



**ARTESANIAS DE COLOMBIA S.A.**

**PROYECTO DE INVESTIGACION SOBRE APLICACION DEL CARBON EN EL  
PROCESO CERAMICO ARTESANAL DE RAQUIRA  
CODIGO: 0175-06-003-90**

**SUSTITUCION DE LA LEÑA POR EL CARBON EN LA QUEMA DE LA CERAMICA  
DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN HORNO OPERADO CON CARBON**

**ENTIDADES COFINANCIADORAS: FONIC (COLCIENCIAS-CARBOCOL)**

**CONSULTOR: JAIME RUIZ GONZALEZ. ING. CIVIL**

**SANTAFE DE BOGOTA D.C. ABRIL DE 1994**

## INTRODUCCION

*El fuego es el elemento ultra-vital. Es íntimo y es universal. Vive en nuestro corazón. Vive en el cielo. Surge de las profundidades de la sustancia y se ofrece con la calidad del amor. O se retira en la sustancia y se oculta allí latente y reprimido, como el odio y la venganza. Entre todos los fenómenos es realmente el único al que tan definitivamente pueden atribuirse los valores opuestos del bien y del mal. Brilla en el Paraíso. Quema en el infierno.*

GASTON BACHELARD<sup>1</sup>

Tierra, aire, agua, fuego, elementos primigenios, a través de los cuales el Hombre, no sólo ha intentado dar una explicación del cosmos, sino que se ha valido de ellos para la creación de utensilios que le han permitido un mejor bienestar en el transcurso del tiempo. Y es la cerámica la que más estrechamente ha estado ligada con estos elementos.

Pero de todos ellos, el fuego es el que tiene la clave, pues gracias a su acción, es que la arcilla blanda e informe, se hace dura y permanente. Sin un conocimiento de la acción del fuego la cerámica no existiría, como no existirían la mayor parte de registros materiales y espirituales de la primitiva Historia Humana.

Ahora bien, desde la hoguera primitiva, o el horno de pozo, a los modernos hornos, se ha producido un largo desarrollo que ha estado señalado en cada etapa por la experimentación, el ensayo y error, y, sin duda muchos desalientos y fracasos. Incluso hoy día, con la disponibilidad de medidores, pirómetros y otros instrumentos de control, un cierto misterio acompaña a las cocciones en horno.

Por otra parte, no sería exagerado afirmar, que al mismo tiempo que existe una gran variedad de tipos de hornos, parecería que el diseño de los mismos ha sido más un arte que una ciencia. Sin embargo, gracias a los adelantos en el campo de la Física y la Química para obtener productos térmico-aislantes de gran conductividad y resistencia, los hornos de hoy en día, son dispositivos cada vez más sofisticados, obedeciendo a cálculos muy específicos para determinar diseños óptimos en eficiencia, rendimiento y economía.

En cumplimiento del PROYECTO DE INVESTIGACION SOBRE LA APLICACION DEL CARBON EN EL PROCESO CERAMICO ARTESANAL DE RAQUIRA, realizado por Carbocol, Colciencias y Artesanías de Colombia, estamos presentando el informe final, en donde se contempla una breve historia del desarrollo de los diferentes tipos de homos que se han utilizado en cerámica; así mismo, se hace una descripción del homo construido y el mantenimiento preventivo que se debe tener en cuenta para una excelente operatividad del mismo, y por último, hemos considerado importante hacer una descripción de los fenómenos Físico-Químicos que se llevan a cabo durante el proceso de cocción.

## EVOLUCION HISTORICA DE LOS HORNOS

La historia del horno es realmente la evolución, en un largo período de tiempo, del simple pozo, hasta una estructura fija diseñada para dirigir y contener el calor del fuego. El horno no es una invención sino más bien el resultado de una serie de pequeños perfeccionamientos.

Es indiscutible que la aparición de la cerámica se debe más a un hecho accidental, que a un proceso racional donde se aplican ciertos procedimientos técnicos. Según las investigaciones arqueológicas, se da por hecho que la cestería precedió a la cerámica; los cestos eran recubiertos interiormente con barro y debido a una quema accidental en el fuego del campamento, pudo dar origen al prototipo de la alfarería.

El primer proceso de cocción que se utilizó, fue el de Fuego Abierto, que aun hoy en día se sigue utilizando en muchos lugares, e incluso en nuestro país, en la Costa Norte su uso es frecuente, y consiste en colocar las vasijas en el suelo y hacer fuego alrededor de ellas. El paso siguiente, fue el de la cocción en pozo, que consistía en excavar un hueco en el suelo, con una profundidad de aproximadamente 40 cms. y unos cuantos centímetros cuadrados de superficie. Este método es más eficaz que la hoguera, porque el calor se mantiene en el pozo por la barrera aislante que forma la tierra, haciendo posible lograr temperaturas más altas. El pozo proporciona también mejor control sobre el avance del calor y la atmósfera de la cocción, permitiendo también, un enfriamiento más lento, factor importante para evitar los agrietamientos que es probable que se produzcan, si la arcilla calentada al rojo o a temperatura superior se enfría de repente.

El primer perfeccionamiento del pozo fue utilizar en contorno, un muro bajo de barro, con el fin de contener el fuego en los lados (fig. 1). El efecto no era diferente de cavar el pozo un poco más profundo, pero fue un paso hacia una estructura fija. El pequeño muro facilitaba la acumulación de rescoldo alrededor de las vasijas, a medida que avanzaba la cocción, pero no promovía la combustión hacia el centro y el fondo de la carga, impidiendo con esto un aumento de temperatura. Encerraba el fuego, un movimiento en la dirección correcta. También disminuía el enfriamiento, evitando con esto la ruptura de las piezas.

El desarrollo siguiente es un paso crucial en la Historia del hombre, que consistió en la innovación de introducir fuego en el horno de la carga, de tal manera que el calor

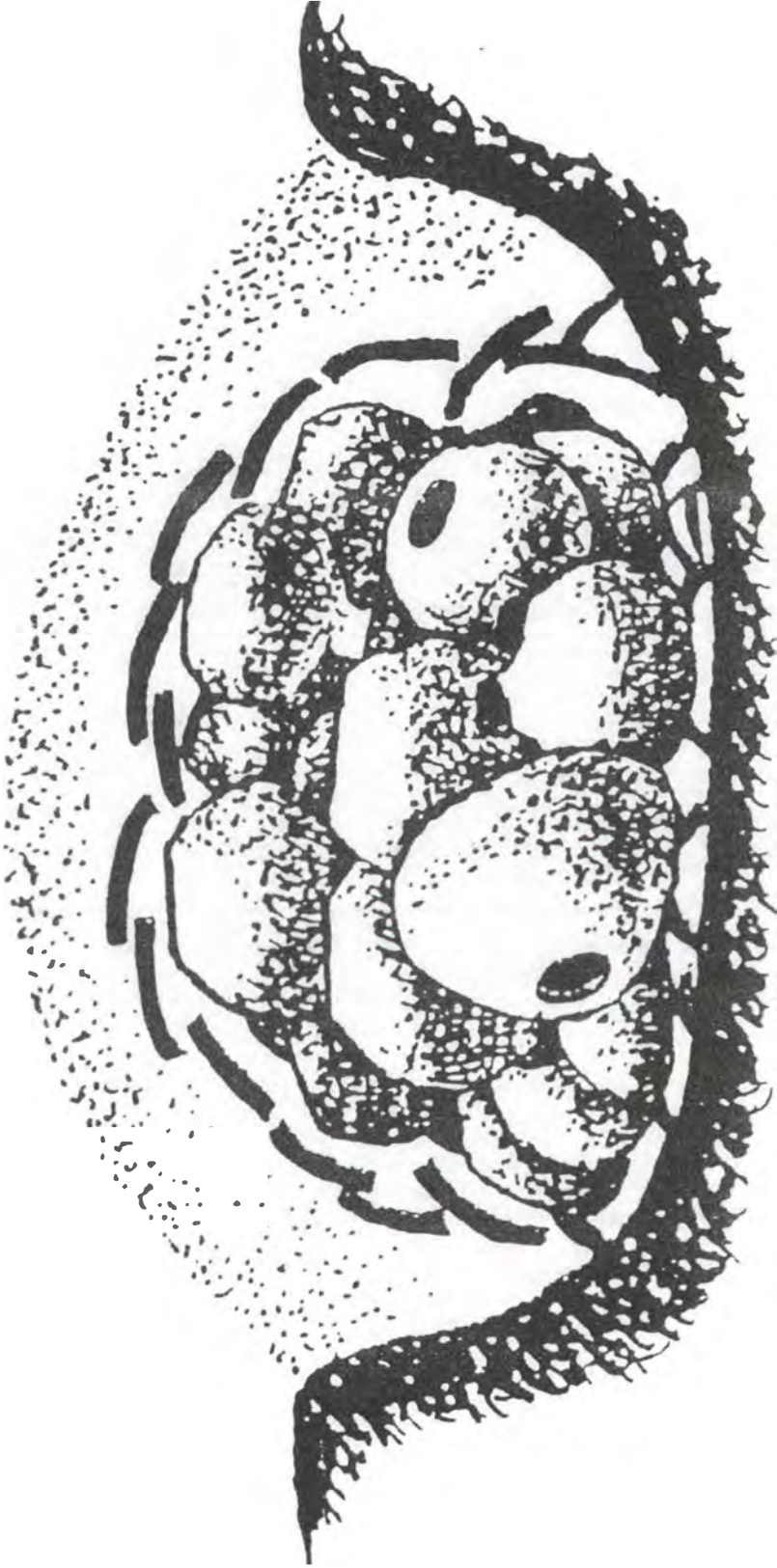


Figura 1 Cocción en pozo

pasara hacia arriba a través de la cerámica. No se conoce donde ni cuando tuvo lugar esta invención, pero abrió el camino para todos los siguientes refinamientos en el proceso de cocción. Con este adelanto, básicamente desaparece el pozo; se hacen aberturas en el muro (fig.2), y durante la cocción se alimenta el fuego introduciendo combustible en la parte inferior de la propia carga. Mientras que en la cocción en pozo abierto el combustible se aplica solamente arriba y en los lados de la cerámica, el muro circular proporciona aberturas, de tal manera que el fuego puede aplicarse en el fondo, permitiendo con ello, que el calor suba a través de las piezas. Así se introdujo la circulación; en lugar de basarse sobre la transmisión del calor por radiación desde las brasas ardientes a la cerámica, ésta es calentada por el flujo de los gases calientes alrededor de ella. La introducción del fuego de esta manera uniforma la temperatura y utiliza el combustible más eficazmente.

El muro bajo provisto de hogares en la parte inferior, no hace nada para evitar que una gran cantidad de calor se escape desde la parte alta. Aunque las llamas se dirijan a través de la carga es aún un fuego abierto. La cubierta sobre la parte alta fue otro paso hacia una estructura cerrada. En cierto grado esto disminuye la disipación de calor. Cuando la fuente de calor se redistribuye en el fondo de la pila, cualquier impedimento en la parte alta va a retener el calor para que cumpla con su función. La parte alta estaba formada por una capa de arcilla y paja empastada directamente sobre la cerámica. Para el escape del fuego se dejaban numerosas aberturas. Por simples que puedan parecer estas disposiciones representan un gran avance en eficacia.

Este tipo de horno carece aún de un lugar especializado para el fuego; simplemente proporciona agujeros en la pared a través de los cuales puede introducirse el combustible en los espacios entre la cerámica. No existe parrilla, por lo que el aire para la combustión pasa sobre el combustible más que a través de él. Estos inconvenientes se superan en la siguiente etapa del diseño, la cual es el horno de Tiro Alto con una cámara, o compartimento especializado, debajo, en la que se quema el combustible (fig 3). Este horno representa un gran avance en eficiencia, su característica innovadora radica en que la cámara de cocción se encuentra independiente de la cámara de combustión y proporcionar un movimiento del fuego hacia la carga. Las piezas ya no están sometidas a la acción directa del fuego, sino más bien al paso de los gases calientes procedentes de éste. Se calcula que este tipo de horno era ya utilizado en el año 4000 a. C. en Mesopotamia.

Este horno cilíndrico de tiro alto representa un gran avance sobre la cocción en pozo, incorporando la mayor parte de los elementos del horno tal como lo conocemos actualmente: un hogar, o boca, en el cual se quema el combustible generando calor, una cámara en la que se coloca la cerámica y que retiene el calor; una chimenea o salida por la que escapan los gases calientes, lo cual crea un tiro que atrae el aire hacia el hogar y mueve el calor hacia arriba a través del horno. Aunque queda mucho lugar para el mejoramiento del diseño, esta disposición de elementos proporcionan el prototipo de la mayoría de los hornos cerámicos utilizados en la zona mediterránea y en Europa hasta los tiempos modernos.

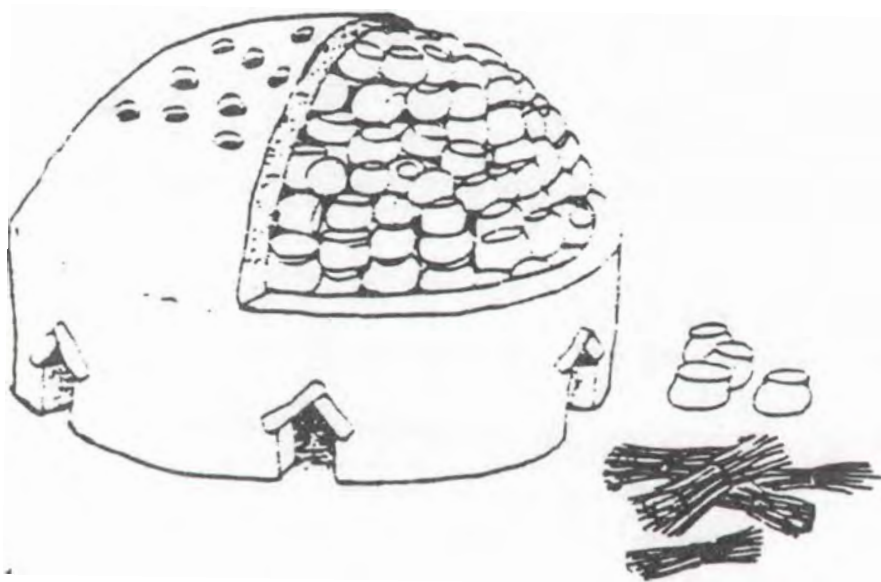


Figura 2 Horno de muro circular bajo con aberturas para el fuego

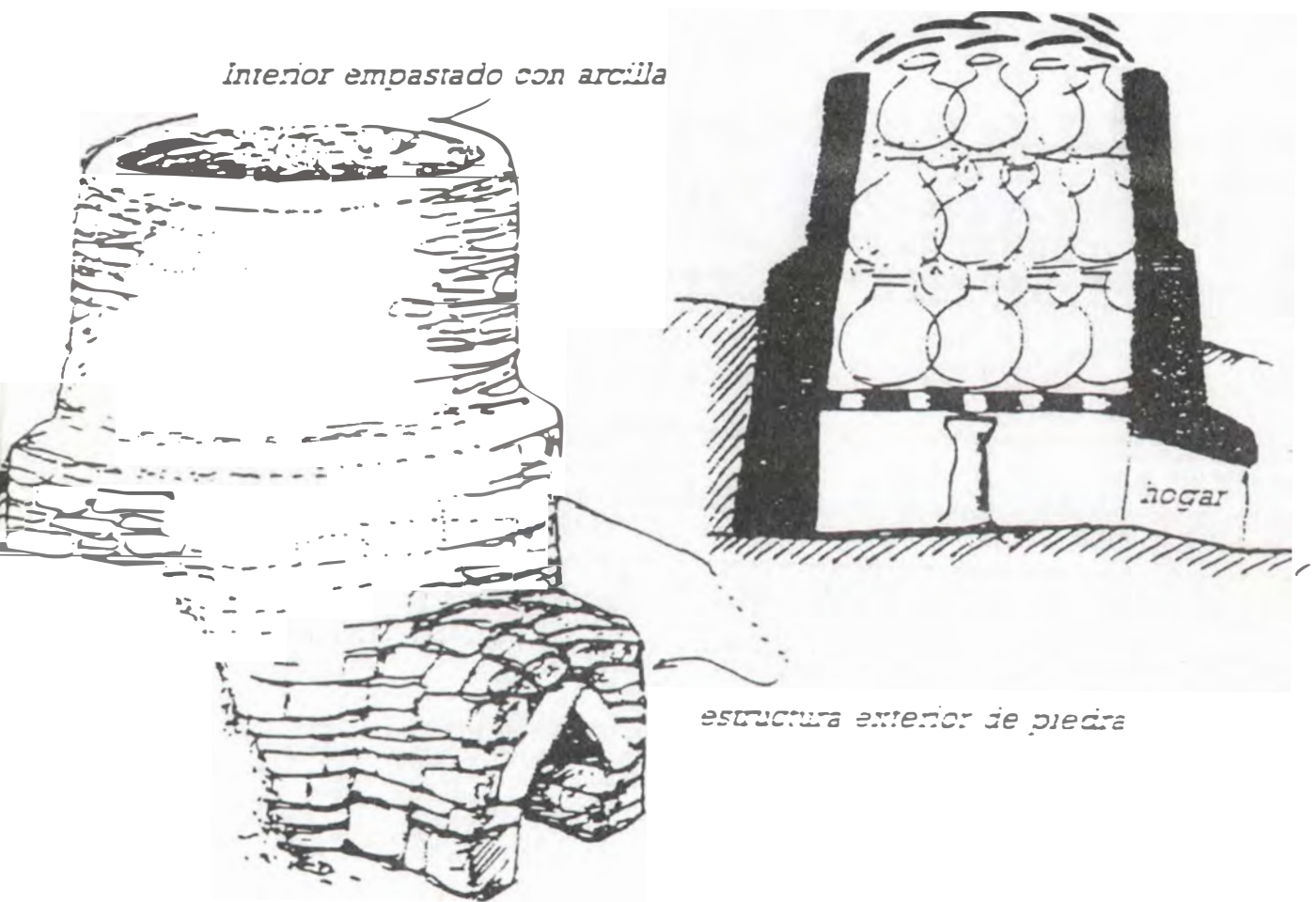


Figura 3 Horno primitivo de tiro superior



Con frecuencia los hornos se construían contra la falda de una colina o terraplén. En esta etapa el horno se convirtió en una estructura fija y pudo resistir numerosas cocciones. Las ventajas de un sencillo horno de tiro alto de este tipo son manifiestas. El fuego puede ser controlado y puede variar desde un fuego suave de rescoldos, al comienzo, a uno llameante y caliente, en la culminación de la cocción. Los gases calientes y la llama del fuego transmiten el calor con eficacia directamente a la cerámica. Las paredes del horno retienen el calor y, cuando sus superficies se calientan al rojo, reflejan el calor hacia el interior del horno, pero esto no quiere decir que fuera un horno en el cual se pudiera realizar procesos de vidriado.

La etapa siguiente en el diseño de hornos fue techar la parte superior para formar una estructura cerrada. Es incierto donde y cuando se llevó a cabo este perfeccionamiento. La cocción exitosa de cerámica vidriada del antiguo Egipto y Mesopotamia sugiere la existencia de hornos capaces de un control relativamente exacto, pero conocemos poco sobre su estructura.

Probablemente no fueron los antiguos griegos quienes inventaron el Horno de Cúpula de Tiro Alto, pero sabemos por los dibujos en sus cerámicas, que utilizaban este tipo de horno, por lo menos tan tempranamente como en el siglo VI a.C. El tamaño de los hornos es inseguro porque la escala indicada en los dibujos no es necesariamente exacta. Pero los hornos probablemente no eran muy grandes, quizás no más de aproximadamente 1,80 metros de ancho interior. Tenían una forma parecida a la del iglú (fig.4), bastante similar a la del horno de adobes para pan, familiar en el área mediterránea (quizás fue primero el diseño del horno para el pan y el horno para cerámica fue una adaptación de él). Tenía una cámara de fuego debajo, pero realmente el hogar estaba construido en un túnel que conducía al espacio inferior. El calor subía a la cámara de cocción a través de un suelo perforado y salía de ella por un agujero en la parte alta, el tiro se controlaba abriendo o cerrando el agujero de salida. En la cámara de cocción había una puerta.

Presumiblemente los romanos tenían hornos similares a los utilizados por los griegos. Los etruscos hacían cerámica muy similar a la cerámica roja y negra de los griegos, por lo que habían de ser capaces de controlar la temperatura y la atmósfera de sus cocciones. Para la cerámica utilitaria de uso diario, los romanos utilizaban hornos cilíndricos de tiro alto sin techo ni cúpulas permanentes.

El desarrollo del horno en el Oriente siguió un camino separado y diferente al de Europa. Aunque partiendo del mismo origen (la cocción en pozo abierto, típica de la producción cerámica neolítica en todo el mundo), el horno de cerámica en China, y más tarde en Japón y Corea, se perfeccionó a través de desarrollos graduales hasta ser una herramienta capaz de un control exacto y del logro de elevadas temperaturas. Durante el largo periodo desde el final de la cultura neolítica (alrededor de 1500 a.C.) hasta el comienzo del siglo XVIII, los hornos de China fueron técnicamente superiores a cualquiera de Europa, África o del Hemisferio Occidental. Esta superioridad se daba en la eficaz utilización del combustible, el control de la temperatura y atmósfera del horno y el logro de temperaturas superiores a 1200 °C., una temperatura muy por

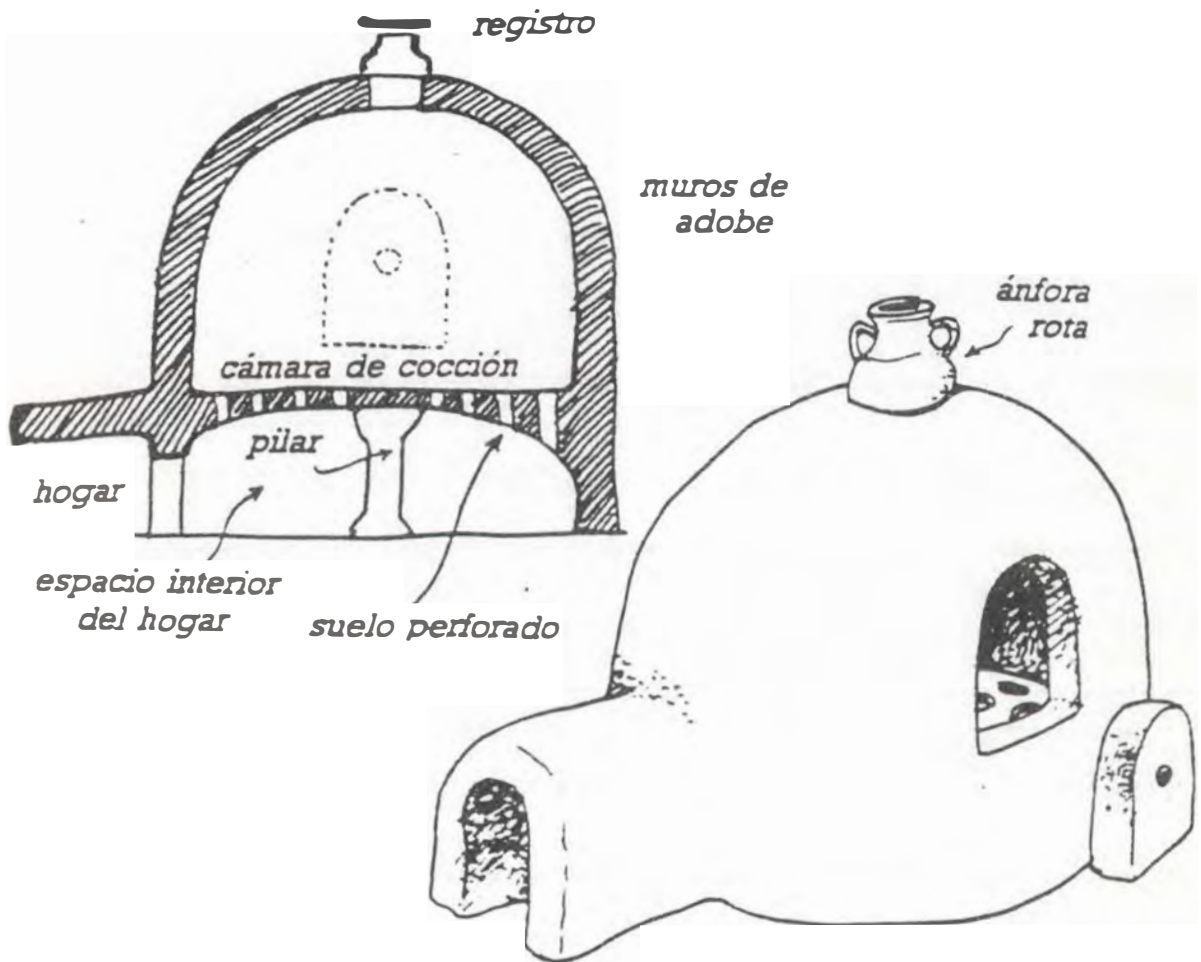


Figura 4 Horno griego

encima de la que era posible en los hornos occidentales. La primera superioridad técnica de la cerámica china fue debida, al menos parcialmente, a la excelencia de los hornos empleados. El logro cumbre de los ceramistas chinos, la producción de porcelana blanca translúcida fue una superación natural debida a las altas temperaturas de cocción.

Se sabe poco acerca de la forma real de los primitivos hornos chinos. En el periodo Shang (1423 - 1028 a.C.) se hizo cerámica de cocción dura, y es seguro que los hornos se perfeccionaron durante este tiempo. Se han encontrado restos arqueológicos de hornos de cerámica en la localidad de Shang cerca de Chegehow. Comenzaron a utilizarse temperaturas mucho más altas con las que podían cocer loza y fundir vidriados sencillos de gran fuego, compuestos de feldespato, caliza, cuarzo y ceniza. Estos fueron los primeros vidriados de alta temperatura.

La abundancia de arcillas refractarias en China facilitó el desarrollo de hornos que podían resistir las más altas temperaturas sin fundirse o hundirse. Con el uso de ladrillos y la evolución de la estructura hasta un túnel arquitectónico, construido sobre el terreno con una inclinación el horno oriental alcanzó un estado de perfección más que adecuado para cocción de la loza vidriada.

El horno es esencialmente un largo tubo parcialmente enterrado en el suelo y dispuesto sobre una pendiente de aproximadamente 25°. El horno de tubo exige una estructura en arco, lo que implica necesariamente, una disposición arquitectónica bastante avanzada. Para construir un arco se necesita algún tipo de unidad de albañilería, aunque sólo sea mampuestos colocados con arcilla. Los constructores aprendieron a hacer y utilizar los ladrillos y este horno es un ejemplo de ello. Se le ha llamado el horno de Bambú Rajado, por su forma enterrada a medias. Las dimensiones eran de 1,80 metros de altura y de 30 metros de largo, al final del cual se encontraba la chimenea. El cargue del material se hacía lateralmente y de hecho su capacidad era extremadamente superior a la de cualquier horno occidental.

Con esta estructura arquitectónica, los orientales fueron desarrollando progresivamente un diseño de horno cada vez más eficaz, creando cámaras independientes pero continuas y con alimentación del combustible por encima del embovedado (figs. 5, 6). Sin embargo, los hornos de Ching-te-chen, el principal centro productor de porcelana desde el comienzo de la dinastía Ming, utilizaban hornos de una sola cámara de tiro cruzado (fig. 7). Este horno se relaciona con el horno de tubo por su suelo inclinado, subiendo agudamente, a aproximadamente 20°, pero la forma del horno se parece a una mandolina descansando sobre su cara plana, con una considerable chimenea. Las filas de gacetas desvían las llamas hacia arriba, cuando entran procedentes de la gran trinchera que constituye el hogar, y los gases calientes se dirigen horizontalmente a través de la carga. Al diseñar un horno que tiene una sección transversal en disminución hacia la salida, los chinos acertaron en un principio que favorece una distribución uniforme de la temperatura. Los gases calientes a medida que pasan a través de la parte estrecha trasera del horno, circulan con una velocidad creciente y en consecuencia transmiten más calor a esta parte de la carga

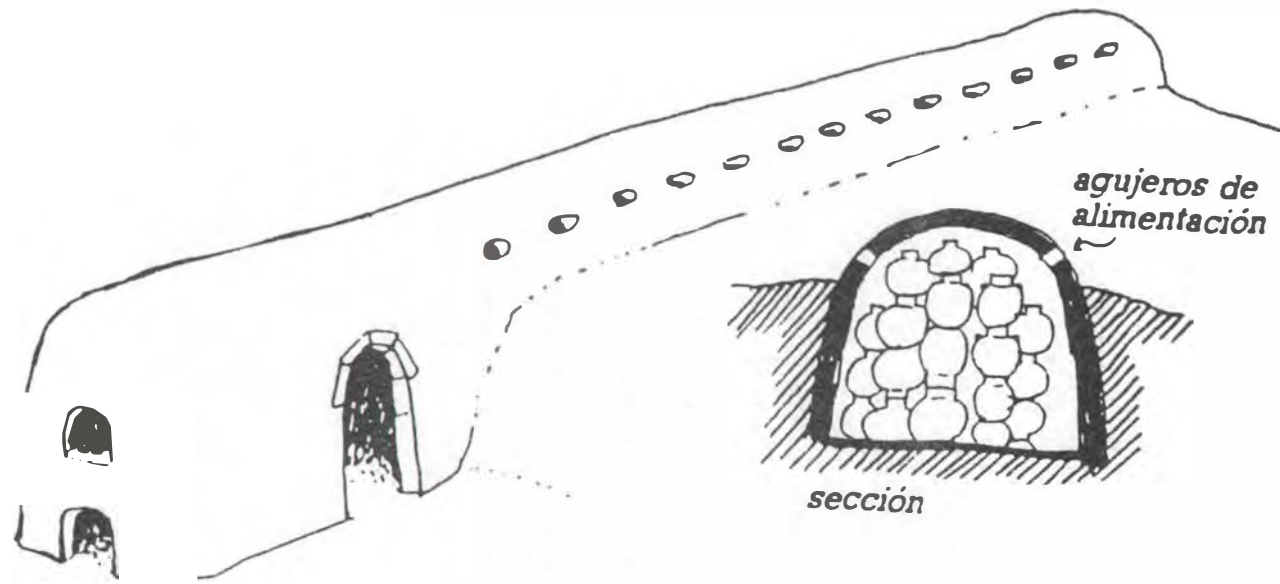


Figura 5 Horno oriental de bambu rajado

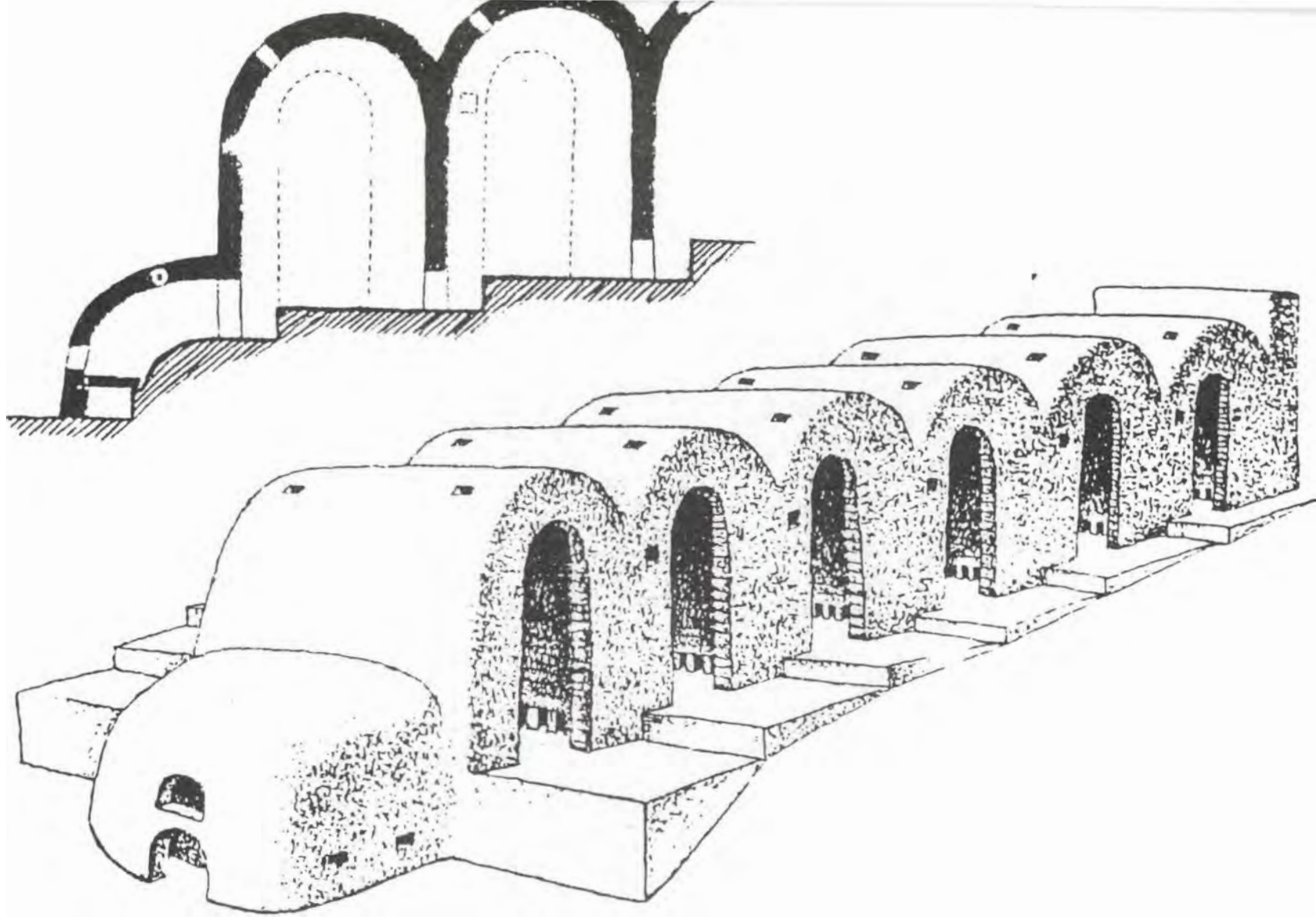


Figura 6 Horno de camaras continuas e independientes

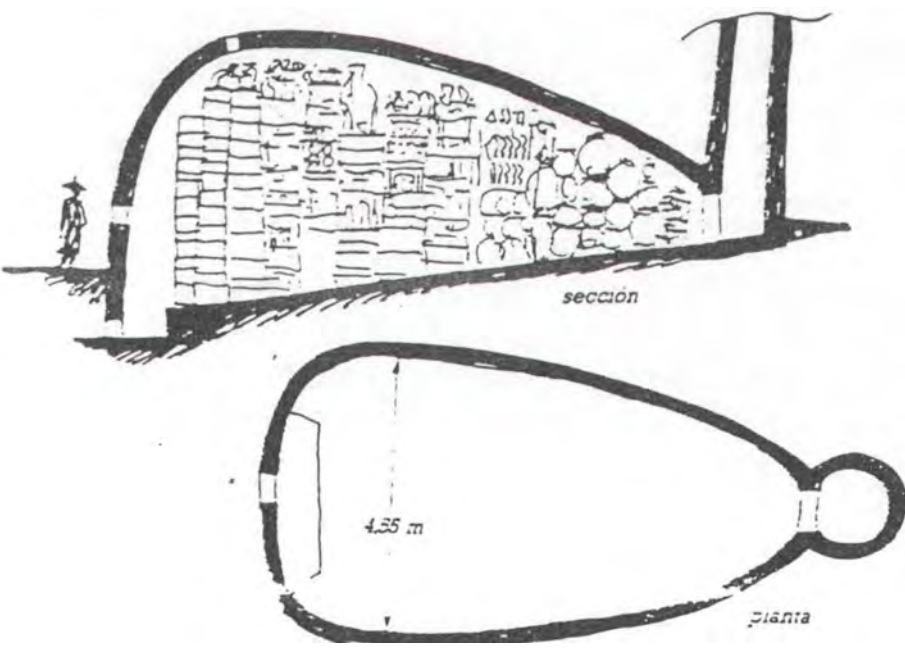
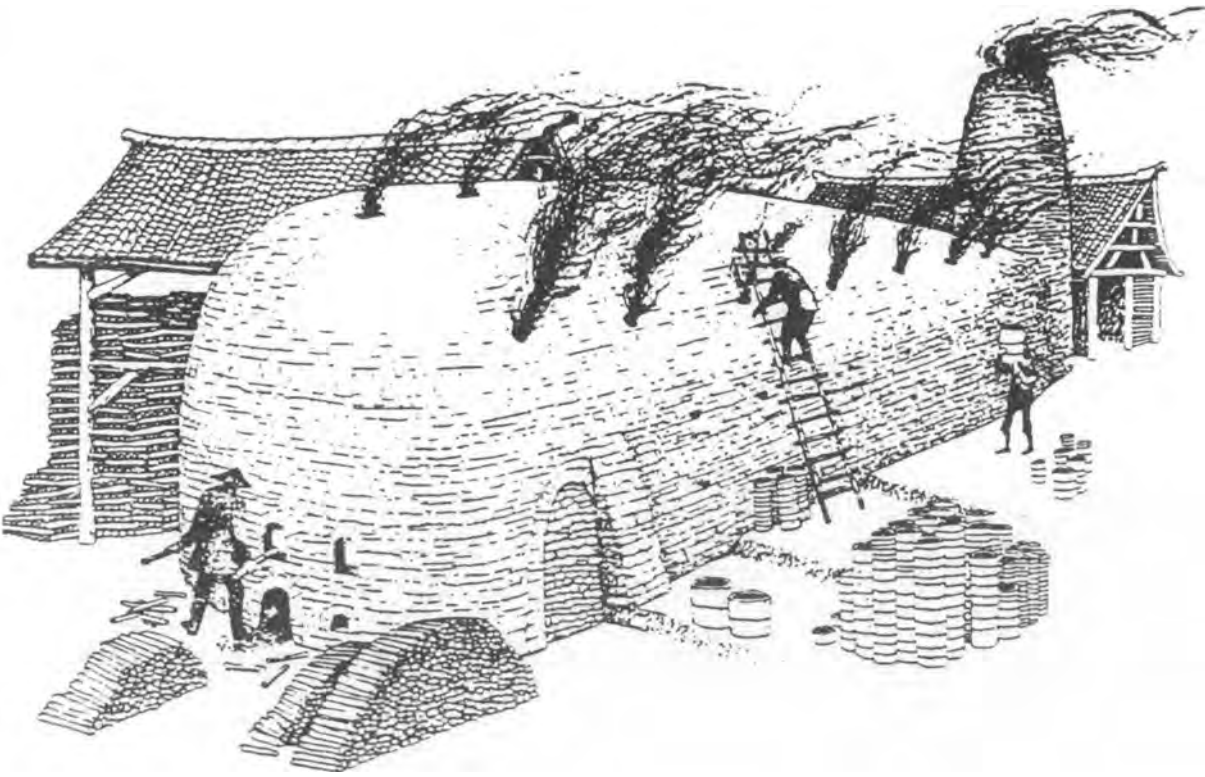


Figura 7 Horno chino de una sola camara utilizado en Ching Te chen

de lo que harían en el caso de que el horno tuviera una forma más perfectamente tubular.

La forma exacta de los hornos orientales antiguos no se conocerá nunca. Ha pasado demasiado tiempo y han desaparecido todos los restos de los viejos hornos. Pero el hecho de que los chinos hicieran loza y proto-porcelana con vidriados bien desarrollados durante la época que se correspondía con la del Imperio Romano, prueba sin lugar a duda que sus métodos de construcción de hornos y cocción habían alcanzado un grado muy alto de perfeccionamiento técnico. En el arte de la cocción Europa permaneció durante 2000 años detrás de Oriente.

En Europa y la zona Mediterránea, no se hizo ningún perfeccionamiento fundamental en el horno desde la antigüedad hasta tiempos bastante recientes. Hasta comienzos de la revolución industrial, en el siglo XVIII, los ceramistas estuvieron cocinando aún sus barro cocidos en hornos sencillos de tiro alto, hechos con ladrillos corrientes, incapaces de lograr temperaturas superiores a los 1000° C. Los ceramistas del Oriente Medio, aparentemente no conocían nada de los avances que habían sido hechos en China, cientos de años antes. La porcelana china, que comenzó a aparecer como una importación preciosa en los países islámicos durante la dinastía Tang, fue admirada grandemente, pero nadie fuera de China sabía como se hacía o cocía.

Sin embargo en las regiones islámicas de Oriente Medio el horno evolucionó hacia una estructura arquitectónica fija. Los islámicos utilizaban hornos de tiro superior, con cúpulas bien construidas y suelos abovedados, sólidamente hechos sobre la cámara de fuego del hogar. Falta evidencia arqueológica de la forma exacta de los hornos de Persia y Mesopotamia durante el gran período anterior al siglo XIII.

En la fig 8 aparece un horno utilizado en España durante el período hispano-morisco. Es posible que, puesto que el arte cerámico español fue un desarrollo basado en los prototipos islámicos, utilizaran en Persia, Irán y Egipto, hornos muy similares durante los siglos X a XIII; el mejor período de la cerámica islámica. El horno está sólidamente construído con recios contrafuertes para soportar la cúpula. Para lograr un mayor aislamiento está parcialmente enterrado en la ladera de una colina. Una característica curiosa del diseño es el estante en la parte trasera del hogar que se utilizaba para el biscochado. Puesto que el tiro del horno era fuertemente hacia arriba, esta parte de la sección inferior era calentada solamente por el calor radiante y alcanzaba una temperatura menor que el de la cámara principal, situada en la parte superior.

Los hornos utilizados en las regiones islámicas y en España, funcionaban ciertamente con un buen control aunque no con buen rendimiento. No hay ennegrecimiento o decoloración, producidos por flameado o por reducción, lo que indica que los hornos debían trabajar con una atmósfera limpia.

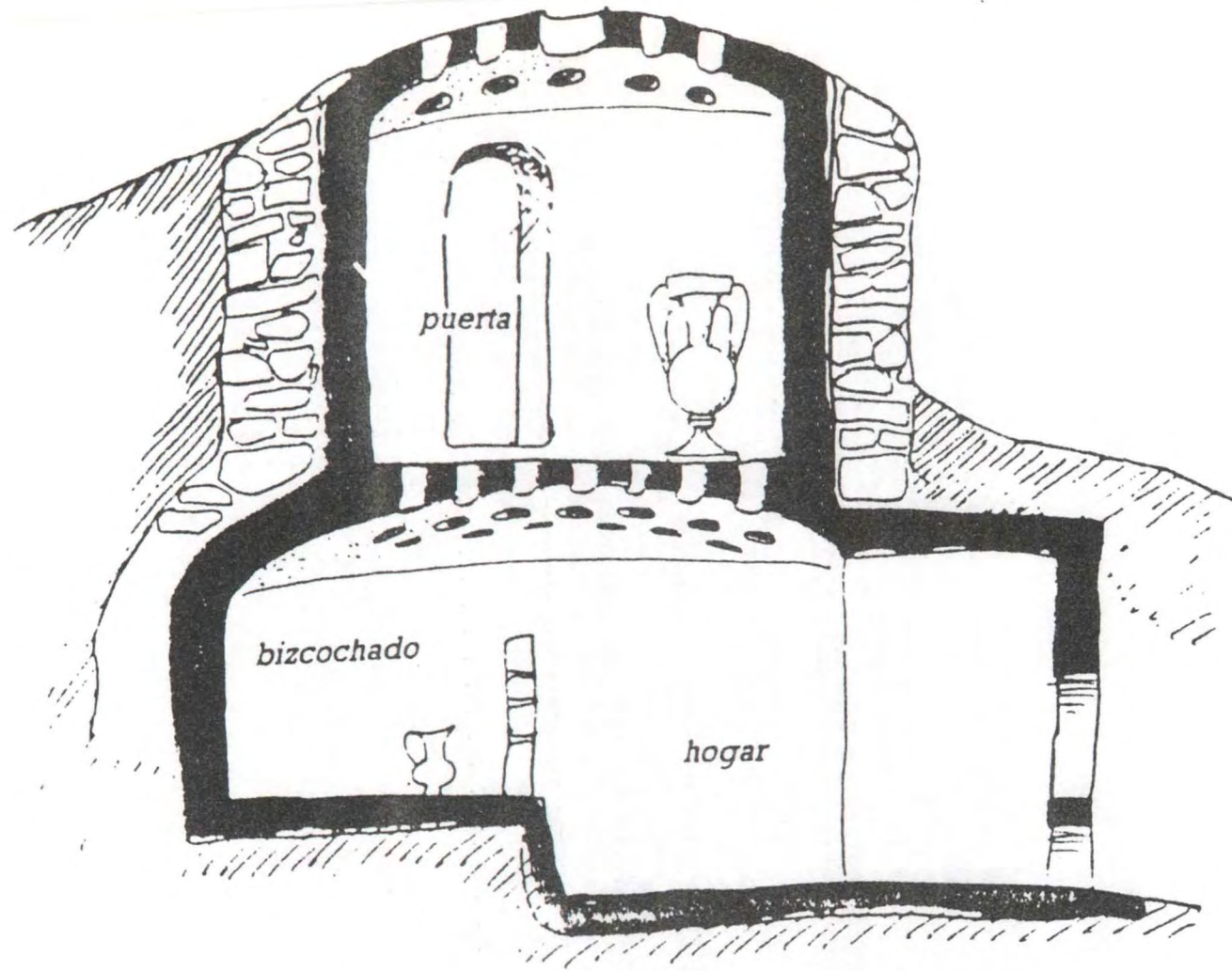


Figura 8 Horno medieval español



Después del año 1600, los hornos europeos para barro cocido tomaron muchas formas, pero eran corrientemente estructuras circulares con dos o más bocas de hogar y circulación hacia arriba, perfeccionada por la adición de una chimenea por encima (fig. 9). La chimenea era como una innovación; aumentando el tiraje mejoraba la combustión y hacía entonces posible una temperatura más alta en el interior del horno, desfogando por agujeros, situados en el coronamiento. Los hornos crecieron en tamaño a medida que los talleres se transformaban en factorías más que en pequeños establecimientos familiares. La leña y la maleza se siguieron utilizando como único combustible para la cocción, al mismo tiempo que el material que se empleaba para la construcción del horno eran ladrillos comunes.

El siguiente desarrollo técnico en la construcción de los hornos, fue el perfeccionamiento de un horno que podía cocer a 1300° C., la temperatura necesaria para madurar las pastas y el vidriado de porcelana. Con tal horno, Europa, por fin, alcanzó a los chinos en el arte del diseño y construcción de hornos.

En 1690, el científico alemán, Von Tschimhausen, experimentaba con los puntos de fusión en distintas sustancias, utilizando un quemador de vidrio como fuente de calor. Dentro de sus experimentos descubrió que la porcelana china necesitaba una temperatura relativamente alta para fundirla. Aparentemente hasta ese momento se admitía que la admirada porcelana china era cocida a la misma temperatura que cualquier otra cerámica y que el secreto de su dureza y traslucidez era producto de algún ingrediente desconocido. Tschimhausen se dió cuenta de que la cocción a elevada temperatura era el secreto de la fabricación de la porcelana. Con objeto de llevar una investigación más profunda de como estaba compuesta y cocida la porcelana, hizo un estudio completo de las técnicas de hacer cerámica existentes en Europa. El rey de Sajonia, Augusto el Fuerte, financió un proyecto de investigación de la porcelana con el fin de crear una industria provechosa, empleando a Tschimhausen y a Joham Bottger, un alquimista. Por el año de 1708, estos habían logrado hacer una verdadera porcelana, y a partir de su trabajo se desarrollaron las famosas porcelanas de Dresde y Meissen.

No se conoce el diseño de los hornos utilizados por Tschimhausen y Bottger en sus experimentaciones. Pero un factor crucial para el logro de altas temperaturas fue el hecho de utilizar carbón como combustible. Bottger, como alquimista, debía conocer el arte de fundir metales quemando carbón y coque en los hornos. El diseño de los primeros hornos construídos para cocer porcelana pudo haber sido muy similar a los hornos usados ya para el barro cocido, pero con una mejor calidad de los ladrillos utilizados para su construcción y con parrillas de hierro fundido diseñadas para soportar el carbón.

Después de 1700 las parrillas de hierro fundido para quemar carbón, se hicieron comunes en los hornos de cerámica (fig. 10). El carbón se sostiene sobre barras de hierro y el aire para la combustión entra desde abajo. Las cenizas caen a través de la parrilla y se recogen debajo, de donde son retiradas periódicamente.

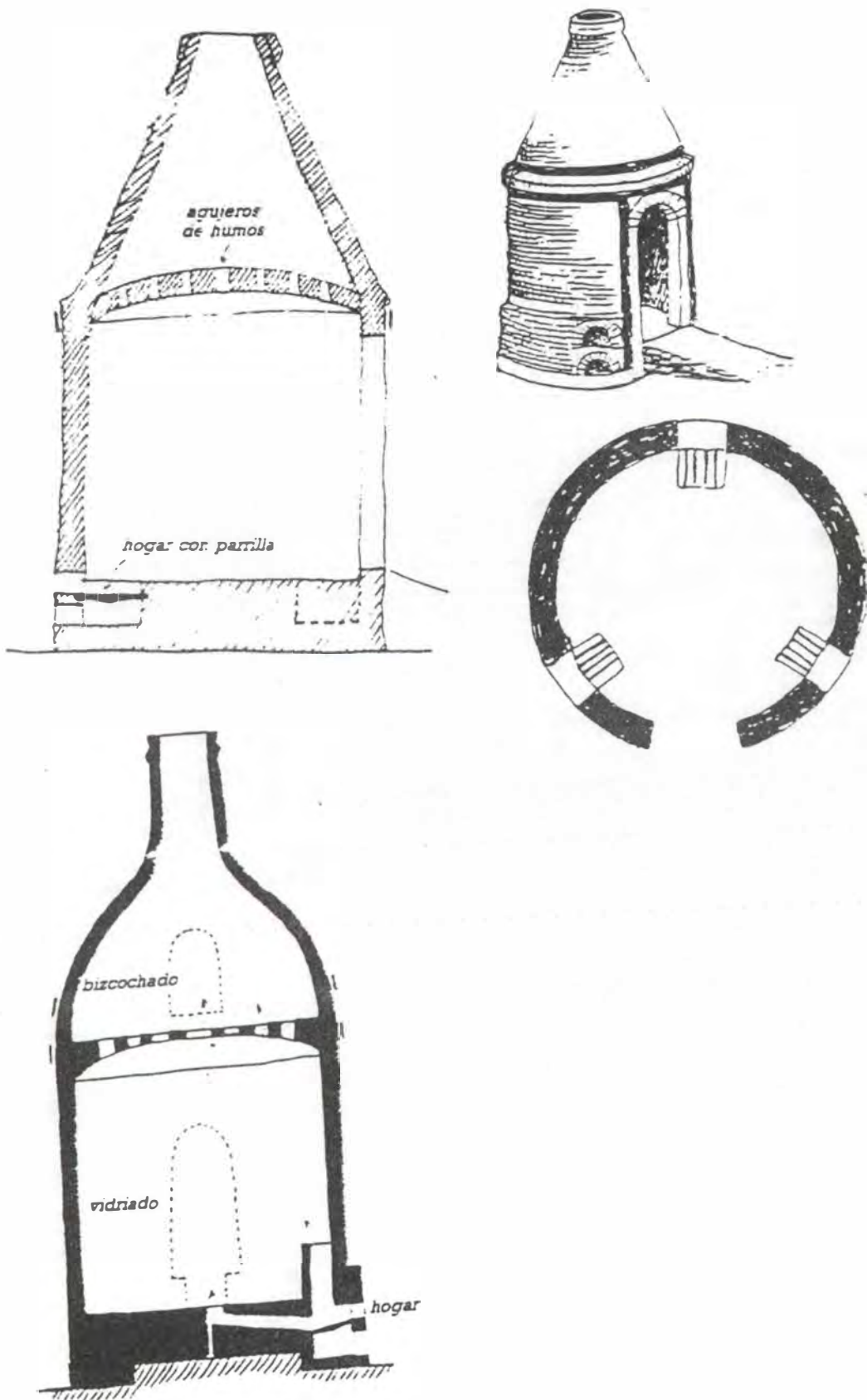


Figura 9 Horno europeo de tiro alto

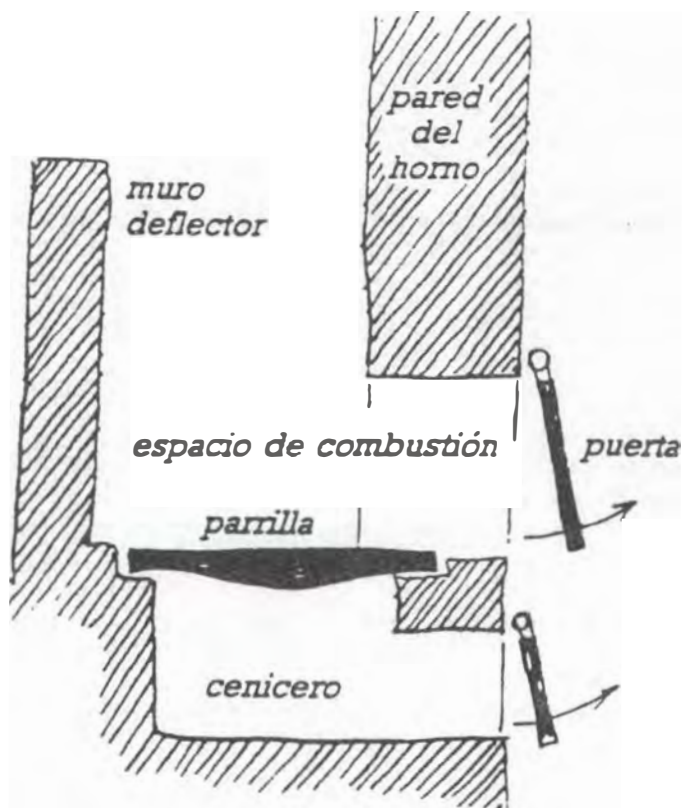


Figura 10 Parrilla para quemar carbon

El horno de tiro alto quemando carbón, se convirtió en el equipo estandar para la cocción de porcelana. Se levantaba en forma de una alta botella con una cámara de bizcochado (fig. 11). En este diseño parte de las llamas se desviaban hacia el centro del horno a través de pasos bajo el suelo, mientras que el resto de las llamas, desviadas por un bajo muro deflector, se elevaban directamente hacia arriba. Con esta distribución de las llamas, el calor se repartía en forma más o menos uniforme en toda la carga. El calor procedente de la cámara de vidriado, calentaba la cámara de bizcochado que se encontraba situada en la parte superior del horno. A la cámara superior se entraba por una puerta que, corrientemente, coincidía con el segundo piso de la factoría. La cuidadosa conducción del fuego y el largo ciclo de cocción daban la temperatura uniforme que era crucial para la cocción con éxito de la porcelana. Los hornos de las factorías de porcelana europeas se construían para durar muchos años y el procedimiento de cocción se refinaba y perfeccionaba a través del curso de cientos de cocciones.

Una desventaja del horno de botella de dos cámaras, era el esfuerzo de la pesada cámara superior y la chimenea apoyándose sobre la cámara inferior, necesitándose gruesas paredes y robustos esfuerzos externos de cadenas o zunchos de hierro. El horno de cabaña, tenía una chimenea formando una especie de cabaña, construida en el exterior de la parte principal del horno y no apoyándose sobre ella (fig.12). Este diseño permitió el agrandamiento del horno, era más barato de construir que el horno de botella y era más fácil de tener en buenas condiciones de operatividad. A veces la cabaña se construía suficientemente grande para cubrir la totalidad del horno, como un sombrero, y los hombres que atendían el horno trabajaban dentro de ella. El horno europeo se convirtió en una estructura arquitectónica definida y eran tan grandes como una casa. Los muros eran gruesos, y en el caso de los hornos para porcelana estaban contruidos por ladrillos refractarios. No se utilizaba ningún tipo de aislamiento más que los propios muros gruesos de albañilería, sin embargo el costo por unidad de cerámica cocida era muy bajo debido a la disponibilidad de carbón barato. Las puertas se tapiaban con ladrillo en cada cocción.

Hemos visto que la cocción a alta temperatura para porcelana comenzó en el siglo XVIII y que, antes de esto, el barro cocido era la cerámica usual para uso diario. Pero había una excepción a la universalidad del barro cocido: las lozas vidriadas a la sal en Alemania. Su fabricación en Colonia y otras localidades de la ribera del Rin parece haber comenzado aproximadamente en la mitad del siglo XVI, o quizás antes. Los ceramistas de loza renanos descubrieron caminos para aumentar la temperatura de sus hornos y hacer posible el vidriado a la sal. Se sabe poco acerca de los primeros hornos pero puede admitirse que eran similares a los modernos. Los hornos eran grandes estructuras horizontales (fig.13). La circulación era de tiro superior mientras los gases calientes salían por los agujeros localizados en la parte alta. La sal se echaba en el horno por las hornillas y también a través de los agujeros de la parte alta. Estos hornos de diseño bastante rudimentario se alimentaban con leña y alcanzaban una temperatura de alrededor de 1100° C.

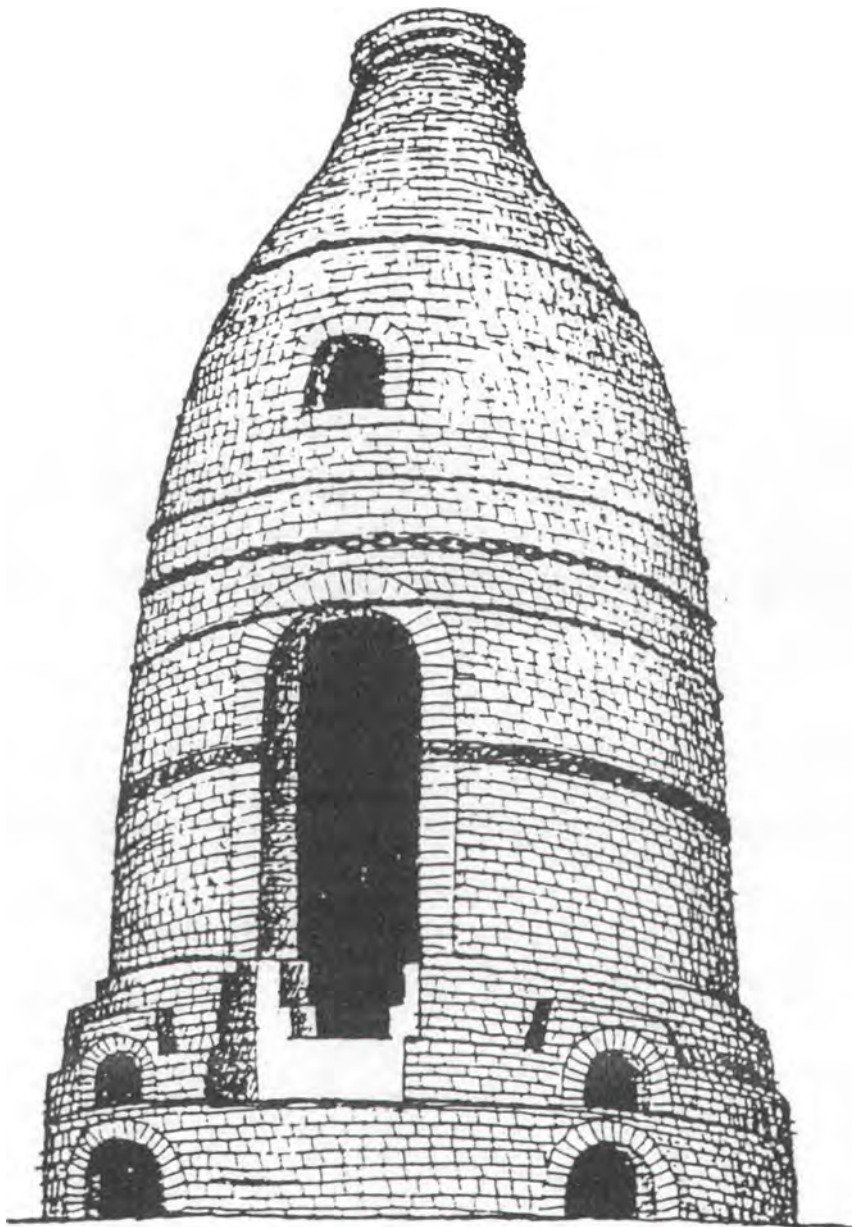


Figura 11 Horno de botella inglesa

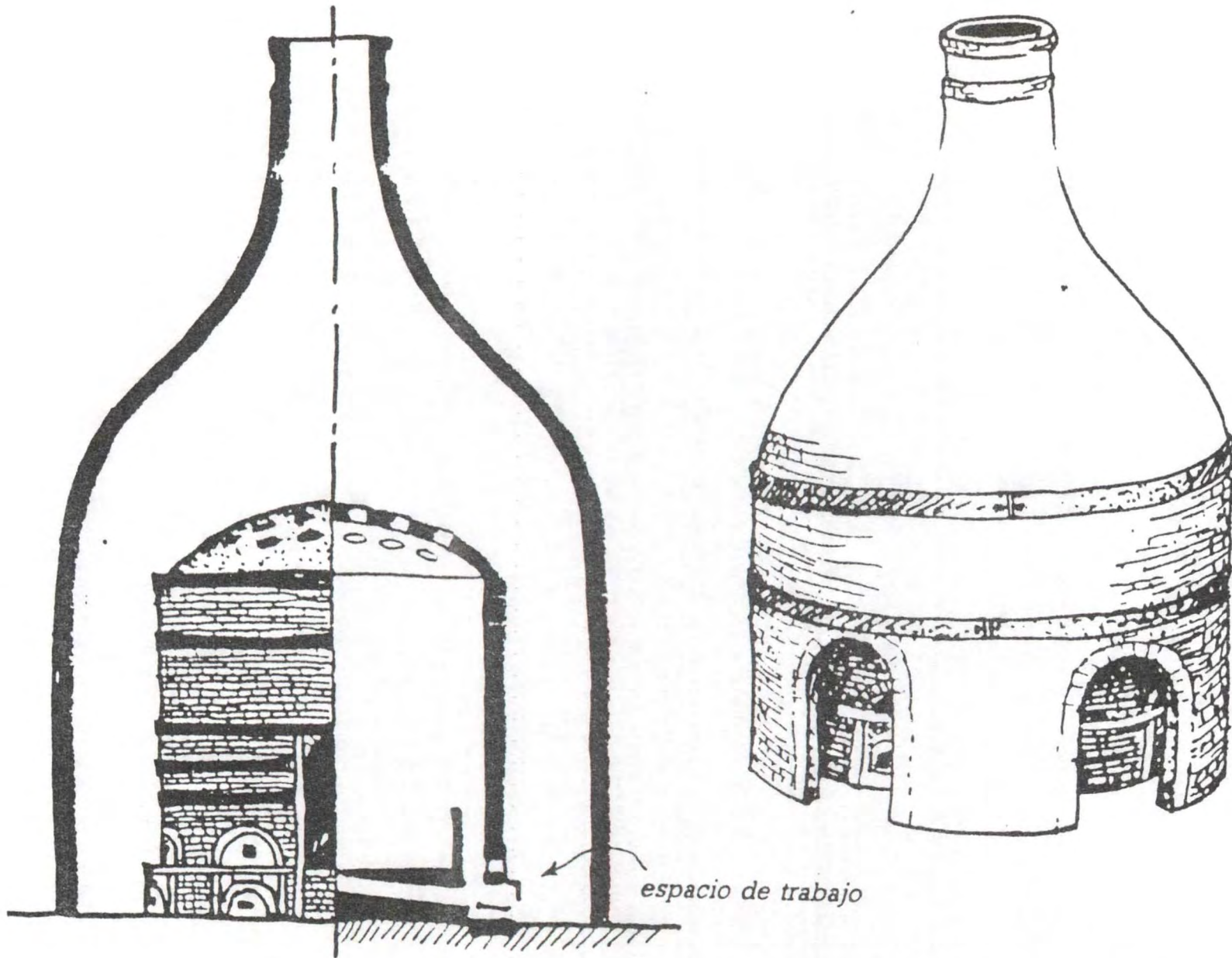


Figura 12 Horno de cabaña

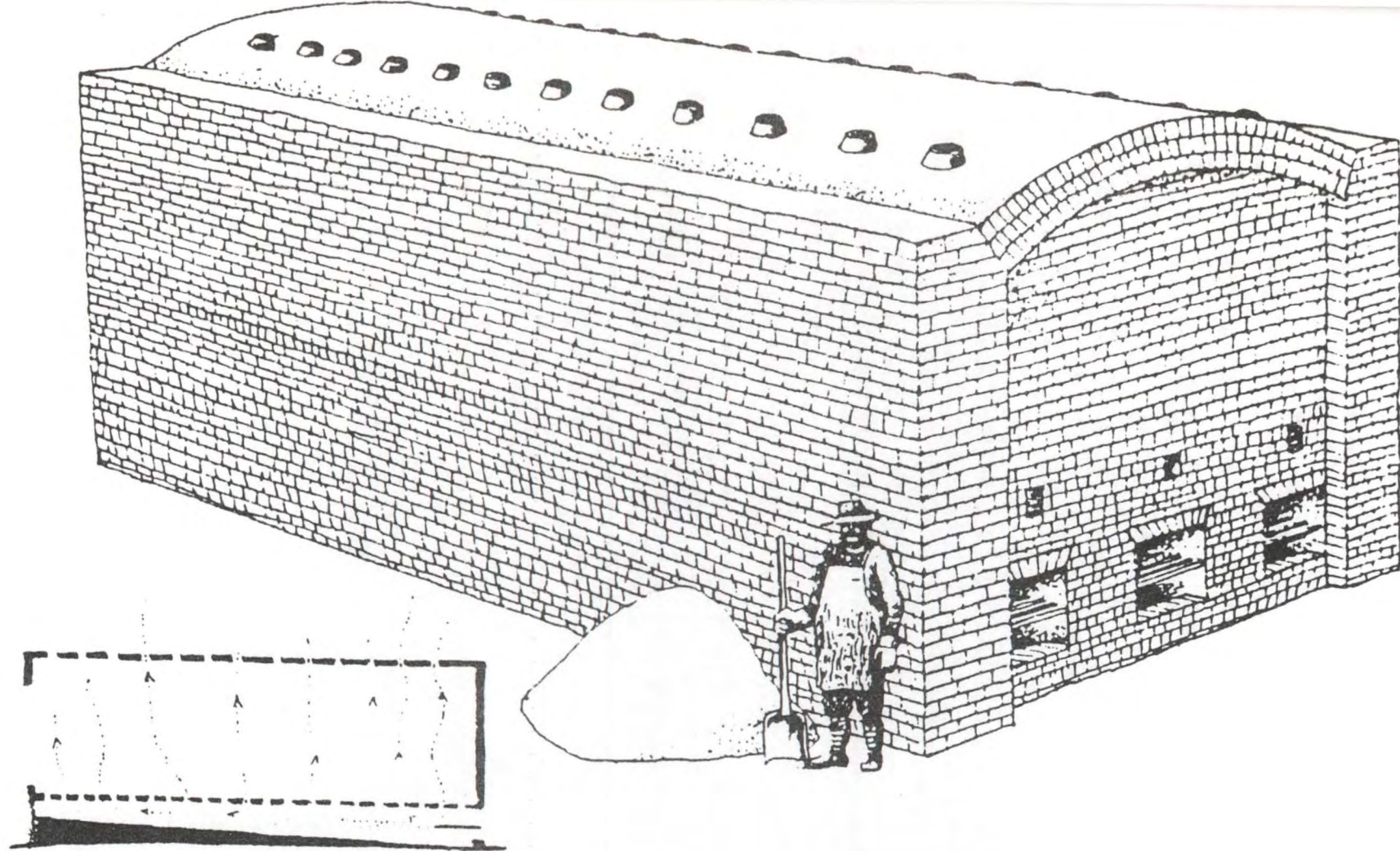


Figura 13 Horno aleman de tiro alto para vidriar a la sal

Al comienzo de la revolución Industrial, alrededor de 1750 y especialmente durante el siglo XIX, se hizo mucho en el desarrollo y perfeccionamiento de los hornos. Los grandes progresos hechos en todas las artes industriales y los avances de la metalurgia y fundición, energía de vapor y mecanización, fueron reflejados fuertemente en la industria cerámica.

Con la industrialización de los productos cerámicos comenzaron a hacerse en grandes cantidades. Ladrillos, azulejos y tubos de drenaje, vajillas, platos y cerámica artística, se cocieron en grandes hornos. La cerámica se transformó en una gran industria.

Los primeros hornos de ladrillos en Europa eran estructuras primitivas, sin cubiertas o techo, como el horno Scove (fig. 14). El horno de Cassel, popular en Alemania, para fabricación de ladrillos y su primo en Inglaterra, el horno New-castle, representan una ruptura con los sistemas corrientes de tiro superior. El horno de Cassel (fig. 15), consiste en una cámara rectangular de aproximadamente 3,50 metros de altura, con un techo abovedado. En la parte frontal del horno existen dispuestos los hogares para el cargue de combustible. En el extremo opuesto del horno se encuentra la puerta de acceso y sobre ella la chimenea. A 60 ó 90 centímetros de las hornillas, en el interior del horno, existe un muro deflector que protege la carga del ataque directo de las llamas y proporciona una mejor distribución del calor. En la parte inferior del muro deflector hay unos conductos que llevan a la parte más lejana del horno, y sirven para conducir gases calientes directamente a la parte trasera. El muro deflector está construido en forma ajedrezada, de manera que admite los gases fácilmente. El horno de Cassel es una disposición de tiro cruzado y su ventaja es la transferencia completa del calor a la cerámica y también la posibilidad de distribuir o dirigir los gases calientes según se desee, a medida que pasan a través de la cerámica. Este horno posee un diseño similar a los hornos chinos de Ching-te-chen y no necesitarían cambios drásticos para convertirlo en un horno de tiro inferior.

El horno de Newcastle es una versión inglesa del horno de Cassel. Tiene la puerta de paso a través del hogar y el muro deflector se reconstruye en cada cocción. Como en el horno de Cassel unos conductos por debajo del suelo llevan algo de las llamas directamente hacia la parte trasera del horno, ayudando a la distribución uniforme del calor. La entrada a la chimenea se hace a través de un conducto en la parte baja del muro trasero. Esta disposición produce un efecto parcial de tiro inferior. Para elevar la temperatura dentro del horno se introducía combustible por los agujeros situados en la coronación. El carbón se quemaba entre la carga.

Debe hacerse notar que la mejora en el diseño de los hornos en Europa durante el siglo XIX, está relacionada por completo con el diseño, construcción y circulación del calor, en lugar de los combustibles utilizados, puesto que el carbón y la madera continuaban siendo los únicos combustibles disponibles para la cocción de cerámica, sólo hasta la primera parte del presente siglo, comenzaron a utilizarse combustibles derivados del petróleo, e incluso, el gas llegó mucho más tarde, y la electricidad no



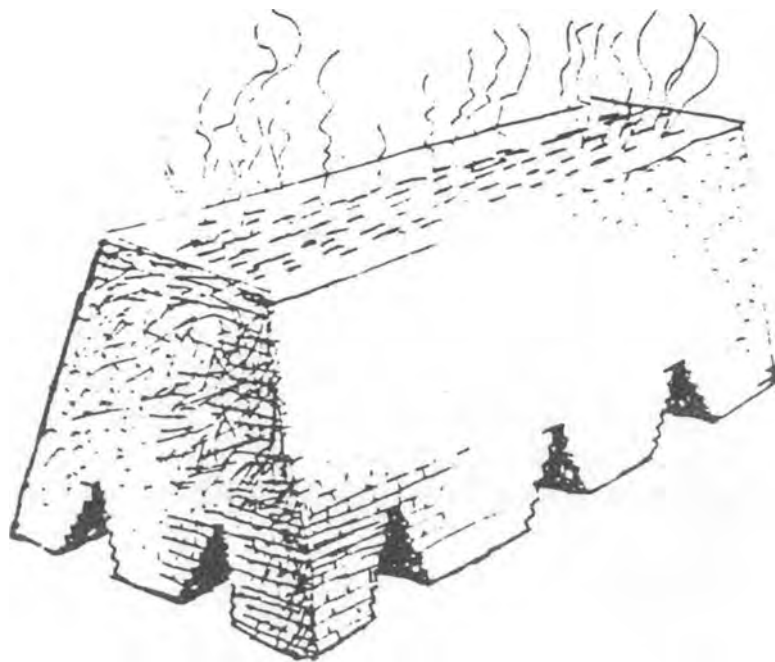


Figura 14 Horno Scove

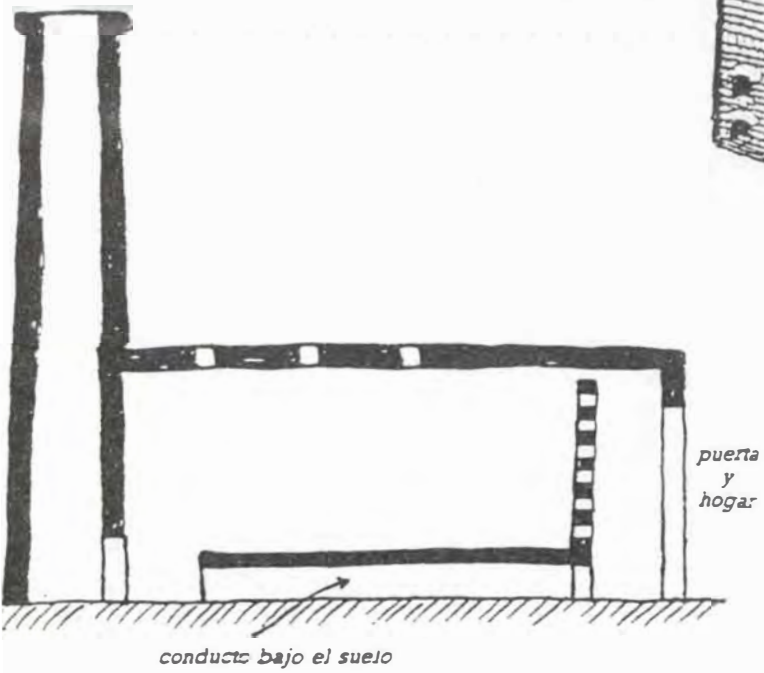
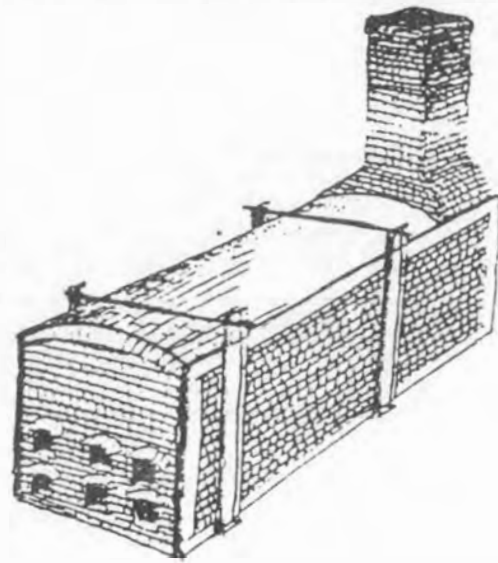
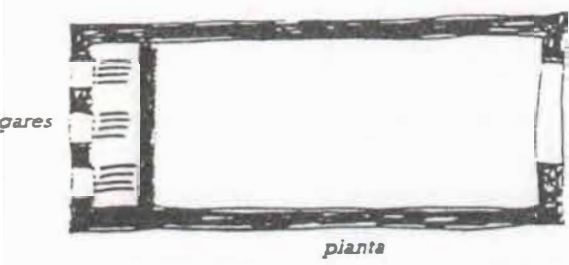
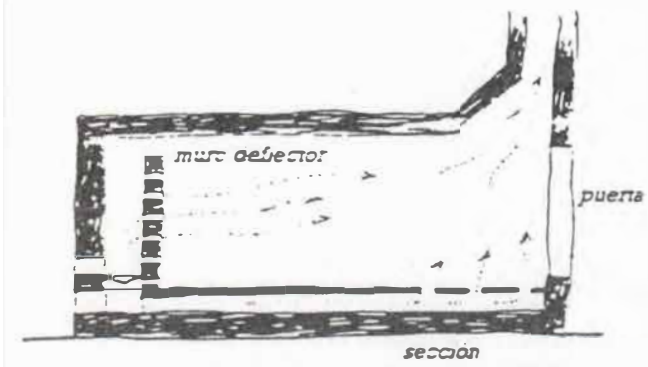


Figura 15 Hornos Cassel y Newcastle

empezó a usarse para cocer cerámica si no hasta después de la Primera Guerra Mundial.

El paso siguiente es el desarrollo del horno de tiro inferior, que se ha ido perfeccionando hasta nuestros días. Este horno evita la mayoría de las desventajas de los otros sistemas y puede considerarse el desarrollo final de los hornos intermitentes quemando combustible. Ahora bien, como el horno que escogimos para construir en Ráculra es de este tipo, en el capítulo siguiente haremos una descripción más amplia y detallada; por lo pronto aquí solamente lo reseñamos como parte de la evolución que venimos estudiando, e incluimos un diseño que estuvo en auge en las décadas de los años cincuenta y sesenta (fig.16).

Con el desarrollo completo del horno de tiro inferior, (hoy llamado horno de llama invertida y de tiro descendente), el único paso necesario para poner los hornos occidentales a un nivel igual al que habían alcanzado más de un milenio antes en China fue la idea de conectar varias cámaras, lo que permite una mayor eficiencia en la utilización del horno, al tiempo que se economiza combustible, pues el calor que se pierde en el enfriamiento, aquí es aprovechado para calentar las otras cámaras.

Hasta este momento, solamente hemos hablado de los hornos discontinuos o intermitentes, pero a partir de la segunda mitad del siglo XIX, se patentó el primer horno continuo para cerámica, basado en un estudio de los hornos de recuperación utilizado por entonces en metalurgia. Este horno fue diseñado por Hoffmann y Licht en 1858. En este primer diseño, el horno presenta todavía una forma circular (fig.17), posteriormente anular (fig.18), y por último una forma rectangular, que es la que hoy se utiliza y que consiste en dos galerías paralelas, en cuyo extremo se unen por un pasa-fuegos (fig.19). El horno está compuesto por varias cámaras, conectadas a un canal de humos, que lleva a la chimenea. Cada cámara se calienta introduciendo el combustible por la parte superior. El aire para la combustión es aspirado de la cámara vecina, que se encuentra en enfriamiento, mientras que los gases calientes se evacúan a través de la cámara del otro lado que se está calentando, por lo tanto el calor desperdiciado es mínimo. Obviamente los hornos continuos son sólo adecuados para una producción muy grande. En un momento determinado una cámara está en cocción, otra está siendo desocupada y las restantes están, o bien calentándose, o bien enfriándose.

El siguiente avance en este proceso, se da con la aparición del horno Tunel, con un rendimiento mayor y un consumo de combustible menor al del horno Hoffmann. Aun cuando en Vincennes, Francia, existió uno por el año de 1751, y que era utilizado para cocer decoraciones sobre vidriado de porcelana, no fué sino hasta finales del siglo pasado, en 1877, que el señor O. Brock, diseñó y patentó el primer horno tunel que tuvo éxito.

El horno tunel básicamente consiste en una galería recta con una sección relativamente pequeña y una longitud que puede alcanzar los 130 metros (fig.20). La galería está provista de puertas a ambos lados. Esta construido con ladrillo refractario

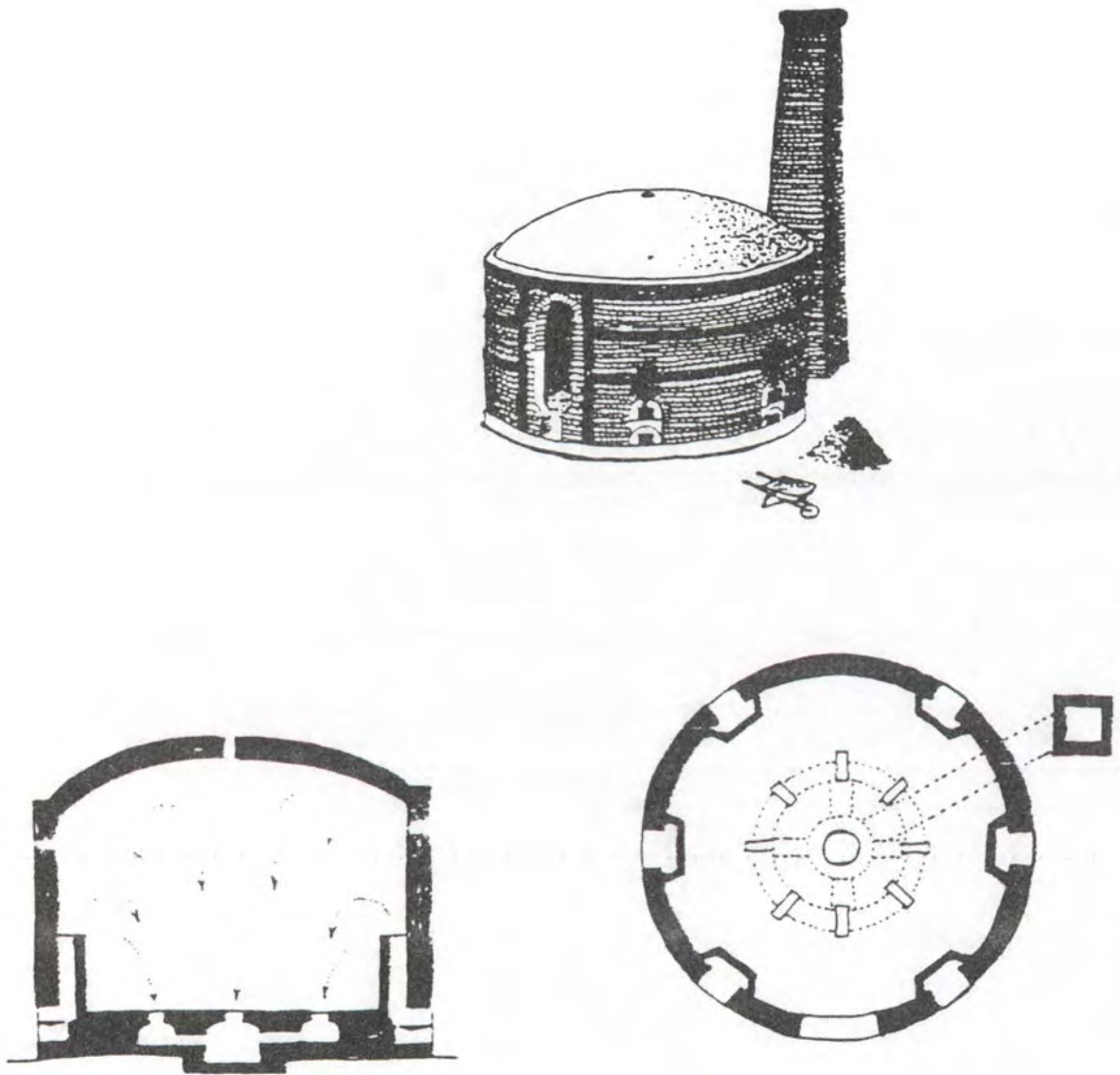


Figura 16 Horno de llama invertida

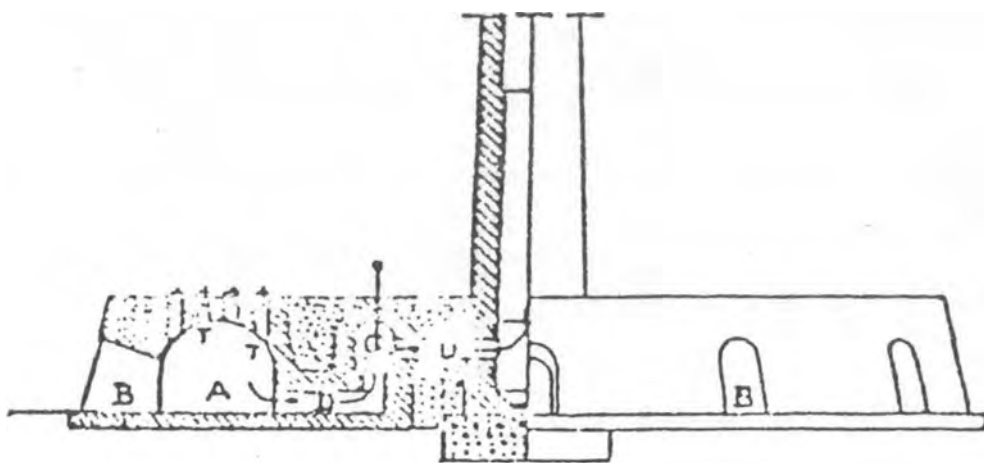


Figura 17 Horno antiguo circular Hoffmann

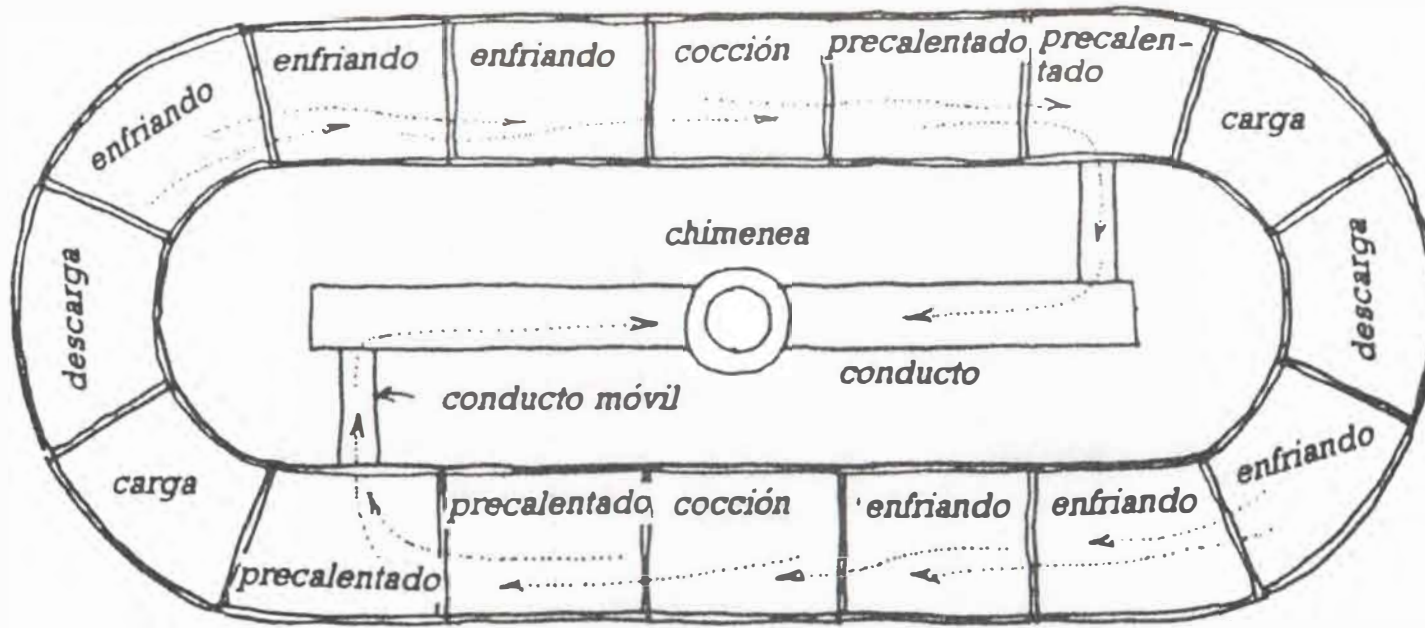


Figura 18 Horno anular Hoffmann

en su parte interior al igual que la bóveda, generalmente siendo esta plana. El producto que se va a cocer se coloca en vagonetas que van montadas sobre rieles y que recorren lentamente la galería desde un extremo a otro. A intervalos regulares se introduce una vagoneta de producto crudo y se extrae otra de producto cocido. Las vagonetas circulan por la acción de un mecanismo de empuje, generalmente hidráulico. A diferencia del horno Hoffmann en que la zona de fuego es móvil, en el horno túnel la zona de fuego es fija, es decir, que a lo largo del horno se distinguen claramente tres zonas: zona de precalentamiento, zona de cocción y zona de enfriamiento, por lo tanto la temperatura varía de un extremo a otro, pero se mantiene constante en cada punto (isotermia). La función básica de un horno túnel, es la de mantener el sistema tiempo-temperatura predeterminado para cada tipo de producción, en su tránsito a través de la galería.

Encima del horno están colocados los conductos que controlan la distribución del calor. El aire caliente se toma del extremo de la zona de enfriamiento mediante un ventilador y se suministra a los quemadores. El exceso de aire caliente es transportado a los secaderos. Un extractor a la entrada del horno aspira aire caliente en la sección de precalentamiento.

Una variante del horno túnel, es el horno de rodillos que presenta un funcionamiento similar al anterior, con la diferencia de que los rodillos producen un movimiento de traslación continuo y suave. Pueden estar preparados para cocer con placas refractarias o sin ellas, lo que representa ciclos de cocción de 2-3 horas y de 45-65 minutos respectivamente. Los rodillos son de material refractario, principalmente sillimanita. Presentan las zonas características de los hornos túnel, utilizando generalmente combustible gaseoso. El alto rendimiento de este horno radica en que las piezas se cocinan una por una, representando el mayor avance en el desarrollo de la historia de los hornos (fig. 21).

Básicamente el desarrollo de los hornos, en las últimas décadas, está ligado al desarrollo de refractarios aislantes y de quemadores de tipo electrónico, que han permitido la construcción de hornos cada vez más eficientes. Sin embargo es mucho lo que falta por investigar, especialmente en nuestro medio, ya que los costos de construcción de un horno, son cada vez más elevados, haciendo que cada día estemos más alejados en la adquisición nuevas tecnologías.

## HORNO PILOTO

Con base en el estudio que se realizó en el municipio de Ráquira, se determinó que el horno que más convenía para la región era un horno de Llama Invertida y de Tiro Descendente, pues como vimos en el capítulo anterior, este tipo de horno representa el último desarrollo dentro de los hornos intermitentes, y de hecho, lo que se buscaba, era que la gente de la región tuviera acceso a una alternativa tecnológica diferente a la que por siempre han tenido.

El horno de llama invertida aparece como consecuencia del desarrollo de los hornos Cassel y Newcastle, pues estos hornos utilizaban un tiro cruzado, es decir, que al mismo tiempo que se daba un tiro alto, también se daba un tiro inferior. Pero este tipo de tiraje tenía varios problemas, como el de la turbulencia que se presentaba al encontrarse los gases a la entrada de la chimenea, lo cual impedía que se diera un tiraje mucho más efectivo a temperaturas altas, por otra parte, el calor no era homogéneo en la cámara de cocción y esto traía como consecuencia, que no todas las piezas se cocieran en forma igual.

En el horno de llama invertida, por primera vez, la chimenea se independiza del horno, trayendo como consecuencia, que el tiraje fuera exclusivamente inferior o descendente, al mismo tiempo que permitía la construcción de varios hornos conectados a una sola chimenea.

El funcionamiento del horno es bastante simple y como su nombre lo indica, las llamas son desviadas hacia la cúpula por los muros deflectores que se encuentran al frente de las homillas, siendo luego dirigidas hacia abajo por efecto del tiraje, repartiéndose homogéneamente por entre las piezas (que se colocan de tal forma para permitir la circulación del calor y de los gases), debido a la distribución de los caños que se encuentran debajo del piso, al mismo tiempo que son una especie de trampas, para impedir que el calor se escape directamente hacia la chimenea. Los gases luego son dirigidos hacia el ducto principal que va a la chimenea y son evacuados a través de ella. Por otra parte, con este sistema, el largo recorrido de las llamas, se asegura la máxima transferencia de calor a la cerámica, al tiempo que las temperaturas en la chimenea son reducidas.

Dependiendo del diámetro del horno, el número de homillas varía, pero éstas, siempre se colocan en forma equidistante alrededor del contorno del horno. En los primeros diseños, las homillas se encontraban en la parte exterior, conectadas por un



embovedado al horno, pero debido a las pérdidas energéticas que se presentaban en este tipo de diseño, se simplificó su construcción, dejándolas internas dentro del horno mismo.

Ahora bien, el horno que se construyó en Ráquira, presenta las últimas reformas que se le han hecho a este tipo de hornos, pero antes de entrar en detalle, veamos cuales son las especificaciones de dicho horno:

-Diámetro interior.....	3.00 metros.
-Altrura Brocal.....	1.80 metros.
-Altura Camisa.....	1.50 metros.
-Altura máxima cúpula.....	2.10 metros.
-Ancho muro brocal.....	0.30 metros.
-Ancho muro camisa.....	0.30 metros.
-Profundidad caños.....	0.90 metros.
-Altura máxima caño principal.....	0.55 metros.
-Ancho caño principal.....	0.30 metros.
-Ancho caños secundarios.....	0.15 metros.
-Número de caños secundarios.....	10
-Número de quemadores.....	1
-Altura chimenea.....	17.00 metros.
-Distancia horno-chimenea.....	3.00 metros.

Es indiscutible que uno de los graves problemas que afecta a la industria cerámica, es el alto grado de contaminación que produce el proceso de cocción. Por lo tanto, el horno que debíamos construir en Ráquira, debía, como condición de máxima importancia, ser un horno que disminuyera la contaminación hasta los parámetros permisibles por las entidades encargadas del medio ambiente. Por otra parte, el horno debería ser un horno capaz de llegar a altas temperaturas, al tiempo que las pérdidas energéticas fueran mínimas.

Para resolver los dos últimos problemas, se decidió construir, tanto la camisa o muro interior, la bóveda y el piso del horno con ladrillo semirefractario, compuesto con un 45% de caolín; en el resto del horno se emplearon ladrillos comunes. Entre la copa y la sobrecopa, se aplicó un pafete con caolín proveniente de Arcabuco, con el fin de tener un buen aislamiento en este punto.

El problema de la contaminación se solucionó instalando un stoker, o inyector de carbón, pero antes de entrar en una explicación mayor, veamos el por qué de la contaminación en este tipo de horno.

Basicamente el problema de contaminación, en hornos quemando carbón, consiste en una deficiente combustión, la cual trae como consecuencia la producción de humos negros y de hollín. El humo negro se produce por el desprendimiento de gases sin quemar, a causa de verter combustible fresco sobre la homilla con un lecho ardiente (fig. 22).

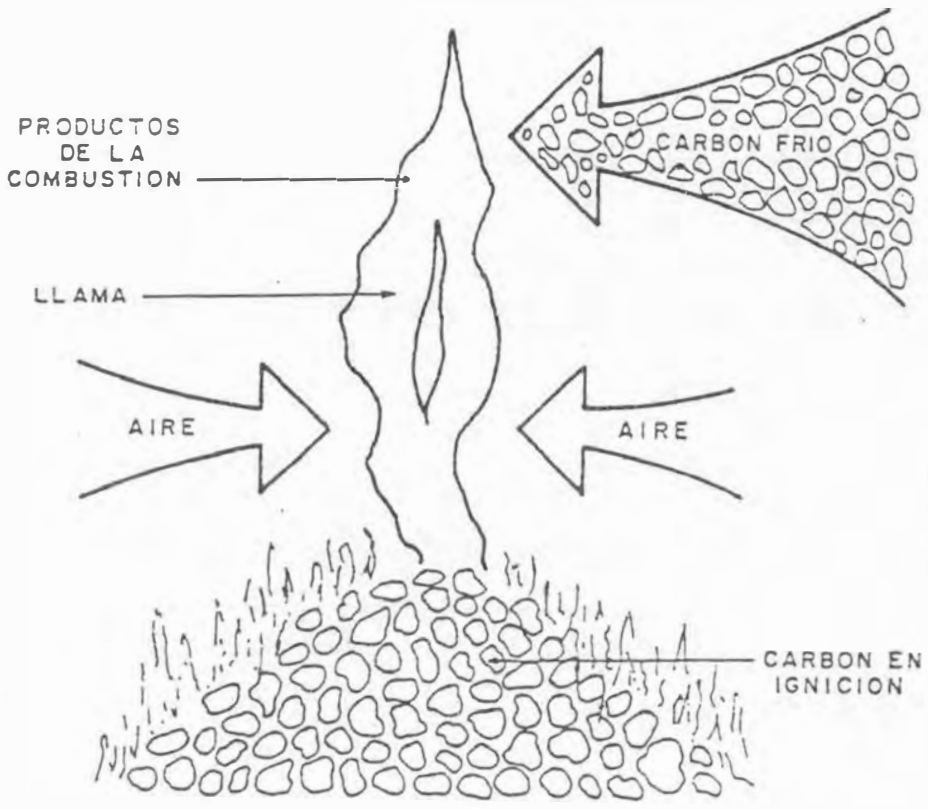


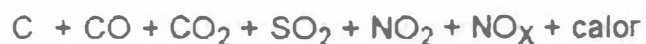
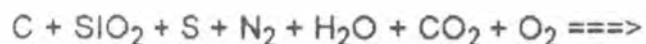
Fig 22 Combustión deficiente

Cuando el carbón cae sobre el lecho ardiente pierde una parte de sus gases; el aire pasa a través del emparrillado caliente, pero no es suficiente para quemar los hidrocarburos. Por otra parte, se produce un descenso de temperatura tan grande, cuando cae el carbón fresco sobre el emparrillado, que la temperatura de inflamación de los gases expulsados no llega a ser la indispensable, por lo tanto, dichos gases escapan sin quemar.

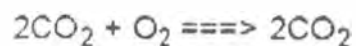
El humo es debido siempre al descenso de la temperatura por debajo de la temperatura necesaria para inflamar los hidrocarburos pesados. El carbón propiamente dicho, separado en la llama luminosa de los hidrocarburos no puede quemar y se separa en humo negro.

También se forma humo negro cuando los hidrocarburos pesados entran en contacto con las paredes candentes de la zona de fuego del horno. Se descompone en humo negro y carburos ligeros, tanto el humo negro, como el hollín, van a la chimenea sin ser quemados, lo que equivale a una pérdida de combustible.

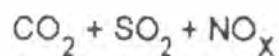
Para evitar este problema, se instaló un Stoker (fig.23), como ya dijimos anteriormente, siendo éste un quemador automático y de flujo inferior, el cual invierte el proceso de combustión. Es decir, que el carbón es llevado por debajo del lecho incandescente, siendo precalentado hasta el punto en que los gases se destilan, por la introducción de aire que prepara la mezcla de oxígeno y carbón, dándose la reacción:



Hasta que se agota el oxígeno y se inicia la etapa de reducción. Es aquí cuando se introduce el aire secundario para quemar todo el carbono:



quedando entonces un efluente muy cercano a :



que es el producto lógico de una buena combustión (fig.24).

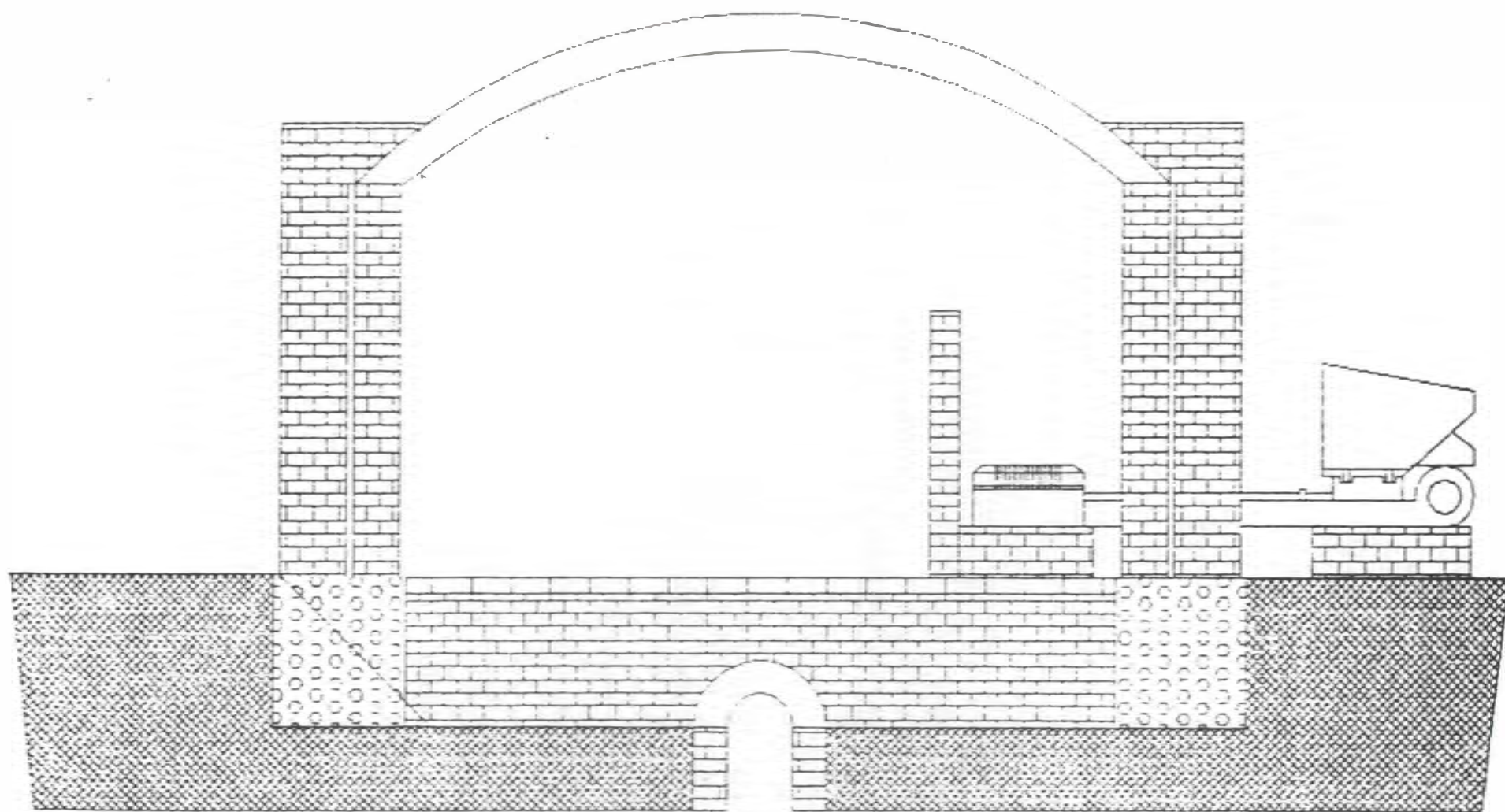


Figura 23 Horno de llama invertida con stoker

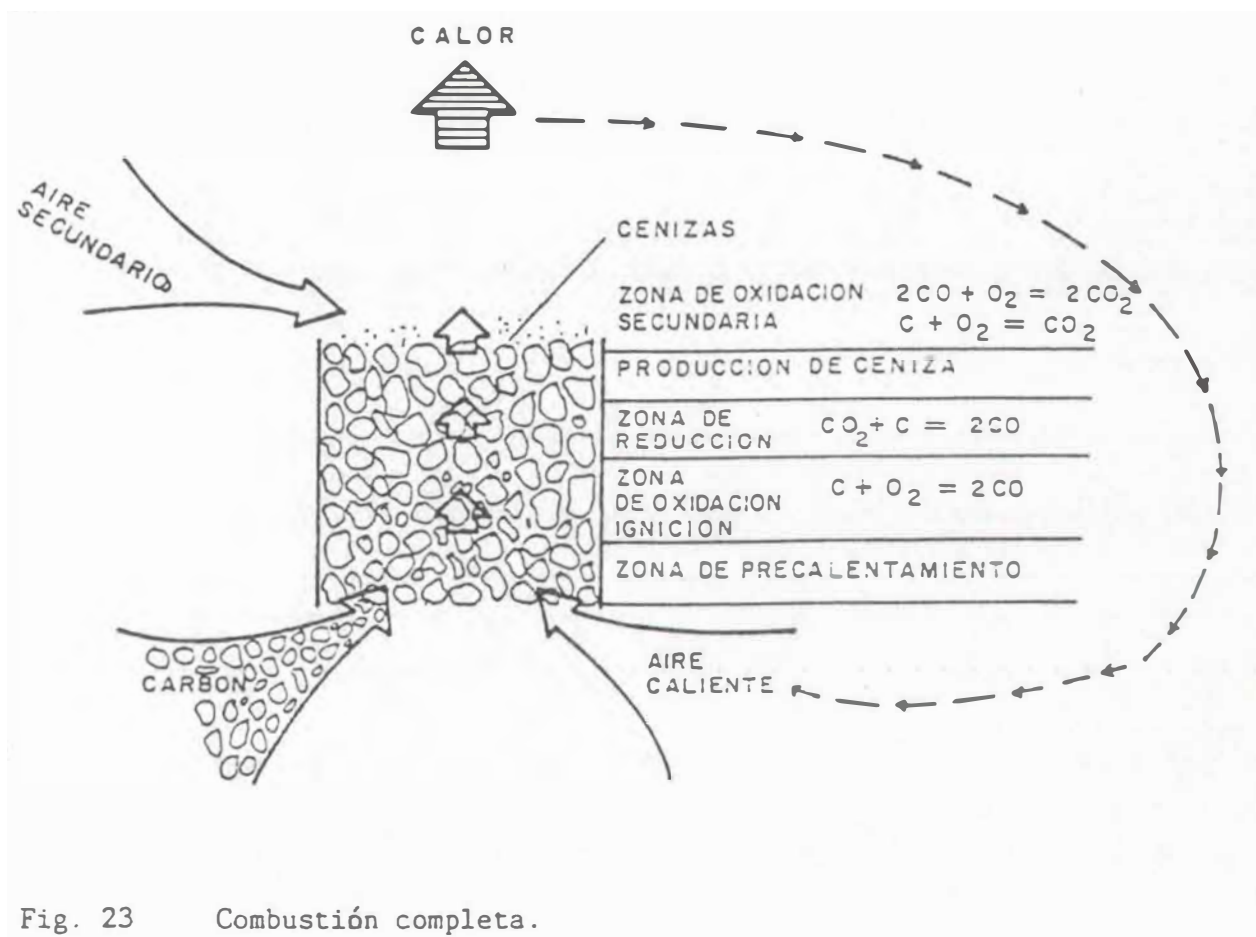


Fig. 23 Combustión completa.

Este sistema tiene las siguientes ventajas:

1 -. Control de contaminación ambiental, hecho demostrado por las mediciones realizadas en las diferentes empresas donde han sido instalados dichos equipos, por parte de la Secretaría de Salud de Santafé de Bogotá.

2 -. Mejor manejo del carbón y disminución del tiempo de uso del horno, teniendo en cuenta que los quemadores mantienen una temperatura constante y ascendente dentro del horno.

3 -. Superior calidad de los productos, como consecuencia de un mejor manejo del calor dentro del horno.

4 -. Menor consumo de combustible, lograndose un ahorro del mismo hasta del 45% por quema.

5 -. Mayor productividad, como una lógica conclusión de un mejor uso del horno, al acortar su tiempo de uso.

6 -. Mejores condiciones para los trabajadores, por que el horno disminuye drásticamente del calor hacia el exterior, lo cual permite que el ambiente de trabajo no cause problemas de higiene y seguridad industrial

7 -. Menor esfuerzo del personal que maneja el horno, porque no tiene que palear el carbón dentro del horno, solamente controlar la temperatura y extraer la ceniza.

Es necesario controlar la granulometría del carbón para garantizar el funcionamiento del equipo, pues el carbón debe tener un diámetro máximo de 3 centímetros, con un 20% máximo en peso de finos, al mismo tiempo que, el poder calorífico debe ser el máximo posible y siempre superior a 6500 Kcal/kg., y por último, deben utilizarse carbones con buenas características de hinchamiento, para un buen manejo de las cenizas.

Ahora bien, en cuanto al mantenimiento del horno es necesario tener en cuenta los siguientes puntos antes de cada quema:

\* El horno debe ser limpiado, evitando en lo posible que pedazos de cerámica se vayan por entre las hendeduras del piso. Esto ocasiona taponamientos e impide un buen tiraje

\* La retorta debe quedar totalmente limpia, y la mejor forma de hacerlo es prendiendo el equipo en vacío, es decir, colocando el stoker en primera, para que salga toda la ceniza que se encuentra en la retorta hasta que se llene con el carbón que estaba depositado en el inyector. Luego de esto, se deja funcionando por unos minutos en neutro, con el fin de que salga toda la ceniza que pueda haber quedado tanto en la capa superior del carbón, como en los túneles de la retorta.

\* Verificar el ajuste de los zunchos.

\* Después de varias quemas es normal que los ladrillos de piso como los de la hornilla se partan, por lo tanto es necesario cambiarlos antes de cargar el horno.

\* Anualmente se deben limpiar todos los caños del horno.

## COCCION

La razón de ser de la cerámica, así como su importancia económica, se basa en el hecho de que la cocción de las pastas previamente moldeadas provoca una modificación fundamental en sus propiedades, dando lugar a un material duro, resistente, impermeable y de larga duración.

La cocción de los productos cerámicos constituye, en consecuencia, la etapa más importante del procesos de fabricación. En efecto, en esta fase se pone de manifiesto si las operaciones o etapas de fabricación anteriores se han desarrollado convenientemente y si el producto cocido ha adquirido las propiedades y características deseadas.

En la industria cerámica, se entiende por **cocclón** el calentamiento, de acuerdo a un plan preestablecido, de las piezas crudas moldeadas, seguido de un enfriamiento según un plan igualmente bien definido.

La acción del calor sobre las composiciones cerámicas formadas por diversas materias primas, plásticas o no, provoca las transformaciones químico-físicas que tienden a modificar las características del producto. A altas temperaturas muchas formas cristalinas incrementan marcadamente su tamaño, sin cambios en su tipo cristalográfico. De la misma forma, muchos minerales se contraen formando enlaces que son el resultado de cambios de dimensiones cristalinas o el desarrollo de una continuidad de partículas adyacentes. La distribución de los cristales así formados, es indistinguible de la de los materiales iniciales. Este crecimiento se conoce como sinterizado.

Con el incremento de la temperatura se produce la densificación como resultado, del desarrollo de una fase líquida entre las interfases cristalina, producto de reacciones químicas dentro del cuerpo cerámico. Cuando la cantidad de líquido es pequeña el mecanismo predominante es el crecimiento cristalino, presumiblemente en virtud de la transferencia de fase dentro del medio líquido, que puede ser comparada con el crecimiento de cristales en soluciones acuosas. A este mecanismo se le denomina



como proceso de vitrificación. Si la temperatura continúa en aumento, se llegará a un punto en que se obtiene la fusión de los cristales.

El comportamiento de la arcilla al calor depende de su contenido en fundentes (ácido silícico, cal, óxido de hierro, magnesia y alcalis). De la mayor o menor cantidad de estos componentes, depende un mayor o menor reblandecimiento de la arcilla, reblandecimiento que, pasando por la fase de vitrificación, puede llegar a la fusión. Las arcillas pobres en fundentes requieren más calor para su cocción que las ricas.

Veamos a continuación los diferentes cambios químicos que sufre la materia durante la cocción:

Primer cambio:

Cuando las piezas alcanzan la temperatura de 120° C. a 150° C. desaparece el resto de agua intercalada entre los poros de la arcilla. Esta cantidad, restante de la desecación, es muy importante y explica muchos desastres ocurridos en la fase de cocción.

Segundo cambio:

El agua combinada químicamente en la arcilla, abandona las piezas entre los 200° C. y 300° C. El agua desaparece totalmente empezando la descomposición de los hidratos de silicio de hierro y de los silicatos de alúmina. En esta fase las piezas se endurecen y ya no se reblandecen al sumergirlas en agua.

Tercer cambio:

A los 500° C. la arcilla pura se descompone y las materias orgánicas se queman.

Cuarto cambio:

Entre los 700° C. y los 800° C. se forma una pasta, mezcla de sílice, alúmina, óxidos de hierro, de calcio y de magnesio, así como diversos silicatos.

Quinto Cambio:

Desde los 800° C. hasta los 1000° C. y para algunas arcillas hasta los 1200° C., tiene lugar la cocción propiamente dicha, o sea, que los óxidos de hierro se unen con los de la alúmina y con la sílice, dando lugar a la vitrificación, y la cocción completa tiene lugar cuando la alúmina se ha transformado en silicatos.

Cambios físicos que sufre la arcilla durante la cocción:

Primer cambio:

Rápida contracción de las piezas en la etapa de precalentamiento del horno, cuando se evaporan las aguas residuales que todavía contienen las piezas. Esta contracción se produce entre los 300° C. y los 500° C.

Segundo Cambio:

Lenta contracción en la primera fase de cocción, hasta los 850° C.

Tercer Cambio:

Rápida contracción en la última fase de cocción de 850° C. en adelante.

Aquí es preciso hacer la siguiente aclaración. El objetivo en una cocción, como ya lo dijimos al comienzo, es el de obtener una pieza bien terminada, en un mínimo de tiempo, dentro de las posibilidades y tolerancias que lo permitan las piezas mismas.

Para conseguirlo, tenemos que invertir en el horno, en cuanto a rapidez, los términos en que se comportan las piezas ahornadas, puesto que:

En el primer cambio, las piezas contraen con rapidez, por lo tanto, el horno debe llevarse en su etapa de precalentamiento muy lentamente.

En el segundo cambio, las piezas tienen poca contracción; el horno en esta fase de la cocción debe aprovechar para ir rápidamente al aumento de temperatura.

En el tercer cambio las piezas tienen rápida contracción, por lo tanto, el horno debe ir lentamente, aumentando la temperatura de 850° C. hasta el punto máximo de cocción.

Sin embargo, cuando la pieza ha sido cocida, el proceso no ha terminado, pues existen riesgos graves hasta que la pieza no se ha enfriado. Prosigamos.

Cuarto Cambio:

Cuando el porcentaje de cuarzo es notable, entre los 500° y los 600° C. se produce un aumento de volumen instantáneo e inevitable, cuyas consecuencias pueden ser funestas según el endague de las piezas.

Quinto Cambio:

Una vez cocidas las piezas, se produce una contracción altamente peligrosa al pasar por el rango de los 300° C. a los 200° C. que, si es rápida, rompe las piezas. A partir de los 200° C. en el enfriamiento, las piezas no ofrecen peligro de rotura, de modo que su paso a la temperatura ambiente puede ser rápido.

Independientemente de estos aspectos generales en cuanto al comportamiento químico-físico de las arcillas en la cocción, existen otros factores que influyen en la consecución de una buena cocción, como son la composición físico-química de la

pasta arcillosa, el espesor de las piezas a quemar, la geometría utilizada en el cargue de las piezas, el tipo de horno, el estado estructural del horno, la calidad y características de los combustibles que se utilizan para este tipo de industria, etc.

Para finalizar, lo que hemos presentado aquí, no es más que un simple esbozo de uno de los procesos industriales que conforman la cerámica, como es el de la cocción.

Sin embargo no podemos perder de vista que gracias a los avances científicos y técnicos, la cerámica ha dejado de ser el simple oficio del chirral (sin demeritar ni subestimar esta noble labor), para convertirse en una ciencia con todos los parámetros epistemológicos que caracterizan el quehacer científico. Pero también es cierto que nos falta, en nuestro medio, desarrollar una investigación seria sobre todos los procesos cerámicos acorde con el adelanto cerámico en el mundo, para poder frenar los problemas graves que tenemos en la industria, en especial el que tiene que ver con el medio ambiente.

## BIBLIOGRAFIA

REVERTE, Pedro. "La Industria Ladrillera", Ed. Reverté, Segunda edición, Barcelona 1950.

ROBUSTE, Eloy. "Técnica y Práctica De La Industria Ladrillera", Ediciones Ceac, Barcelona 1967.

PADOA, Leone. "Forni Industriali a Combustione", editore Ulrico Hoepli Milano, 1948.

TRINKS, W. Mawhinney, M.H. "Hornos Industriales", Ediciones Urmo, Bilbao 1971.

MERRITT, Frederick. "Manual del Ingeniero Civil", Editorial McGraw-Hill, Nueva York, 1985.

RHODES, Daniel. "The Kilns", Ed. Chilton Book Company, Londres 1981.

VITTEL, Claude. "Céramique", Editions Delta S.A., Verrey (Suiza). 1986.

LEACH, Bernard. "Le Livre du Potier". Fotocopia.

SOUTHWELL, B.C. "Making and decorating pottery tiles" Londres 1972