada 50 min para azulejos esmaltados

-19: 5 palas cada 50 min (combustión máxima de la cámara)

Combustible empleado: se empieza con madera y queroseno y se continúa con carbón.

35

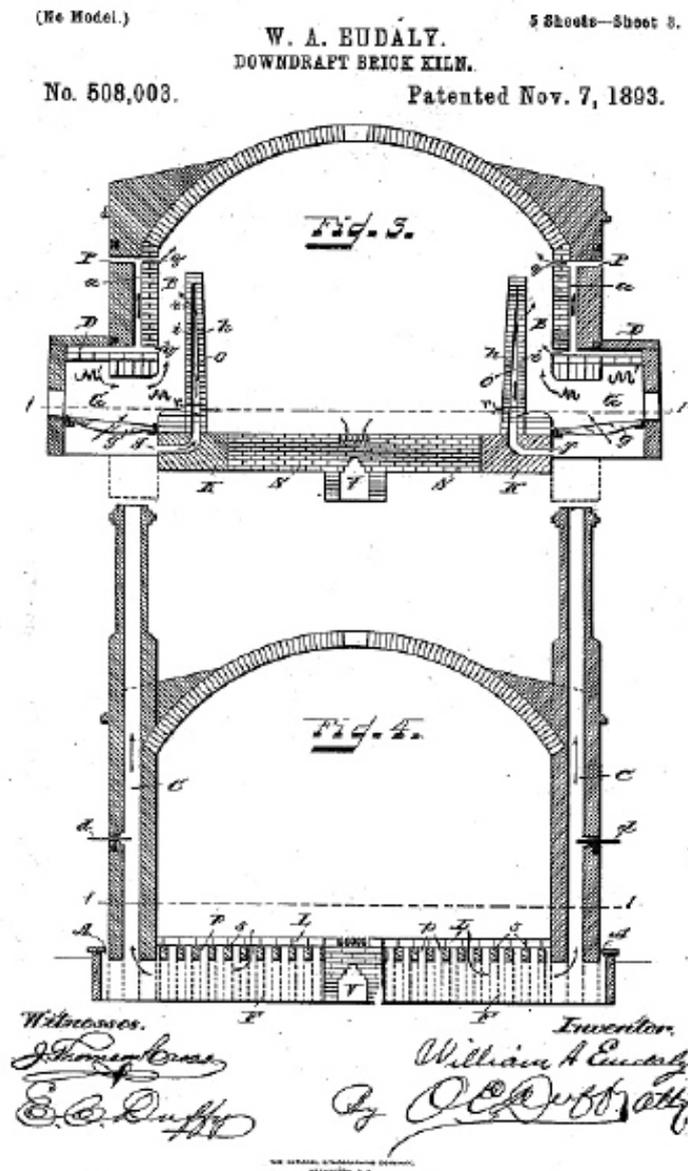


3. FENÓMENOS FÍSICOS

El aire caliente sube hacia la bóveda, baja por la zona de cocción y sale por el canal de recogida del aire, situado debajo de la cámara de cocción, hacia la chimenea. El paso de aire a ésta zona es posible gracias a los orificios realizados en la solera de la cámara.

En este tipo de hornos puede producirse una variación de temperatura de dos conos y medio entre la zona más alta y la más baja de la cámara de combustión.

Otra tipología de este tipo de hornos basada en el mismo principio de funcionamiento y distinta circulación de los gases, se ilustra en la figura siguiente, en la que las chimeneas están situadas en ambos lados del horno en una dirección, mientras que las entradas de aire se sitúan en el plano transversal.



4. FENÓMENOS QUÍMICOS

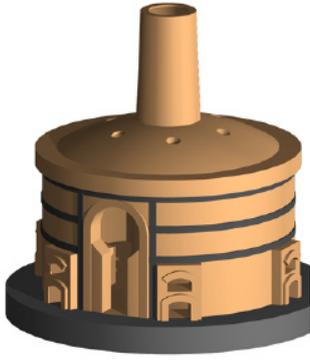
Cuando se utiliza carbón como combustible las piezas deben protegerse de la ceniza y de los gases sulfurosos que se generan durante la cocción. De esta forma se asegura la uniformidad en las piezas cocidas.

El dióxido de azufre (SO_2), generado en la combustión del carbón, tiene un gran poder reductor debido a su gran tendencia a oxidarse a trióxido de azufre (SO_3). Esto puede provocar cambios de coloración en los vidriados que contengan cobre o hierro, ya que el color de éstos vidriados varía dependiendo del estado de oxidación en el que se encuentren. El óxido de cobre en condiciones oxidantes da coloraciones verdes o azules (por encontrarse en su máximo estado de oxidación: CuO) mientras que proporciona vidriados rojos en atmósfera reductora (al formarse cristales de cuprita: Cu_2O). El óxido de hierro proporciona tonalidades rojizas o marrones en atmósfera oxidante (máximo estado de oxidación: Fe_2O_3) y verdosas o azuladas en condiciones reductoras (óxido en su estado más reducido: FeO).

5. PRODUCTO CERÁMICO

Se pueden realizar objetos cerámicos de alta temperatura. También se utilizaban con frecuencia para realizar cocciones de baja temperatura de ladrillos.





1. ESTRUCTURA

Chimenea central

DISEÑO

Horno de grandes dimensiones, con cubierta abovedada de tiro invertido con varias cámaras de combustión. La situación central de la chimenea tiene una doble función. Por un lado ayuda a la sustentación de la bóveda y por otro, aumenta la economía de combustible disminuyendo el recorrido de los gases de la combustión y generando calor por conducción de la pared caliente de la chimenea en el centro del horno.

Las cámaras de combustión se disponen de forma radial en el perímetro. Las entradas de aire se sitúan debajo de las de carga de combustible y están protegidas por muros deflectores que dirigen los gases de la combustión hacia la bóveda.

Este tipo de hornos, de grandes dimensiones, se empleaban en la fabricación de ladrillos y materiales de construcción. Contaban, generalmente, con una única boca de carga, de grandes dimensiones por la que se introducía la carga acopiada en grandes bultos y transportada por medios mecánicos.

MATERIALES

El material básico para la construcción de estos hornos es el ladrillo refractario. Las grandes dimensiones del horno y su complejidad constructiva requerían del apoyo de otros materiales como la piedra en situaciones puntuales y una estructura de zunchos metálicos que envuelve la superficie exterior y absorbe los empujes de la bóveda y las dilataciones producidas por los incrementos de temperatura.



En ocasiones estos hornos eran el centro de la estructura de la fábrica, por lo que pueden encontrarse hornos circulares sobre los que se apoya una estructura (de madera o de fábrica) que aloja otras dependencias auxiliares.

Chimenea central - Hornos de tiro invertido



DISTRIBUCIÓN DE LA CARGA

Este tipo de hornos, dedicados a la producción industrial, admiten una gran cantidad de carga. Los productos a cocer se acumulan en altura y superficie dejando libres los conductos de circulación de gases y manteniendo las necesarias separaciones entre ellos para su correcta cocción.



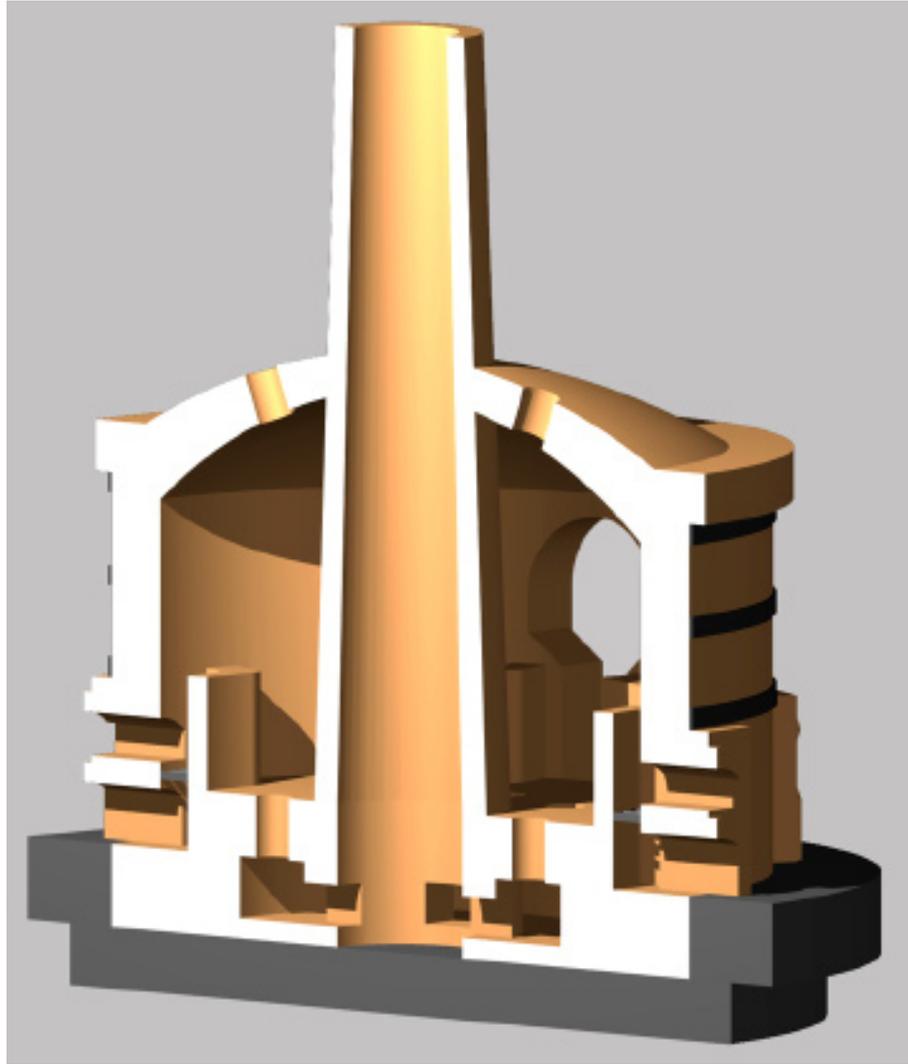
2. COCCIÓN

El combustible que utilizaban estos hornos era, generalmente, carbón en sus distintas variedades. Desde la turba en los productos que requerían menor temperatura hasta la hulla en la cocción de los de más calidad.

3. FENÓMENOS FÍSICOS

El aire caliente sube hacia la bóveda que lo dirige hacia la solera del horno, por donde evacuan hacia unos colectores circulares que, a través de conductos radiales, se dirigen hacia la base de la chimenea. La bóveda cuenta con perforaciones que, cuando están abiertas al inicio de la cocción, ayudan al tiro y, una vez alcanzada la temperatura deseada, se cierran para limitar la pérdida de calor.

En este tipo de hornos la diferencia de temperatura entre la parte inferior y la superior es notable. Esta diferencia se corrige manteniendo cerrados los conductos de la bóveda.



4. FENÓMENOS QUÍMICOS

En este aspecto puede tenerse en cuenta todo lo apuntado en la ficha anterior.

5. PRODUCTO CERÁMICO

Ladrillos, tejas y prefabricados esmaltados para la construcción.

6. OTROS HORNOS DE ESTE TIPO

Este tipo de hornos poseen dos características importantes: el gran volumen de carga y el aprovechamiento del calor. Estos dos hechos les hacen aptos para la producción a gran escala.

Una evolución de este tipo de hornos es el horno de Hoffman (patentado en 1858) empleado en el sector de la producción de ladrillos y demás productos cerámicos para la construcción. El funcionamiento de este horno responde, en esencia, a los mismos criterios que los hornos descritos al principio de esta ficha. Una particularidad derivada de su gran volumen es la utilización de la zona superior como cámara de secado. De esta manera, a

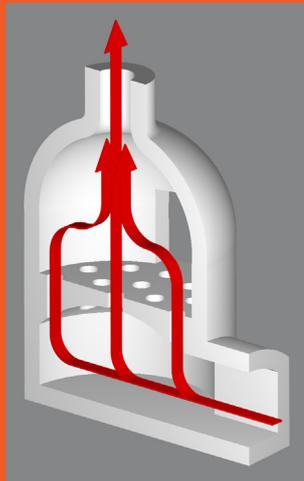
Chimenea central - Hornos de tiro invertido

la fábrica del horno se le superpone una cubierta que defiende de la lluvia el producto crudo mientras se seca. Igualmente la aportación de combustible se realiza desde la parte superior, a través de perforaciones en la bóveda.

El paso siguiente en la evolución del horno de Hoffman es el horno de anillo que ha sido durante décadas el método de cocción de ladrillos más extendido en Europa y Norte América.

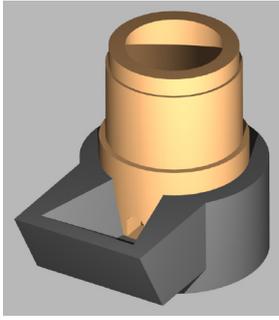
El horno de anillo responde a los mismos criterios que los hornos comentados anteriormente pero debido a su gran extensión se divide en multitud de cámaras que la carga va recorriendo mientras se seca, cuece y enfría. Las cámaras (con aire a distintas temperaturas) están conectadas mediante conductos que permiten utilizar el aire caliente que sale de las cámaras de enfriamiento para el secado.





HORNOS DE TIRO SUPERIOR

Árabe
Medieval
Botella
Minton
Horno de la Escuela
de la Moncloa



Horno Árabe

1. ESTRUCTURA

DISEÑO

El horno que vamos a describir está en Nueva Delhi, pero su diseño se basa en los primitivos hornos musulmanes, muchos de los cuales han seguido utilizándose en la península ibérica hasta finales del s. XX.

Se trata de un horno de tiro superior sin cubierta de mampostería, como puede verse en el esquema gráfico. Consta de una cámara de cocción descubierta, sobre la cámara de combustión, construyéndose esta última por debajo del nivel del suelo. Para introducir la carga en la cámara de combustión hay un pasillo descubierta excavado en el terreno. La forma del horno es cilíndrica y el suelo que separa las dos cámaras es plano en la zona de carga de los cacharros pero abovedado en la zona de combustión. En el muro que separa ambas cámaras hay una serie de agujeros para distribuir el calor desde la cámara de combustión a la de cocción.



Las dimensiones aproximadas del horno que nos ocupa son de 1,5 metros de diámetro del cilindro por 1,5 metros de altura para la cámara de cocción, y la altura de la cámara de combustión es aproximadamente la mitad. Este diseño, con apenas variaciones, admite dimensiones mucho mayores como, por ejemplo, el horno comunal que operaba en Buño (la Coruña) hasta los años ochenta del siglo pasado.

MATERIALES

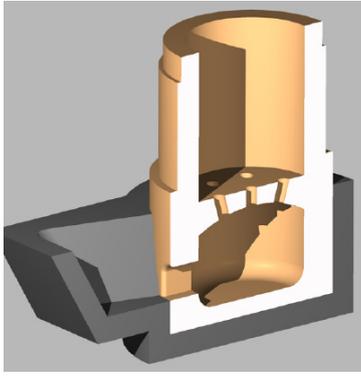
El horno se construye con ladrillos comunes y, una vez cargado el horno, sobre los cacharros se apilan cascotes cerámicos para aislar mejor los cacharros, ya que el horno no tiene cubierta superior.

DISTRIBUCIÓN DE LA CARGA

En el horno de Nueva Delhi se producen azulejos y cerámica vidriada, esta última se cuece en gacetas pero los azulejos no. Estos se separan entre sí con trozos de arcilla.

2. COCCIÓN

El diseño del horno solo permite cocciones a baja temperatura. En el horno que se ilustra se requieren alrededor de cinco horas para el precalentamiento durante el cual se quema la leña en la entrada de la cámara de combustión y, poco a poco, se van introduciendo las brasas en el interior hasta alcanzar la cerámica una temperatura aproximada de 260°C, de esta forma el proceso de cocción es más seguro. A partir de ese momento, la introducción del



Horno árabe - Hornos de tiro superior

3. FENÓMENOS FÍSICOS

combustible se hace con mayor frecuencia. Además es importante el tipo de leña utilizada según para controlar lo rápido que sube la temperatura y la atmósfera de la cámara.

En los hornos de tiro superior el recorrido del aire caliente es mínimo, ya que atraviesa el horno desde abajo a arriba en línea recta, por lo que sale bastante caliente y es poco eficiente en cuanto al aprovechamiento del combustible. En el caso del horno que nos ocupa, la parte exterior de la cámara de combustión permite elevar la temperatura interior del horno de modo gradual para no someter la cerámica a un cambio excesivamente brusco de temperatura. Por otra parte, en este tipo de hornos la cerámica, durante la segunda parte de la cocción está en contacto directo con las llamas y, para preservar la superficie de los cacharros vidriados, suelen cocerse estos en gacetas.



5. FENÓMENOS QUÍMICOS

No hay fenómenos especialmente reseñables en el horno que nos ocupa, sin embargo, otros hornos muy similares a este se utilizan para realizar la llamada cerámica negra, para lo cual, en el periodo final de la cocción se cierran con cuidado todas las aberturas del horno para impedir la entrada de oxígeno, y de ese modo se impide la combustión de la madera produciendo una atmósfera reductora en extremo con gran cantidad de partículas finas de carbón que se introducen por los poros de las piezas y le dan su característico color negro.

5. PRODUCTO CERÁMICO

Como ya se ha mencionado, en el horno se producen cacharros, vidriados o no, y azulejos. Todo ello a baja temperatura.



Horno medieval

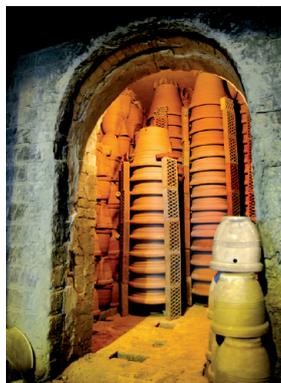
1. ESTRUCTURA

El horno de Mirovet es bastante más evolucionado que el caso anterior que vimos de Nueva Delhi ya que cuenta con cubierta superior y también con una cámara de cocción adelantada.

DISEÑO

Aunque hay varios hornos de esta clase en España, este tiene la particularidad de ajustarse casi a la perfección a las proporciones descritas en el capítulo tercero del libro de Olsen sobre los principios del diseño de hornos. El diseño se basa en tres cubos de igual tamaño unidos que constituyen la cámara de cocción, la subcámara y la cámara de combustión, como se ve en el esquema del horno.

Las dos cámaras inferiores tienen bóveda de cañón y la que está bajo la superior consta de 35 agujeros que permiten el paso del aire hacia la cámara superior. El techo de la cámara superior tiene forma de cúpula con un agujero central y cuatro en los vértices para regular el tiro.



MATERIALES

El horno se construye con ladrillos pero se desconoce si son comunes o refractarios.

DISTRIBUCIÓN DE LA CARGA

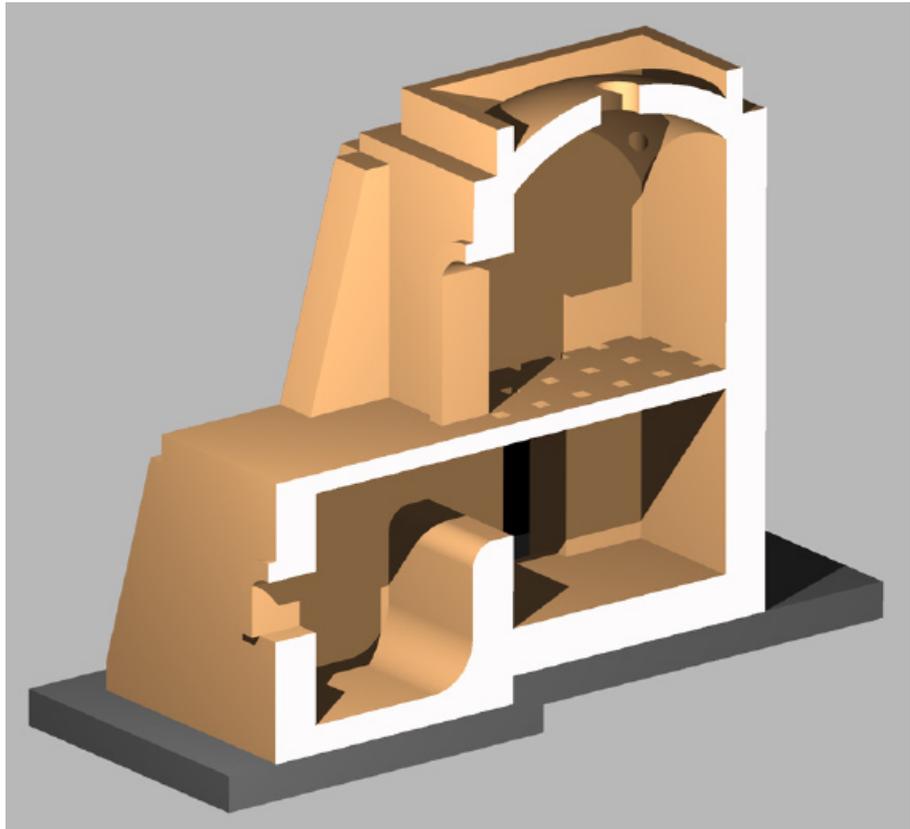
La carga se apila tanto en la cámara superior como en la inferior formando acumulaciones de miles de cacharros.

2. COCCIÓN

Los cuatro agujeros en las esquinas superiores de la cámara de cocción contribuyen al buen tiro del horno y sirven para regular el flujo del aire en el interior del horno e igualar la temperatura en toda la cámara. Los cacharros se apilan uno sobre otro en la cámara de cocción y también en la subcámara, pudiendo contener el horno miles de ellos. Algunos cacharros vidriados se sitúan sobre el muro que separa la subcámara de la cámara de combustión, en una zona visible, para ser utilizados como testigos del desarrollo de la cocción y saber cuando han madurado los cacharros.

Durante el inicio de la cocción se cierran los dos agujeros más próximos a la cámara de combustión y se va introduciendo gradualmente la leña. A lo largo de la cocción, se va cambiando el tipo de leña utilizada y el ritmo de introducción de la misma en función del ritmo de calentamiento que se

Horno medieval - Hornos de tiro superior



busque y la atmósfera del horno, por ejemplo, para una atmósfera oxidante es necesario dar tiempo entre carga y carga para que haya una combustión completa y se limpie la atmósfera del horno. La cocción suele durar entre 28 y 32 horas.

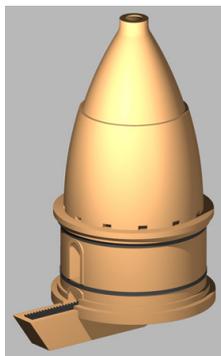
3. FENÓMENOS FÍSICOS

Se desconoce si en el horno se produce otra cerámica a parte de cacharros comunes de arcilla sin vidriar, por lo que no hay fenómenos físicos o químicos reseñables.

4. PRODUCTO CERÁMICO

Cacharrería cerámica de basto.

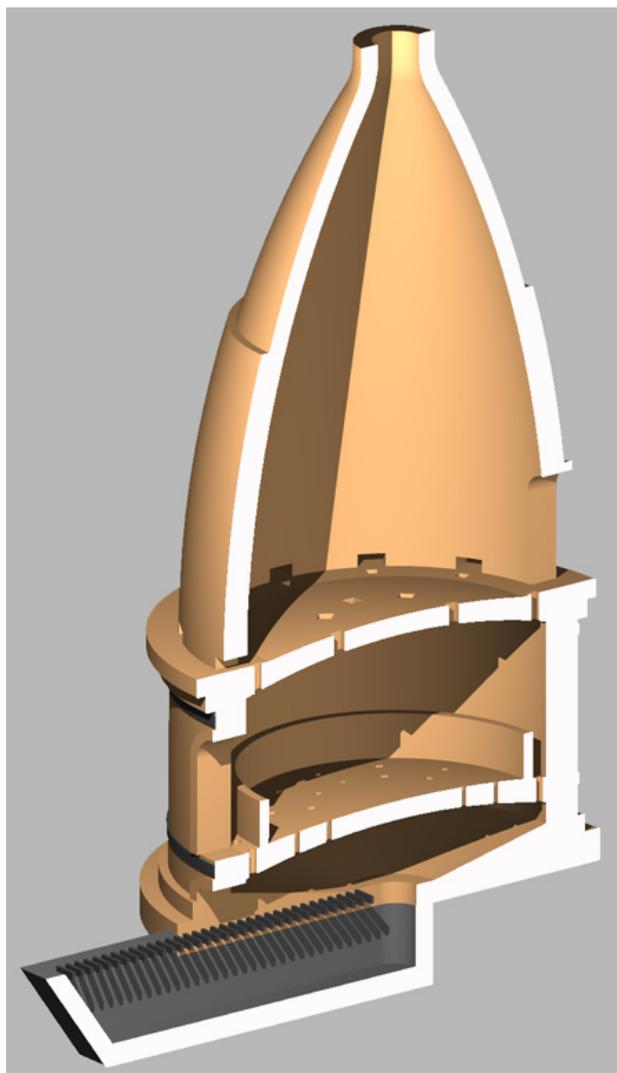




1. ESTRUCTURA

DISEÑO

Horno de tiro superior muy parecido a los hornos árabes pero que presenta algunas novedades. Este horno tiene un cenicero con una rejilla debajo de la cámara de combustión, que es mucho más pequeña que la del horno medieval. Esta cámara tiene sólo a un metro de profundidad y tiene el fondo inclinado. La cámara tiene una rejilla con un depósito para ceniza debajo. La chimenea, de forma parabólica, es de gran tamaño y remata la parte superior del horno. Los conductos de entrada del aire caliente a la cámara de cocción están separados de los objetos cerámicos por un muro deflector.



MATERIALES

Ladrillos con mortero refractario.

DISTRIBUCIÓN DE LA CARGA

Los cacharros se almacenan en el suelo de la cámara de cocción dejando un espacio de aire entre las entradas de los conductos del hogar y las piezas almacenadas.

2. COCCIÓN

La duración puede ser de unas diez horas para cocer piezas de baja temperatura.

El ascenso de la temperatura se consigue añadiendo combustible en intervalos de cuatro minutos en las últimas siete horas. El intervalo de carga lo determina la salida de las llamas por la chimenea. Cuando dejan de salir, se vuelve a cargar. Para conseguir una temperatura homogénea se abren las salidas de aire que están en la base de la chimenea.

Al final de la cocción se deben retirar todas las cenizas del depósito para evitar la oxidación y la deformación de la rejilla cuando se hace el sellado.

3. FENÓMENOS FÍSICOS

El pequeño tamaño de la cámara de combustión y su inclinación, hacen que el encendido sea muy lento y necesite una chimenea con mucho tiro. La rejilla y el depósito de ceniza evitan que el tiro se ahogue por acumulación de cenizas y sirve para calentar el aire que entra.

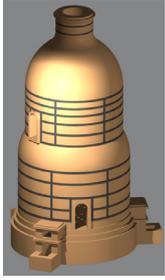
4. FENÓMENOS QUÍMICOS

No hay fenómenos químicos destacables.

5. PRODUCTO CERÁMICO

Productos de calidad muy desigual. Muchas piezas quedan con una calidad de segunda categoría (infra cocidas o con zonas en las que ha habido un proceso de reducción).





Horno Minton

1. ESTRUCTURA

DISEÑO

Horno de doble tiro con dos cámaras de cocción que se disponen una sobre la otra. La cámara superior termina con una chimenea corta. Diseñado como horno circular, la cámara inferior tiene varias cámaras de combustión separadas de la cámara de cocción por muros deflectores individuales. La solera de la cámara inferior está perforada para permitir el paso del aire hacia la parte inferior de la cámara. Los conductos colectores se encuentran en las paredes del horno y van desde la zona que se encuentra debajo de la solera de la cámara de cocción hasta la cámara superior. También hay un paso de aire desde el exterior al fondo del horno para introducir aire frío al final de la cocción. La separación entre ambas cámaras tiene una abertura que puede taparse con una capa de refractario.



MATERIALES

Ladrillos refractarios y bridas metálicas de refuerzo.

DISTRIBUCIÓN DE LA CARGA

Las piezas que se van a bizcochar se pueden apilar en la cámara superior. Las cerámicas de alta temperatura se cuecen en la cámara inferior, siempre dejando libres los orificios de la solera.

2. COCCIÓN

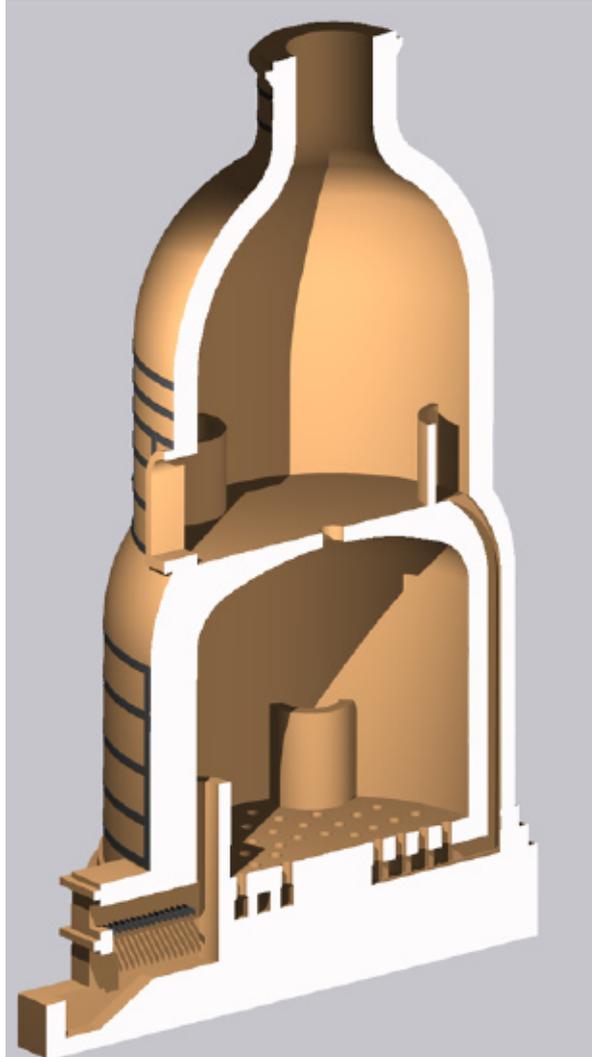
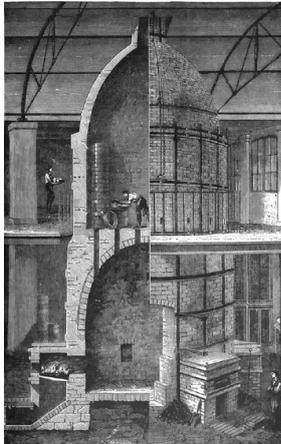
El sistema de dos cámaras superpuestas tiene como ventaja el ahorro de combustible ya que el calor que se desaprovecha en una cámara es utilizado para calentar la siguiente, igual que se hacía en los hornos multicámara chinos.

La cámara inferior se calienta mediante tiro invertido y la parte superior funciona como un horno de tiro superior que se utiliza para bizcochar las piezas. Durante la primera parte de la cocción se deja abierto el agujero de evacuación que se encuentra en la parte alta de la cúpula hasta que la carga está suficientemente seca. En este momento se tapa y empieza a funcionar el tiro inferior.

3. FENÓMENOS FÍSICOS

La circulación del aire caliente en estos hornos puede ser de tiro superior (cuando el orificio que comunica las dos cámaras está abierto) o combinada (tiro inferior en la cámara de abajo y superior en la de arriba) cuando se cierra esta abertura. La modalidad en la que las dos cámaras funcionan como tiro superior solo se utiliza al principio de la cocción.

Horno Minton - Hornos de tiro superior



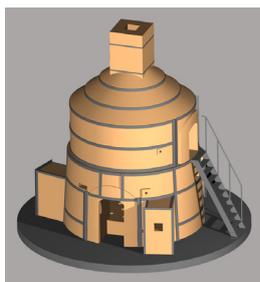
En el modo combinado el aire caliente sube hasta la cúpula desde las cámaras de combustión dirigido por los muros deflectores y desde allí baja hacia la solera de esta cámara. La solera perforada permite el paso del aire que es conducido hacia los colectores. La disposición de los tubos colectores (entre las dos paredes de la cámara inferior) permite un mayor aprovechamiento de la energía. El aire caliente que va por esos conductos retorna por radiación a la cámara inferior evitando así que la temperatura de la cámara superior se eleve demasiado para el bizcochado.

4 FENÓMENOS QUÍMICOS

Los característicos de las cocciones habituales.

5 PRODUCTO CERÁMICO

Estos hornos son útiles para cocer productos pesados que requieren una cocción lenta preliminar.



Horno de la Escuela de la Moncloa

1. ESTRUCTURA

DISEÑO

Horno de doble tiro con dos cámaras de cocción que se disponen una sobre la otra. Construido a principios de los años cincuenta del siglo XX. El combustible original parece que fue el carbón, aunque posteriormente se adaptaron los mecheros para utilizar gasoil. La cámara superior tiene una capacidad aproximada de 4300 l y termina con una chimenea de una altura aproximada de 4 m. La cámara inferior, de 3100 l de capacidad, no tiene varios muros deflectores individuales, como es habitual en los hornos de tiro invertido, sino que la llama de los mecheros se dirige, tangencialmente a las paredes de la cámara y en dirección a la bóveda, a través de tres conductos alojados en el grosor del muro. La solera de la cámara inferior está perforada para permitir el paso del aire caliente hacia la parte inferior de la cámara. A través de los colectores, el aire se dirige, por los tres conductos de las paredes hasta la cámara superior. En esta cámara penetra por tres orificios perimetrales en dirección vertical. La bóveda, de forma parabólica, acaba dirigiendo el aire hacia abajo. El suelo de la cámara superior dispone de una perforación central que, en combinación con la salida de la cámara superior, permite incrementar o disminuir el tiro. El paso del aire a través de los tres conductos verticales que comunican ambas cámaras se puede regular mediante unas compuertas y, de esta manera, cambiar el tiro de superior a invertido.

MATERIALES

Ladrillos refractarios y bridas metálicas de refuerzo.

DISTRIBUCIÓN DE LA CARGA

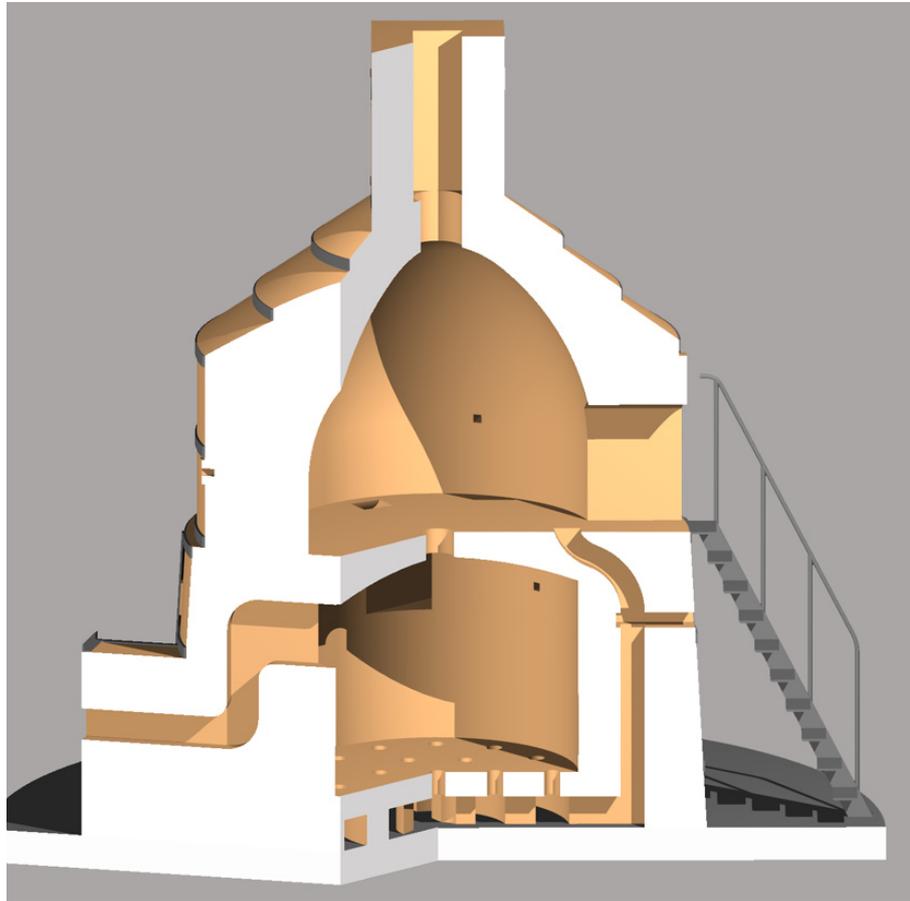
Las piezas que se van a bizcochar se pueden apilar en la cámara superior. Las cerámicas de alta temperatura se cuecen en la cámara inferior, colocando las gacetas de manera que la entrada tangencial del aire no se vea dificultada y dejando libres los orificios de la solera.

2. COCCIÓN

El sistema de dos cámaras superpuestas tiene como ventaja el ahorro de combustible ya que el calor que se desaprovecha en una cámara es utilizado para calentar la siguiente, igual que se hacía en los hornos multicámara chinos.

La cámara inferior se calienta mediante tiro invertido y la parte superior funciona como un horno de tiro superior que se utiliza para bizcochar las pie-

Horno de la Escuela de la Moncloa Hornos de tiro superior



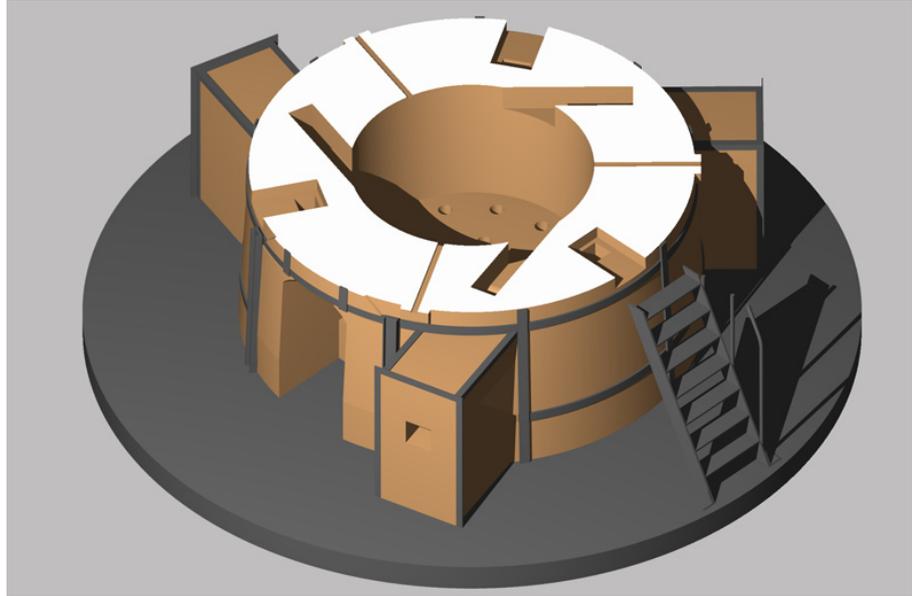
zas. Durante la primera parte de la cocción se deja abierto el orificio de evacuación que se encuentra en la parte alta de la cúpula hasta que la carga está suficientemente seca. En este momento se tapa y empieza a funcionar el tiro inferior.

3. FENÓMENOS FÍSICOS

La circulación del aire caliente en estos hornos puede ser de tiro superior (cuando los tres conductos que comunican las dos cámaras están cerrados) o combinada (tiro inferior en la cámara de abajo y superior en la de arriba) cuando se abren estas aberturas. La modalidad en la que las dos cámaras funcionan como tiro superior solo se utiliza al principio de la cocción.



En el modo combinado el aire caliente sube hasta la cúpula desde las cámaras de combustión y desde allí baja hacia la solera de esta cámara. La solera perforada permite el paso del aire que es conducido hacia los colectores. La disposición de los conductos verticales (en el grosor de las paredes de la cámara inferior) permite un mayor aprovechamiento de la energía. El aire caliente que va por esos conductos retorna por radiación a la cámara inferior evitando así que la temperatura de la cámara superior se eleve demasiado para el bizcochado.



4. FENÓMENOS QUÍMICOS

Los característicos de las cocciones habituales.

5. PRODUCTO CERÁMICO

Este horno fue utilizado para la cocción de porcelana y loza.



