

Capítulo 8: El hierro en los vidriados chinos

Prácticamente, todos los vidriados descritos hasta el momento en este libro dependen del hierro para su coloración, y seguramente es cierto si decimos que no hay tradición cerámica en el mundo que haya hecho mayor ni más imaginativo uso del óxido de hierro en la coloración de sus cacharros y vidriados como la que hubo en China. En cierto modo, toda la historia temprana de la cerámica China podría considerarse como una exploración sistemática de las potenciales coloraciones de los distintos óxidos de hierro -en el cuerpo cerámico y los vidriados, en baja y alta temperatura, y en atmósfera tanto reductora como oxidante. Alrededor del s. XII d.C. los alfareros chinos habían utilizado los diferentes óxidos de hierro para lograr rojos, amarillos, ámbar, verde, azul, marrón, negro y hasta color plata para los vidriados- no como un espectro de colores crudos sino como tonos y cualidades en armonía con nuestra percepción del hierro como principal colorante del mundo inorgánico.

Cómo el hierro llegó a ocupar lugar tan primordial en la tecnología cerámica china, podemos verlo desde nuestra perspectiva actual como la consecuencia inevitable de la consideración por parte de los alfareros chinos de las materias primas naturales, y el uso original y creativo de las arcillas y minerales que más abundaban en cada zona, así como de las cenizas de las plantas y árboles autóctonos.

Distribución del hierro en la corteza terrestre

Los óxidos de hierro son, con mucho, los más abundantes óxidos colorantes en la corteza terrestre y, aproximadamente, representan el 7% de la corteza en sus diversos agregados. Aparte de la cantidad dispersada por los meteoritos, hay muy poco hierro metálico puro en la corteza -cualquier hierro que no esté combinado con oxígeno tiende a combinarse con el azufre, agua o dióxido de carbono, o se encuentra ligado a minerales complejos y ricos en hierro, como las micas negras y el olivino. Esta abundancia de los compuestos de hierro tiene un profundo efecto en los colores de la naturaleza: las rocas comunes, arcillas, tierras y arena, todos deben sus colores a los minerales de hierro que contienen y, en el ámbito de las creaciones humanas, los ladrillos, azulejos, cemento e incluso el vidrio son ligera o notablemente coloreados por esos mismos compuestos de hierro.

Podría suponerse de lo anterior que cualquier tradición cerámica en el mundo necesariamente debe hacer un uso extensivo del hierro -simplemente debido a la dificultad de evitar su presencia en las materias primas cerámicas. Sin embargo, este uso tan extendido del óxido de hierro como colorante del vidriado en la cerámica china está actualmente en franco contraste con otras tradiciones cerámicas del mundo antiguo- tal como el Oriente Medio. En la cerámica del Islám en particular, los óxidos de cobre, cobalto, manganeso y estaño jugaron un papel más importante como colorantes del vidriado que el hierro. Los vidriados islámicos se hicieron deliberadamente a partir de materias primas pobres en hierro, con cuerpos cerámicos de alto contenido en cuarzo (libre de impurezas de hierro), con cantidades menores de arcilla blanca y fundentes. En la cerámica islámica el uso de compuestos de hierro como colorantes, tanto en el cuerpo cerámico como en vidriados, fue más la excepción que la regla predominante.

Dióxido de titanio

El otro óxido colorante cerámico que se encuentra en un porcentaje significativo en las rocas de la corteza terrestre es el óxido de titanio (TiO_2), que representa aproximadamente el 0,75% en peso. Por tanto, el titanio es otra presencia apreciable en la mayoría de las materias primas que utilizaban los ceramistas chinos. Cuando el titanio se combina con el óxido de hierro tiene un marcado efecto amarilleante sobre los colores transparentes del hierro, en particular sobre los vidriados de celadón, en los que pequeñas cantidades de titanio (normalmente entre el 0,2-0,5%) cambia los colores azulados característicos del óxido de hierro en reducción hacia el rango de los verdes fríos, verdes grisáceos o amarronados y verde oliva que se produjeron durante siglos en los hornos de alta

temperatura del norte y sur de China. No fue hasta que los alfareros del sur descubrieron las materias primas libres de titanio (materias para porcelana) durante el s. X d.C. cuando los vidriados en reducción comenzaron a presentar el característico azul acuoso *yingquin* que sería ampliamente usado en la cerámica china.



En esta prueba se muestra el efecto del dióxido de titanio en un vidriado alcalino con calcio que contiene el 1% de óxido de hierro, cocido a 1260°C en reducción. Con solo hierro el vidriado tiene un matiz azul que pronto vira hacia el verde al introducir cantidades crecientes de titanio. En la prueba, los incrementos de titanio se hacen en pasos de 0,1%, de izquierda a derecha. Vemos que con solo un 0,2% de titanio hay un efecto amarilleante evidente en el vidriado.

El origen del hierro en la corteza terrestre

Este hierro que juega un papel tan importante en la cerámica china, particularmente en los vidriados, tuvo su origen en la explosión de innumerables estrellas en un momento temprano de la historia de nuestro universo. El estudio espectrográfico de la luz de las estrellas ha demostrado que todos los elementos comunes son constantemente creados por reacciones termonucleares en el corazón de las estrellas, y que el orden en que tales elementos son creados sigue un patrón fijo en la vida de las estrellas. El hierro es casi el último elemento en aparecer y su presencia indica que la estrella ha comenzado su etapa final que terminará en explosión, extinción o colapso gravitatorio. Si la estrella es suficientemente grande, se producirá una explosión que enviará al espacio millones de kilómetros cúbicos de polvo estelar.

Se cree que el origen de nuestro planeta proviene de la acumulación de una parte de tal escombrera estelar. Tales gases, hielos y polvo se condensaron hasta elevar la temperatura del protoplaneta a la fusión de sus materiales. Mucho del abundante contenido de hierro se hundió por efecto gravitatorio al centro de la Tierra -algo así como los metales pesados que se depositan en la base de unos altos hornos. Una gran parte de nuestro planeta es hierro, sobre todo en el núcleo del mismo, donde se cree que hay gran cantidad de hierro y níquel, y se mantiene a una temperatura cercana a los 4000°C pero en estado sólido debido a la enorme presión ejercida por el peso de toda la Tierra.

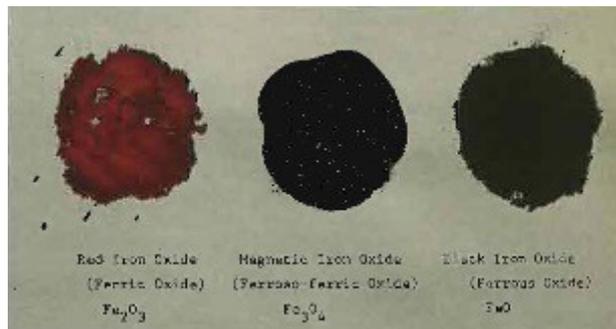
Este proceso de separación gravitatorio que ocurrió cuando la Tierra era todavía joven dejó, sin embargo, una gran cantidad de compuestos de hierro en las rocas superficiales.

La abundancia del óxido de hierro en la cerámica china puede así ser parcialmente explicada a partir de los orígenes de nuestro planeta, pero también en parte debido a la forma tradicional de utilización de las materias primas que practicaban los alfareros chinos. Sin embargo, el notable rango de coloración de los vidriados que hace posible el óxido de hierro es el resultado de la propia química del hierro, particularmente de las varias posibilidades de combinación entre el hierro y el oxígeno.

Estados del óxido de hierro

El hierro puede combinarse con el oxígeno de tres maneras -como óxido de hierro rojo (Fe_2O_3), como la variedad magnética de color grisáceo plateado (Fe_3O_4), y como óxido de hierro negro (FeO). Estos son los colores naturales de las tres variedades cristalinas puras de hierro, que se encuentran en diversas formas en las materias primas cerámicas. Unas veces domina uno de los estados de oxidación (dando rojo, azul negruzco metálico, o arcillas grisáceas, respectivamente) pero el color cocido de un cuerpo cerámico puede representar con frecuencia mezclas indeterminadas de los tres. En los hornos de alta temperatura (por encima de 1100°C), el óxido de

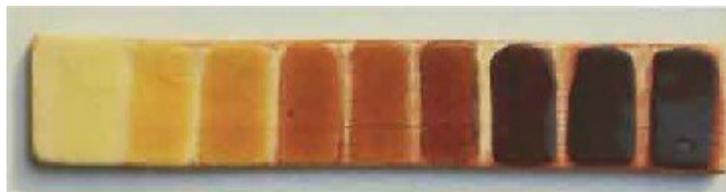
hierro tiende a combinarse con alúmina del cuerpo cerámico para producir un cuerpo amarillento, y los tonos rojizos y rosas, típicos de la cocción oxidante en baja temperatura, desaparecen para ser reemplazados por marrones, antes, cremas y amarillos pálidos.



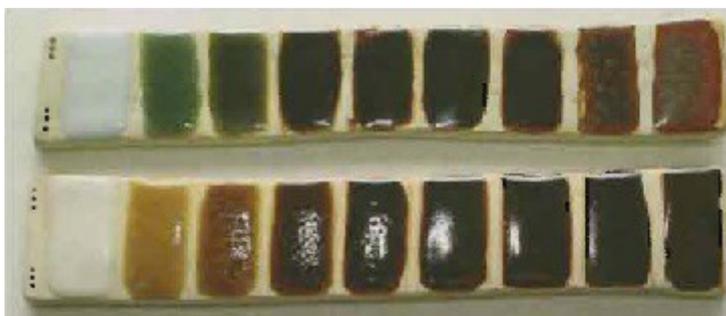
Los tres óxidos de hierro en sus formas cristalinas: rojo, magnetita y negro. Estos estados se presentan en las distintas arcillas y determinan los colores de las mismas tras la cocción. En algunos casos, estas formas cristalinas también se forman (o sobreviven) en el vidriado, manifestando las mismas coloraciones.

Óxidos de hierro en disolución

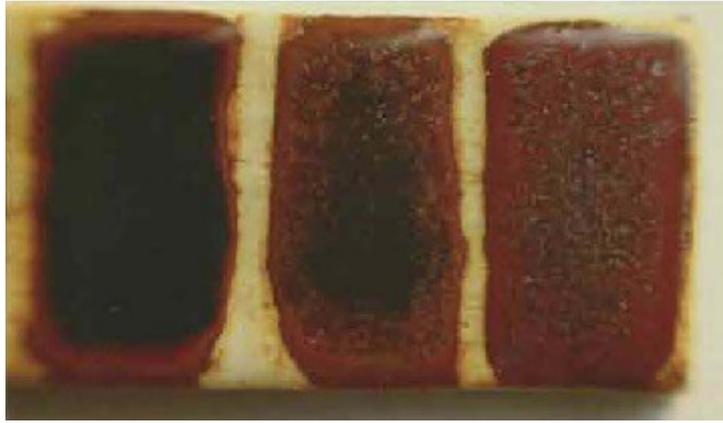
Los óxidos de hierro en las arcillas tienden a permanecer o desarrollar su forma cristalina, sin embargo, los diminutos cristales de los mismos óxidos en los vidriados tienden a disolverse gradualmente en la matriz cristalina del vidriado fundido. Una vez disueltos, los óxidos de hierro presentan un amplio rango de colores cerámicos que pueden ser muy diferentes de los colores de los propios óxidos cristalinos. Por ejemplo, cuando el óxido férrico (óxido de hierro rojo) se disuelve en el vidriado, produce tonos entre marfil y pajizo para porcentajes entre el 0.5-2%, amarillentos entre el 2-3%, ámbar entre 3-4%, ámbar marrón del 4 al 5%, hasta negruzco en torno al 6-8%. El óxido ferroso (óxido de hierro negro) disuelto, en cambio, producirá siempre colores más fríos, comenzando con azul hielo en el rango 0.5-1%, virando al verde botella azulado entre 2-4%, hasta alcanzar un negro brillante en el rango 4-8%, pero de una tonalidad notablemente más fría que la obtenida del óxido férrico.



Prueba que muestra el efecto de adiciones de óxido de hierro rojo en incrementos del 1% en una base alta en plomo. En estas cantidades, el óxido de hierro se disuelve en el vidriado fundido como iones Fe^{3+} . Los colores van desde el pajizo al marrón oscuro, con sombras de amarillo y ámbar apareciendo en torno al 3-4%. Cocción a 1060°C en oxidación.



Prueba que muestra vidriados de caliza alcalinos con contenido creciente de hierro, cocidas en oxidación y en reducción. En este caso los incrementos de hierro van en pasos del 2%. Aparte del efecto de colores cálidos en oxidación y más fríos en reducción, encontramos que la muestra en reducción ofrece un efecto rojizo con el 16% de hierro. Esto se debe al efecto de reoxidación de los cristales de óxido de hierro de la superficie del vidriado durante el enfriamiento, ya que la saturación del óxido provoca cristalización. Este efecto rojo de hierro en reducción fue explotado en los vidriados de hierro herrumbre de Jingdezhen durante la dinastía Qing. (La recta del vidriado contiene un 85% de piedra de Cornish y un 15% de caliza, cocido a 1270°C)



Vista aumentada de los cristales de óxido de hierro de la imagen anterior

Según se van disolviendo los óxidos, los átomos libres de hierro pasan a formar parte de la estructura cristalina del vidrio como átomos con carga positiva, conocidos como *iones*. El óxido de hierro rojo da iones Fe^{3+} y el óxido de hierro negro iones Fe^{2+} . Estrictamente hablando, los iones Fe^{2+} no colorean el vidriado y, parece ser, que los colores fríos característicos del óxido de hierro en reducción son en realidad una mezcla de iones Fe^{2+} con una pequeña cantidad de iones Fe^{3+} . Sin embargo, los vidriados que contienen únicamente iones Fe^{2+} son muy difíciles de alcanzar y, por tanto, es muy difícil ver vidriados de ese color. El óxido de hierro magnético (óxido ferroso férrico) no se disuelve como los otros dos tipos de hierro, sino que permanece en su forma cristalina y solo en cierta medida se disgrega para dar cierta cantidad de iones Fe^{2+} y Fe^{3+} .



Vidriados de baja temperatura monocromos amarillo y rojo, de principios del s.XVI, de los hornos de Jingdezhen. Ambos vidriados tienen una base de plomo coloreada con óxido férrico. Se cocieron a temperaturas próximas a 1000° y 800° , respectivamente, sobre otro vidriado ya cocido transparente de porcelana. El vidriado amarillo tiene alrededor del 3% de óxido férrico, que se disuelve completamente en la base de plomo para dar iones Fe^{3+} . En el vidriado rojo, que contiene alrededor del 20% de óxido férrico, la mayoría del hierro, o bien no se ha disuelto, o bien ha recristalizado durante el enfriamiento para producir el color rojo mate y opaco.

Vidriados saturados con óxido de hierro

La cantidad de óxido de hierro que un vidriado puede disolver es limitada y, una vez que se alcanza este límite (en torno al 7-10% para los vidriados chinos típicos), el exceso de óxido de hierro tiende a cristalizar en la superficie del vidriado, según este se va enfriando. Los óxidos que se forman dependerán de la atmósfera del horno, dando rojo (óxido férrico), gris plata (ferroso férrico) o gris

negruzco (ferroso) o, a veces, combinaciones de los tres tipos. Esos diminutos cristales de óxido de hierro crecen sobre la superficie del vidriado, aunque con frecuencia se expanden hacia el interior alcanzando todo el grosor del vidriado, resultando un vidriado opaco con superficie ligeramente mate.

Transformación de los óxidos de hierro durante la reducción

Es bastante factible cambiar los colores que un determinado óxido de hierro produce en la arcilla o el vidriado mediante los procesos conocidos como oxidación y reducción durante la cocción, y esto puede ampliar bastante las posibilidades cromáticas de una combinación particular entre arcilla y vidriado. La oxidación tiende a ser la atmósfera natural en un horno de combustión, siendo necesaria una intervención del ceramista en el proceso de la cocción para lograr una adecuada atmósfera reductora.



Una importante influencia en el color del hierro en los vidriados es el grado de reducción que estos reciben durante la cocción. En esta prueba, el mismo vidriado celadón se ha cocido en oxidación (derecha), en atmósfera neutra (centro), y en una buena reducción (izquierda). Las tres muestras se han cocido a 1260°C.

Cocción reductora

La reducción durante la cocción es relativamente sencilla de lograr, y ha debido ocurrir de forma natural en la mayoría de las tradiciones cerámicas. Reduciendo la cantidad de aire que entra en la cámara de combustión, o sobrecargando dicha cámara de combustible, se facilita una combustión incompleta y los gases *reductores* inundan la cámara de cocción. Estos son principalmente monóxido de carbono (CO) con menores cantidades de hidrógeno (H₂). Ambos son gases ávidos de oxígeno y rápidamente se convierten en dióxido de carbono (CO₂) y agua (H₂O). Para lograr esta transformación, los gases reductores obtienen el oxígeno necesario de donde se pueda -incluyendo el hierro si este se encuentra en estado de máxima oxidación (rojo o férrico), ya sea de la arcilla o el vidriado. El óxido férrico empobrecido de oxígeno se transforma así en su variedad menos rica en oxígeno, la negra o ferrosa.

En términos químicos, el óxido de hierro rojo (Fe₂O₃), que tiene mayor cantidad de oxígeno, se conoce como el óxido *alto en oxígeno*, mientras que el óxido de hierro negro (FeO), que tiene menor cantidad de oxígeno, se conoce como el óxido *bajo* -de ahí el término *reducción* para denominar esta transformación. En los hornos alfareros la reducción del hierro tiende a terminar con el estado ferroso, óxido negro, aunque la reducción total al estado de hierro metálico elemental (Fe) fue practicada regularmente por los chinos en la producción de hierro fundido en altos hornos, en época tan temprana como el s.V a.C.

Las implicaciones sobre el color de este simple proceso eran profundas. Una típica arcilla ferrosa podría cocerse a roja, marrón o gris dependiendo del grado de reducción producido y las proporciones de óxidos negro y rojo que hayan resultado de la cocción. Un efecto añadido es que el óxido de hierro negro tiene efecto fundente a temperaturas por encima de 900°C, y una arcilla típica sometida a reducción podía madurar a un cacharro más duro que su equivalente cocido en oxidación a la misma temperatura.

La mayoría de los ladrillos y azulejos chinos sin vidriar eran grises, debido a su deliberado uso de cocciones reductoras, que fue la técnica preferida para la cocción de azulejos y ladrillos durante más

de 2000 años en China. Los textos chinos nos muestran que, desde el final de la época Han, muchos hornos de ladrillos utilizaban agua para ayudar a la reducción y, aún hoy, pueden verse en las zonas rurales de China hornos coronados con grandes recipientes cerámicos para el agua, destinados a la producción de ladrillos grises.

Reducción con gas de agua

Este curioso método de reducción depende de la introducción de ciertas cantidades de agua en la cámara de cocción o en la cámara de combustión. Donde se usa este método, en el Este, se deja gotear el agua intermitentemente en la cámara de combustión. Entonces, el agua se combina con las brasas al rojo produciendo monóxido de carbono e hidrógeno -proceso representado en la siguiente ecuación: $H_2O + C = CO + H_2$. La mezcla resultante de monóxido de carbono e hidrógeno se conoce como *gas de agua*.



Interior de un horno Chino para fabricación de ladrillos de loess en atmósfera reductora con efecto de gas de agua. En este proceso, el agua se filtra al interior de las paredes del horno cuando este alcanza la temperatura máxima, tras cerrar un poco el tiro para provocar humo. El vapor reacciona con las partículas de carbón al rojo del humo para producir hidrógeno y monóxido de carbono. Ambos gases reducen el óxido de hierro rojo a negro, produciendo los ladrillos grises. El color amarillento de los loess proviene de los minerales de hierro hidratados que contiene la arcilla. Estos últimos se descomponen en hierro rojo alrededor de 500°.



Exterior de un horno chino para cocer ladrillos diseñado para reducción con gas de agua. Observar las cinco grandes vasijas para el agua situadas sobre el techo del horno. La reducción por hidrógeno (como a veces se conoce) puede ser altamente explosiva y ha de efectuarse con precaución. Provincia de Henan, norte de China.

En China el procedimiento más habitual parece ser permitir que pequeños canalillos de agua corran paredes abajo por el interior del horno. En el momento en que se introduce el agua, la cantidad de aire para la combustión se reduce drásticamente, produciendo un humo negro (carboncillo fino) que

llena la cámara de combustión del horno. Entonces, el agua se evapora por contacto con las paredes incandescentes del horno y reacciona con las partículas de carbón presentes en la atmósfera del horno para producir la mezcla de gas de agua. Una vez que se genera, la mezcla fuertemente reductora de gas de agua transforma los ladrillos de arcilla roja en ladrillos grises, y se produce una intensa combustión en el interior del horno, produciendo un calor extra para la cocción y devolviendo parte de la energía absorbida para evaporar el agua. La reducción asistida por agua se usa también en Jingdezhen en los pocos hornos de leña que quedan en la ciudad, aunque en este caso el agua se introduce por el frente del horno, directamente en la cámara de combustión. Cuan extensamente se ha utilizado este proceso de reducción a lo largo de la historia en otros hornos chinos en los que se cocía en reducción, es un asunto todavía difícil de dilucidar.

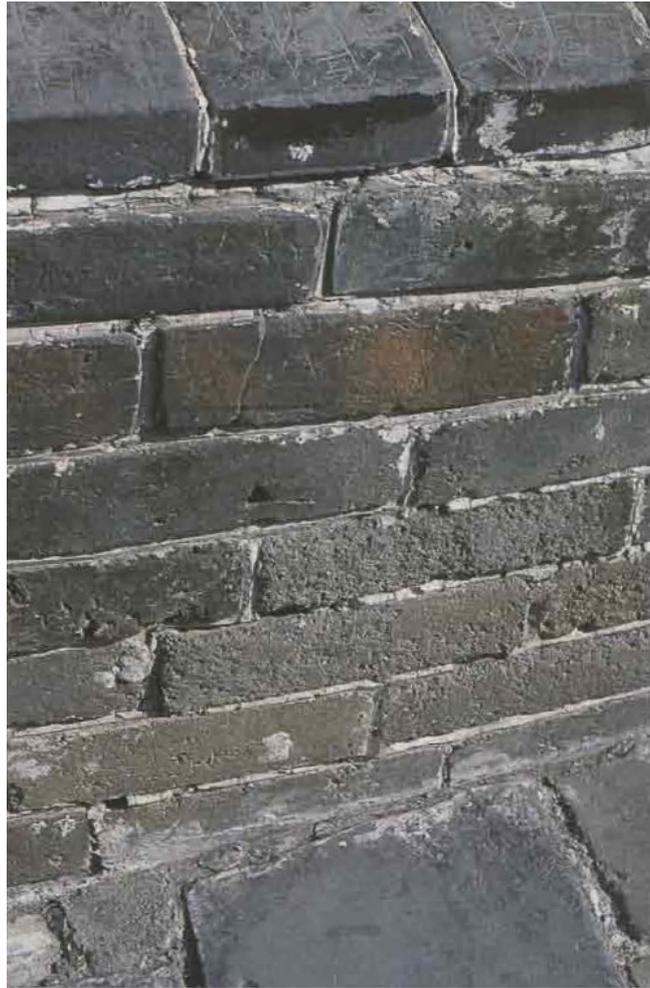


Imagen de la Gran Muralla China que muestra los ladrillos de loess cocidos en reducción. Con las arcillas (a diferencia de los vidriados) la reducción ha de mantenerse en la primera fase del enfriamiento pues, de otro modo, los ladrillos tienden a reoxidarse y recuperan sus colores amarillo grisáceos.

La reducción en los vidriados

Una diferencia esencial entre la reducción en los cuerpos de arcilla y en los cacharros es que los primeros pueden reducirse u oxidarse en cualquier momento durante la cocción y, en cambio, los vidriados deben reducirse antes de llegar a la fusión. Una vez que los vidriados coloreados con hierro se han fundido ya son bastante impermeables a los gases reductores o a una eventual reoxidación si ya se hubiesen reducido. Este último fenómeno tiene una considerable importancia práctica para los ceramistas ya que implica que puede suspenderse la ineficiente (y por tanto más cara) cocción reductora una vez que el vidriado se ha fundido. Además, no será necesario mantener la reducción durante el enfriamiento, cuando la atmósfera del horno tiende a aclararse a estado oxidante. Las únicas condiciones bajo las cuales los vidriados los fundidos pudieran reoxidarse es

cuando se aplican en capa muy fina, o cuando un exceso de hierro ha causado la formación de cristales de óxido de hierro sobre la superficie durante el enfriamiento.

Con la arcilla, en cambio, los resultados son distintos y la reducción puede revertirse con una reoxidación a alta temperatura. Esto supone que es bastante probable que las zonas sin vidriar de los cacharros se reoxiden a los colores más cálidos de las tierras con impurezas de hierro, mientras que el vidriado en la misma pieza (y la arcilla protegida por el mismo) retenga el color más frío y azulado, verdoso o grisáceo típico del hierro en su estado de oxidación más bajo. La profundidad con la cual una arcilla se reoxidará depende mucho de cuánto se llegó a vitrificar durante la cocción. Con pastas densas y vítreas, tales como las porcelanas y gres del sur, alguna reoxidación podría ocurrir pero, con frecuencia, es solo a nivel muy superficial, y solo cambia el color de la capa más externa. Un buen ejemplo de esto se aprecia en los cuerpos vitrificados de las piezas de celadón de Longquan, en las que la zona rojiza de reoxidación es muy superficial y la pasta dura y grisácea de la porcelana interna se revela con una ligera abrasión. En cacharros más abiertos de cuerpos menos vitrificados (las arcillas utilizadas durante la dinastía Yuan para los cacharros Jun, por ejemplo) las arcillas se reoxidan con facilidad y a mayor profundidad.

Esta combinación de calidez, arcillas reoxidadas superficialmente, y vidriados fríos por una buena reducción, es uno de los efectos más afortunados de la cerámica china. Esto se aprecia en los *cantos púrpura* y *pies de hierro* de los cacharros Guan y en las cálidas, térreas, arcillas sin vidriar que contrastan con los *coágulos* y nublados azulados de la cerámica Jun. También es familiar en las arcillas ligeramente anaranjadas y vidriados azul hielo de muchas porcelanas *yingqing*, y también aparece en la arcaica, semividriada “protoporcelana” del norte en las provincias de Zhejiang y Jiangsu, en la que armoniza el rojizo y púrpura-marrón de las arcillas sin vidriar con el oscuro verde oliva de los vidriados de cenizas que cubren la mitad superior de los cacharros.

Vidriados de reducción y oxidación conjunta

Si solo una parte de un cacharro ha sido expuesto a la llama reductora es muy posible que coexistan diferentes zonas, reducidas y oxidadas, en el mismo vidriado; también es posible que vidriados saturados de hierro sometidos a una cocción reductora se reoxiden durante el enfriamiento, del mismo modo que las arcillas. Un buen ejemplo de este último efecto lo vemos en los *rojos herrubre* de los vidriados monocromos de Jingdezhen. Las superficies de este tipo de vidriados saturados de hierro se reoxidan durante el enfriamiento a una costra cristalina de óxido de hierro, mientras que los vidriados sobre porcelana, cocidos en el interior de gacetas, retienen el característico y frío azulón del hierro en reducción.

Reducción en los vidriados chinos de plomo

Una importante excepción entre los vidriados que pueden ser cocidos en reducción son los que contienen un porcentaje elevado de óxido de plomo. Si estos son accidentalmente sometidos a la reducción cuando están fundidos, tienden a ennegrecerse y formar multitud de burbujas, siendo el efecto causado por la facilidad con la que el óxido de plomo, PbO , se reduce a plomo metálico Pb . El resultado es un vidriado cubierto de ampollas y burbujas de tono gris negruzco.

En China, los vidriados de plomo tienen un amplio abanico de composiciones para baja temperatura utilizados para piezas arquitectónicas y de rituales funerarios, y para esmaltes sobre vidriados aplicados en piezas de gres y porcelana. Los vidriados chinos de plomo coloreados con hierro son, por tanto, de atmósfera oxidante y colores cálidos, desplegando un abanico de amarillos, ámbar, marrones y rojos. En algunas ocasiones, sin embargo, los vidriados chinos de plomo coloreados con hierro pueden mostrar un color verdusco, no muy diferente de algunos celadones oscuros. Estos casos suelen darse en arcillas ricas en hierro bajo los vidriados, que han sufrido reducción en una etapa temprana de la cocción o, con mayor frecuencia, cuando no ha dado tiempo a que se oxiden desde su estado primitivo natural reducido. La rápida fusión de los vidriados de plomo tiende a sellar la arcilla reducida -produciendo un tono verdoso bajo el vidriado casi transparente que la

recubre- aunque el vidriado en sí es de oxidación.

Ejemplos de los colores del óxido de hierro en los vidriados chinos

Todas las posibilidades cromáticas del óxido de hierro descritas a continuación han sido explotadas por los alfareros chinos y dan cuenta de la riqueza, universalmente admirada, de colores lograda. Ordenada según el espectro cromático, su uso en la cerámica china se describe a continuación:

Rojo: como veremos en el capítulo diez, el primer uso del rojo por efecto del hierro cristalino en la cerámica china ocurrió en la región norte, en la extraña *pasta de vidrio* que decoraba los cacharros de baja temperatura del s. III a.C. Sin embargo, la técnica parece perderse en China hasta resurgir posteriormente en el s. XII. Entonces, los alfareros del norte de China redescubrieron que vidriados de plomo saturados de hierro (más del 8%) producen cálidos esmaltes rojos debido al exceso de hierro rojo que sobrevive como tal en el esmalte. Desde entonces hasta la época actual, el esmalte de hierro rojo ha sido utilizado constantemente en China, en particular para delinear los esmaltes aplicados sobre vidriado.

En el s. XVIII se utilizó un método similar para lograr rojos de hierro sobre vidriados en porcelana, que se saturaban de hierro para lograr el efecto rojo oxidado. Tales vidriados se cocían en reducción pero el exceso de hierro cristalizaba durante el enfriamiento, produciendo una masa densa de cristales de óxido de hierro en la superficie del vidriado. Este vidriado de alta temperatura da un rojo más suave que el caso de baja temperatura.

Naranja: también en el s. XVIII, se descubrió que sustituyendo un poco del óxido de plomo, de la receta tradicional para el esmalte rojo sobre porcelana, por nitrato de potasio, era posible un tono anaranjado, similar en color a la laca roja. Tales vidriados se conocen como *rojo coral* y sus tonos naranjas eran con frecuencia enriquecidos aplicando encima esmaltes amarillos de hierro. Rojos anaranjados de alta temperatura también se hicieron en Jingdezhen en el s. XVIII. Estos no se han analizado aun, pero su apariencia sugiere una aproximación similar a la usada por los japoneses en los vidriados Shino -es decir, el uso de un vidriado feldespático para porcelana, bajo en calcio, y con un pequeño (<2%) contenido de hierro. Capa fina, cocción reductora y enfriamiento en oxidación, es todo necesario para desarrollar la versión de alta temperatura de los hierros anaranjados.

Amarillo: los vidriados amarillo ambarino, formados a partir del óxido de hierro disuelto en una base de plomo y bario, son característicos de las jarras con *pasta de vidriado* mencionadas en un párrafo anterior. Los amarillos de hierro también se utilizaron en las famosas figuras funerarias Tang de baja temperatura y en la cerámica de los siglos séptimo a noveno. Sin embargo, el uso más puro de este efecto podemos verlo en el famoso “amarillo imperial” monocromo. Este era un esmalte para sobre cubierta conteniendo alrededor de un 3,5% de óxido férrico en una base de silicato de plomo. El cuerpo de porcelana blanca bajo el vidriado resalta la luminosidad de este color transparente.

Verde: el hierro en moderada reducción (mezcla de Fe^{2+} con Fe^{3+}) combinado con trazas de titanio posibilita la riqueza de vidriados para alta temperatura y porcelana conocidos como *celadones*. Este tipo de vidriados han sido la columna vertebral de la cerámica china durante 3000 años, y no hay dos celadones que parezcan exactamente iguales en color y calidad. La cantidad de óxido de hierro en los celadones chinos varía entre el 0,5% y el 2,5% en peso. Los verdes opacos cristalinos también aparecen en algunos efectos chinos de polvo de té, pero en este caso el color parece deberse al crecimiento de cristales de piroxeno durante el enfriamiento del vidriado.

Azul: la preponderancia de óxido ferroso disuelto, en ausencia de titanio, y en proporción entre el

0,5% y 1,5%, producirá unos atractivos azules. Ejemplo de estos azules de hierro chinos son las porcelanas *yingqing* (azul sombrío) de los siglos X a XIV, y los refinados celadones de Longquan del tipo *kinuta*. Los vidriados Jun del norte de China también son azules, pero en este caso el color parece ser un efecto óptico que domina sobre los verdes de hierro-titanio que podrían esperarse de los porcentajes de colorante del vidriado.



Platos de porcelana de la provincia de Fujian, dinastía Qing, cocidos en reducción (izquierda) y oxidación (derecha). El óxido de cobalto puro es insensible a la atmósfera de cocción y da azules bajo la mayoría de condiciones. Sin embargo, las menas de cobalto utilizadas en la mayoría de los colores azules bajo vidriado son ricas en hierro (época temprana) o manganeso (época tardía). Ambos tipos de impureza en el pigmento de cobalto se cuecen a marrón grisáceo, por lo que la cocción en reducción era esencial en la mayoría de los colores bajo cubierta en China. Una razón adicional para esta práctica era el contenido de hierro tirando a elevado de las materias primas que componían la porcelana (normalmente entre el 0,5 y el 1%), que tendía a producir colores pajizos en cocciones oxidantes.

Negro: los cacharros con vidriado negro se asentaron en China en época más tardía que los verdes, según las antiguas recetas altas en cenizas de los cacharros verdes se iban oscureciendo por las cristalizaciones cuando las cantidades de óxido de hierro excedían del 3%, aproximadamente. Sin embargo, los alfareros del s. VI hacían ya vidriados negros de alta temperatura con las arcillas típicas de la Gran Planicie Central de China, e iniciaron un estilo exitoso que fue muy admirado e imitado en toda China, con fascinantes variaciones locales. La mayoría de la cerámica China vidriada negra contiene cantidades de óxidos de hierro en torno al 6% y, normalmente, se cocía en oxidación entre 1250° y 1320°C.

Trazas de hierro en los vidriados chinos

Todo lo que hemos visto son colores definidos por el óxido de hierro, aunque en algunos casos se base en la presencia de este en las materias primas. Sin embargo, fue casi igual de importante la aparición en la cerámica china de ligeras trazas de hierro que presentaban los vidriados de porcelana. En oxidación producían los colores crema característicos de la cerámica Ding, y los tonos marfil de las porcelanas del sur de Dehua. Por contraste, las ligeras coloraciones blanco azuladas típicas de la cerámica de Jingdezhen son evidencia de una reducción deliberada y completa durante la cocción, a veces asistida por efectos del gas de agua.