

ceramics
HANDBOOK

Glazes Cone 6

1240°C / 2264°F



Michael Bailey

Capítulo 1: Introducción

El tema del libro son los vidriados madurados al cono 6, entre 1220°C y 1240°C, en atmósfera oxidante. El recorrido comenzará con vidriados transparentes equilibrados, en particular el vidriado base nº1 (BG1), que servirá como punto de referencia para explorar otros vidriados diferentes, brillantes, satinados o mates, recorrido que nos llevará por unas cuarenta cubiertas distintas.

Los vidriados de gres se hacen tradicionalmente a los conos 8, 9 y 10 (1260° a 1300°). Trabajar a temperatura más bajas tiene ventajas evidentes, aunque también tiene desventajas. Trabajando al cono 9 se puede conseguir un vidriado brillante, transparente y libre de craquelado utilizando como materias primas solo arcilla, feldespato, caliza y cuarzo, sin embargo, al cono 6 necesitamos otros materiales para lograrlo. Los dos candidatos que suelen utilizarse son el óxido de boro o el óxido de zinc, lo cual incrementa el precio del vidriado.

Capítulo 2: El cuerpo cerámico y otras variables – su efecto sobre el vidriado

El tópico de este capítulo da muchos quebraderos de cabeza, resulta que la receta del vidriado es solo una parte de la historia.

El contenido de hierro de la arcilla. Sea la receta siguiente para un vidriado:

Vidriado base nº1	% peso
Feldespato sódico	45
Caolín	6
Bentonita	2
Caliza	17
Óxido de cinc	5
Cuarzo	25
Óxido de hierro negro	4

En fotografía del libro vemos hasta qué punto pueden ser diferentes los resultados de un mismo vidriado cocido en idénticas condiciones al aplicarlo sobre distintos cuerpos cerámicos con diferentes coloraciones debidas a las diferencias en el contenido de hierro de la pasta.

Otros factores que deben tenerse en cuenta son:

Contenido de cuarzo de la pasta soporte. Esto influye sobre la unión de soporte y vidriado y puede ofrecer resultados variables en cuanto al craquelado y desconchamiento de la cubierta vítrea.

Temperatura de maduración. Aunque programemos el horno a la misma temperatura, si cocemos en dos hornos distintos las temperaturas de maduración no serán las mismas, lo cual provoca diferencias en el resultado final.

Velocidad de enfriamiento. Las cristalizaciones suelen depender de un enfriamiento lento y, por tanto, algunos vidriados mostrarán formaciones cristalinas cuando se enfrían despacio. En este sentido, es problemático utilizar un pequeño horno de pruebas y otro mayor para la pieza final, ya que los hornos pequeños se enfrían más deprisa que los grandes.

Atmósfera del horno. Potencialmente, hay una enorme diferencia en el resultado según la cocción se efectúe en atmósfera oxidante o reductora.

Ángulo del soporte. El resultado de un vidriado varía mucho según se aplique sobre un soporte horizontal, sobre el cual no se mueve, o sobre uno vertical, en el cual se desliza por gravedad.

El procesado fotográfico. Una fotografía no suele representar fielmente el vidriado real y hay muchos matices que son imposibles de ver en una fotografía. Lo más fiable es basarse en auténticas muestras de vidriado.

Origen geológico de los materiales. Una misma materia prima puede variar mucho dependiendo de su origen, hasta el punto de que el resultado final varíe apreciablemente.

Grosor de la capa de vidriado. Otra variable que influye mucho en el resultado es el grosor con que se aplique la capa del vidriado crudo.

Contenido de agua de las materias primas. Por motivos de salud, algunas materias primas se suministran en estado húmedo y otras son higroscópicas. En estos casos, el contenido de agua puede producir errores de peso al elaborar la receta.

Materiales añadidos. Algunas pastas contienen materias primas añadidas como chamota, papel, moloquita, etc., que pueden afectar al resultado final del vidriado.

Cálculos por ordenador. Los cálculos realizados a partir de programas informáticos también pueden alterar la receta del vidriado.

Todo lo expuesto debe hacernos ver que, en general, cuando intentamos reproducir una receta obtenida de la fuente que sea, no debemos esperar obtenerla igual. Lo habitual es que se produzcan diferencias y tengamos que hacer varias pruebas hasta lograr el resultado deseado.

Capítulo 3: Sobre vidriados – una cuestión de equilibrio

Al componer un vidriado es útil considerar que en su composición entran tres tipos de materiales: esqueleto, fundente y estabilizador, y estos deben combinarse con un necesario equilibrio.

El esqueleto. En casi todos los vidriados es la sílice, que forma una red tridimensional de enlaces que es el andamiaje del vidriado.

El fundente. Como indica su nombre, ayuda al proceso de fusión. Como la temperatura de fusión de la sílice es muy elevada, es necesario añadir fundentes que provoquen la fusión a menor temperatura.

El estabilizador. La alúmina permite que en la fusión del vidriado este no se derrame por las paredes por gravedad sino que se mantenga en su lugar.

Se trata de lograr el equilibrio entre los tres componentes mencionados para lograr un vidriado adecuado.

La receta como expresión del vidriado. Aunque no hay reglas universales, la forma más común de transmitir los vidriados es mediante la expresión de los porcentajes en peso de las diferentes materias primas que componen el vidriado crudo, de manera que la suma de dichos porcentajes sea 100. Cualquier colorante u opacificante añadido al vidriado se expresará como un añadido a la mencionada receta base. Como ejemplo, tenemos arriba la receta del capítulo 2.

Por consistencia, todas las recetas se darán con un decimal y los cálculos químicos se realizarán con dos decimales.

La fórmula unitaria. En la fórmula unitaria se consideran los óxidos que componen el vidriado cocido. Por acuerdo, la suma de los coeficientes de los óxidos fundentes de la primera columna es uno, y de ahí lo de *fórmula unitaria*. La fórmula nos da la relación molecular entre los distintos óxidos que componen el vidriado. Cuando se utiliza la fórmula para comparar arcillas en vez de vidriados, la convención es tomar como unidad la proporción molecular de alúmina.

Como ejemplo, veamos la fórmula unitaria del vidriado base nº1:

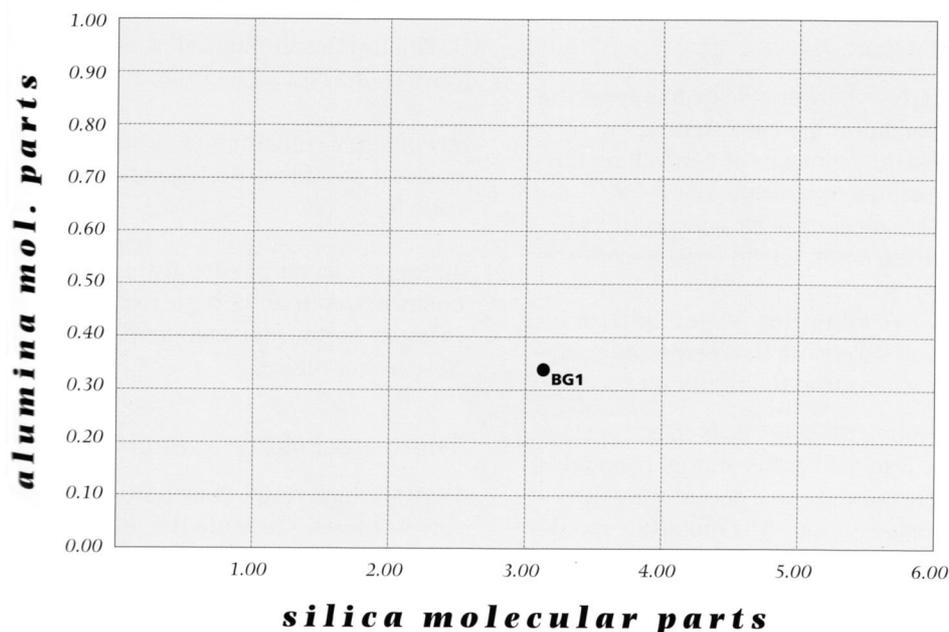
Óxidos básicos (fundentes)	Óxido anfótero (estabilizador)	Óxido ácido (formador de vidrio, esqueleto)
0,05 K ₂ O	0,34 Al ₂ O ₃	3,13 SiO ₂
0,18 Na ₂ O		
0,57 CaO		
0,01 MgO		
0,19 ZnO		

Hay que observar que los números representan porcentajes entre los diversos óxidos y no se corresponden con fórmulas químicas, cuyas cantidades de átomos o moléculas siempre son números enteros.

Análisis porcentual. Este análisis expresa la relación porcentual en masa de los óxidos que componen el vidriado. Por ejemplo, para el vidriado base nº1 es:

	% peso
SiO ₂	65,48
Al ₂ O ₃	12,28
CaO	11,22
MgO	0,05
ZnO	5,45
K ₂ O	1,67
Na ₂ O	3,86

Trazado del contenido alúmina:sílice. Una de las relaciones más útiles es la proporción entre alúmina y sílice. Esta relación, obtenida de la fórmula unitaria corresponde a un punto en un gráfico como el siguiente, sobre cual podrían representarse diversos vidriados.



Capítulo 4: Vidriados transparentes

Para lograr un vidriado perfecto hay que tener ciertas habilidades, como en cualquier otra artesanía. También es necesario un equipo fiable (horno y balanza libres de errores...) y algunas precauciones como, por ejemplo, que todas las materias primas pasen por un tamiz 80 (mejor aún 100 o 120) ya que, si el tamaño de partícula es demasiado grueso no fundirá bien y el vidriado no será transparente.

Un buen punto de partida para introducirnos en los vidriados es el vidriado transparente. Para lograr un buen vidriado transparente al cono 6 empezaremos por dos cuestiones: encontrar la relación sílice:alúmina adecuada para lograr la fusión completa y conocer los mejores fundentes para lograr la maduración al cono 6.

Para entender mejor la química del vidriado, de momento, evitaremos el uso de los compuestos de boro.

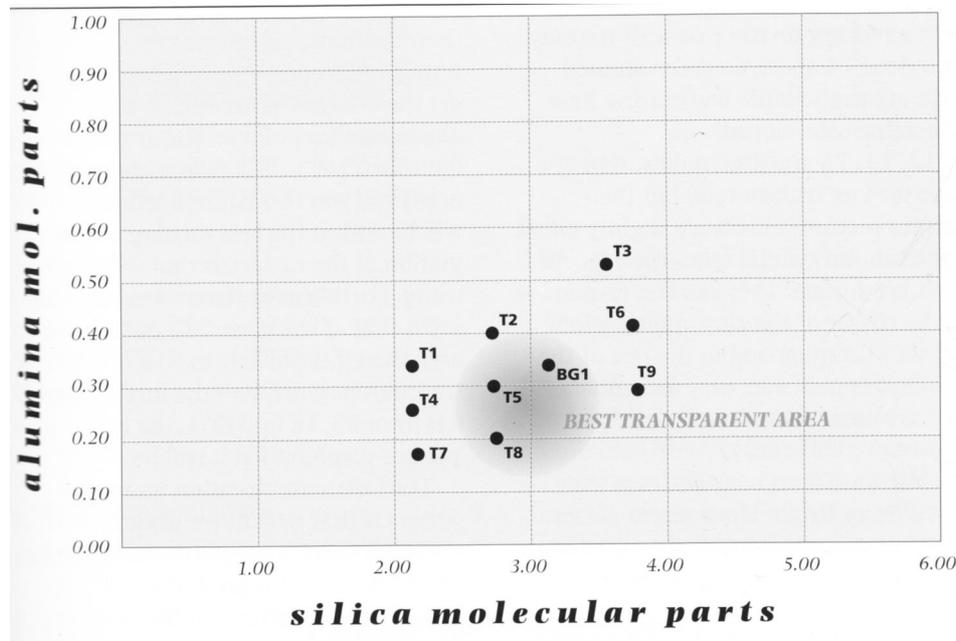
Vidriados transparentes – alúmina:sílice. En los cuadros de la página siguiente se ilustran una serie de composiciones de vidriados transparentes obtenidos tras un gran número de ensayos. También se traza su posición en un gráfico como el de arriba.

Observaciones: T1 -T9. La observación más evidente es que todos los vidriados quedan agrupados alrededor de una zona del gráfico. Sin embargo, no todos los resultados son "perfectos" sino que hay algunos defectos.

Los vidriados T1, T4 y T7 quedan a la izquierda de la zona ideal y tienen el problema de que tienden a craquelar. En lo positivo, la respuesta de color es muy buena y no modifican el color de la base.

T2, T3, T6 y T9 son vidriados transparentes, pero presentan un punteado superficial que perjudica el

Recipe	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	BG1
Soda feldspar	43.3	74.9	81.0	39.9	56.0	62.4	36.6	37.3	43.8	45.0
China clay	13.8			6.9						6.0
Bentonite	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Dolomite	8.2	6.4	5.2	8.0	6.5	5.3	7.7	6.6	5.4	
Lithium carbonate	4.6	3.7	3.0	4.5	3.7	3.0	4.4	3.7	3.0	
Whiting	10.4	4.6		12.7	8.2	3.4	15.0	11.8	6.8	17.0
Zinc oxide	5.0	4.0	3.3	4.9	4.1	3.3	4.8	4.1	3.3	5.0
Flint or quartz	12.7	4.4	5.5	21.1	19.5	20.6	29.5	34.5	35.7	25.0
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Unity formula										
K ₂ O	0.04	0.07	0.09	0.04	0.05	0.07	0.03	0.03	0.05	0.05
Na ₂ O	0.14	0.27	0.35	0.13	0.21	0.28	0.11	0.14	0.20	0.18
Li ₂ O	0.15	0.14	0.14	0.15	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
CaO	0.41	0.28	0.18	0.45	0.37	0.28	0.48	0.45	0.37	0.57
MgO	0.11	0.10	0.10	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.01
ZnO	0.15	0.14	0.14	0.15	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.19
Al ₂ O ₃	0.34	0.40	0.53	0.26	0.30	0.41	0.17	0.20	0.29	0.34
SiO ₂	2.08	2.65	3.55	2.14	2.73	3.68	2.20	2.81	3.81	3.13



brillo. La respuesta de color no es tan fiel y se muestran como “encendidos” comparados con el resto. En la parte positiva, no craquelan y son resistentes.

Solo T5, T8 y BG1 son ideales en cuanto a transparencia, brillo y respuesta de color.

El pequeño área resaltado en el gráfico es donde se alcanza el equilibrio entre los componentes del vidriado y sílice, alúmina y fundentes forman una fusión perfecta que forma un óptimo vidriado transparente.

Ahora vemos la utilidad del gráfico. Si queremos componer un perfecto vidriado transparente para cono 6, lo más adecuado es intentarlo en proporciones situadas dentro del área destacada en el gráfico.

La conclusión más provechosa es que, independientemente de las materias primas utilizadas, los mejores resultados se encuentran en una zona reducida delimitada por las proporciones:

$$\text{alúmina:sílice} = 1:7 \quad \text{y} \quad \text{alúmina:sílice} = 1:11$$

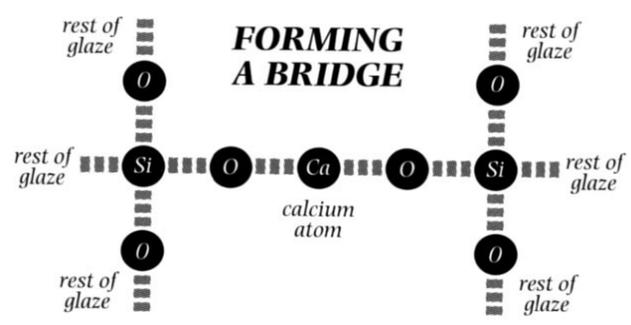
Hemos recorrido la mitad del camino que nos habíamos propuesto al encontrar la relación adecuada entre alúmina y sílice. La otra mitad consiste en hallar los mejores fundentes.

El poder y naturaleza de los fundentes – la razón de que no sirvan vidriados dentro del *área ideal*. Para ilustrar este punto introducimos dos casos extremos, T10 y T11.

Vidriado	% peso	-	Fórmula unitaria	alúmina	sílice
Vidriado T10		-	fundentes		
Caolín	30	-	0,02 K ₂ O	0,34 Al ₂ O ₃	2,93 SiO ₂
Caliza	30	-	0,01 Na ₂ O		
Cuarzo	40	-	0,97 CaO		
Vidriado T11		-	fundentes	alúmina	sílice
Frita alcalina	60	-	0,034 K ₂ O	0,30 Al ₂ O ₃	2,92 SiO ₂
Caolín	20	-	0,50 Na ₂ O		
Cuarzo	20	-	0,16 CaO		

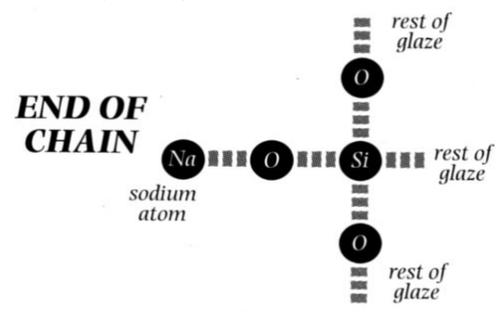
El vidriado T10 se basa en el eutéctico caliza-sílice-alúmina y, aunque la relación alúmina:sílice es 8·6, el vidriado es semiopaco. Por otra parte, el vidriado T11 presenta un intenso craquelado a pesar de que también está situado en el *área ideal*. Para entender por qué no son vidriados adecuados necesitamos entender antes las diferencias entre los dos tipos de fundentes.

Elementos alcalino térreos. Los principales óxidos alcalino térreos utilizados para los vidriados de gres son los óxidos de bario (BaO), calcio (CaO), magnesio (MgO) y estroncio (SrO) más el de cinc (ZnO). Son menos potentes como fundentes que los del grupo alcalino pero tienen menores coeficientes de dilatación y, por tanto, proporcionan una unión más fuerte entre el vidriado y el cuerpo cerámico. A nivel atómico, entran como parte de la matriz vítrea formando parte de la cadena del silicio. Es decir, conservan la estructura molecular de la cadena silicio-aluminio del vidrio y confieren estabilidad.



El vidriado T10, que casi contiene solo calcio como fundente es, de hecho, muy parecido a un vidriado clásico de reducción y cono 9 pero infracocido al cono 6. Para lograr que el vidriado sea transparente a tal temperatura hay que sustituir parte del calcio por otro fundente más potente. El cinc es un fundente adicional muy útil, tanto que es muy difícil lograr un buen vidriado transparente al cono 6 sin utilizarlo.

Elementos alcalinos. Los más utilizados para vidriados de gres son el óxido de litio (Li₂O), óxido de potasio (K₂O) y el óxido de sodio (Na₂O).



Son fundentes potentes y activos con bajos puntos de fusión pero muy alto coeficiente de dilatación. A nivel atómico, entran en la matriz vítrea formando el final de la cadena de sílice. Así que el efecto es que rompen la cadena de sílice que es la estructura del vidriado. No sorprende, por que los vidriados con elevado contenido alcalino sean muy fluidos y se peguen con facilidad por la base. El vidriado T11, que tiene 0,84 moles alcalinos, es muy brillante pero también craquela sin remedio. Ya nos imaginamos que el secreto para lograr un buen vidriado transparente al cono 6 no es solo llegar a la proporción correcta entre sílice y alúmina, sino también encontrar la proporción correcta entre los fundentes alcalinos y los alcalino térreos. En resumen, podemos destacar lo siguiente con vistas a obtener un buen vidriado transparente al cono 6:

En la fórmula unitaria,

- La cantidad de alúmina debe estar próxima a 0,3 (entre 0,2 y 0,4).
- La cantidad de sílice debe ser cercana a 3 (entre 2,5 y 3,5).
- La cantidad de tierras alcalinas debe ser lo más alta posible, ya que dota al vidriado de agarre y estabilidad. Además, una pequeña cantidad de ZnO (hasta un 10% de la receta) será probablemente necesaria.
- Para evitar el craquelado la cantidad de álcalis debe ser lo menor posible, aunque siempre son necesarios debido a su gran poder fundente y buen comportamiento con los colores. El carbonato de litio es útil como fuente adicional de álcalis y puede llegar hasta el 5% de la receta.
- La proporción $Al_2O_3:SiO_2$ debe estar entre 1:7 y 1:11.

fluxes		alumina		silica
Alkalis:		} 0.20–0.40 molecular parts	}	} 2.50–3.50 molecular parts
Na ₂ O	up to 0.35			
K ₂ O	up to 0.35			
Li ₂ O	up to 0.15			
Alkaline earths:				
CaO	up to 0.60			
BaO	up to 0.30			
MgO	up to 0.30			
ZnO	up to 0.40			

The alkalis not to exceed 0.50 parts, the alkaline earths not to exceed 0.75 parts.
Some zinc oxide is essential.

Vidriados de Bristol. En el siglo XIX se investigó en el área de Bristol, en Inglaterra, cómo sustituir el óxido de plomo de los vidriados para evitar su gran toxicidad. Así se llegó a un tipo de vidriados con un contenido de ZnO comprendido entre el 5-10% que se ha utilizado bastante en el rango de temperaturas entre 1100°C y 1300°C. A esta tipo de vidriados se les denomina *vidriados de Bristol*.

Capítulo 5: Coloreado de los vidriados transparentes

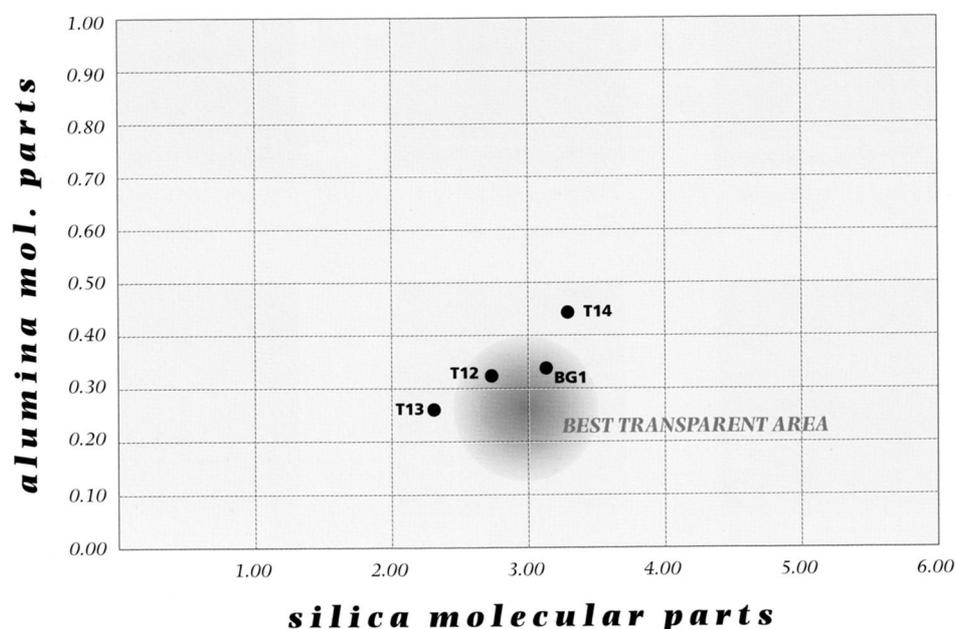
Los colores se logran añadiendo óxidos colorantes u opacificantes, o pigmentos comerciales a los vidriados transparentes. El resultado puede variar desde coloraciones sutiles a sombras heterogéneas o colores intensos. En cocción oxidante, ciertos colores son fáciles de conseguir con adiciones de cobalto (azul), hierro (marrones), cobre (verdes) y opacificantes como el estaño, titanio y circonio (blancos). Algunos colores, sin embargo, son mucho más complicados y verdaderos o rojos o amarillos luminosos solo son posibles a partir de pigmentos comerciales.

La cantidad exacta de un óxido colorante necesaria para lograr un color concreto solo puede obtener a partir de pruebas. El cuadro siguiente da una idea de los porcentajes necesarios para obtener colores saturados pero, igualmente, pueden ser adecuadas cantidades menores para conseguir tintes ligeros o cantidades mayores para lograr efectos mates o metálicos, a veces interesantes desde un punto de vista artístico.

Typical % additions of the colouring metal oxide to give a full strength colour		
Chromium oxide	1-3	greens, greys and pinks
Cobalt carbonate and oxide	1-3	blues (turquoise, blues and mauves)
Copper carbonate and oxide	2-5	greens
Ilmenite	4-10	browns
Iron chromate	3-6	greenish browns
Iron oxides		
Black iron	2-12	straw, honey, greens, black, brown, red (In certain base glazes even up to 30% may be used.)
Red iron		
Spangles		
Yellow iron		
Manganese carbonate	4-12	mauve browns
Manganese dioxide	4-12	mauve browns
Nickel oxide	2-6	browns, greens, pinks, yellows
Rutile	4-12	browns
Tin oxide	6-10	white
Titanium dioxide	3-10	white
Vanadium pentoxide	1-3	browns, yellows
Zirconium silicate	6-12	white

Las tonalidades de los colores provocados por los óxidos colorantes dependen de los fundentes presentes en el vidriado. Generalmente, los elementos alcalinos ofrecen colores vivos más vivos y brillantes y los alcalino térreos colores más apagados. Como vimos, el óxido de cinc es un fundente muy útil para vidriados al cono 6, pero tiene la desventaja de alterar el color esperado de algunos óxidos metálicos. Por ejemplo, con la base T12, el óxido de cromo provoca un gris rosado en lugar del verde que cabría esperar.

Se han elegido tres bases transparentes, T12, T13 y T14 para elaborar el muestrario de colores, que ocupan diferentes posiciones en el gráfico alúmina:silice como se ve en el gráfico siguiente:



En el libro se ven un montón de fotos con los resultados de los vidriados para los diferentes óxidos colorantes y con distintas proporciones añadidas sobre los tres vidriados base y, en algunos casos, sobre distintos cuerpos cerámicos.

Las recetas de los tres vidriados base son las siguientes,

El T12 es un vidriado base transparente para cono 6 que emplea carbonato de litio y óxido de zinc como fundentes adicionales.

Vidriado T12			Fórmula unitaria		
	% peso		fundentes	alúmina	sílice
Feldespató K	44	-	0,18 K ₂ O	0,32 Al ₂ O ₃	2,81 SiO ₂
Caolín	6	-	0,06 Na ₂ O		
Bentonita	2	-	0,16 Li ₂ O		
Carbonato Li	4	-	0,42 CaO		
Caliza	14	-	0,18 ZnO		
Óxido Zn	5	-			
Cuarzo	24	-	Coef. Dilat. = $5,52 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$		

El T13 es un vidriado transparente muy brillante sin carbonato de litio.

Vidriado T13			Fórmula unitaria		
	% peso		fundentes	alúmina	sílice
Feldespató Na	43	-	0,04 K ₂ O	0,27 Al ₂ O ₃	2,39 SiO ₂
Caolín	5	-	0,14 Na ₂ O		
Bentonita	2	-	0,62 CaO		
Caliza	22,5	-	0,19 ZnO		
Óxido Zn	6	-			
Cuarzo	21,5	-	Coef. Dilat. = $5,52 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$		

Este vidriado se representa en el gráfico alúmina:sílice cerca del T4, en la zona donde es frecuente el craquelado, a pesar de lo cual tiene algunas características interesantes para investigar:

- Los óxidos colorantes aportan resistencia al craquelado, por tanto, a pesar de su posición en el gráfico no craquelará tanto como si fuese un vidriado transparente.
- Estamos en el área donde se producen los vidriados más brillantes, por tanto, es un tipo de vidriado transparente que debe investigarse.
- Los óxidos colorantes se combinan con el oxígeno de forma similar a las tierras alcalinas, por lo que puede esperarse de ellos un similar efecto fundente.
- Por otra parte, el hierro rojo, Fe₂O₃, es anfótero y aunque no tiene una naturaleza tan refractaria como la alúmina sí puede provocar que los vidriados pierdan fluidez en la fusión.

Vidriado T14			Fórmula unitaria		
	% peso		fundentes	alúmina	sílice
Feldespató Na	70	-	0,07 K ₂ O	0,32 Al ₂ O ₃	2,81 SiO ₂
Dolomita	7	-	0,28 Na ₂ O		
Bentonita	3	-	0,13 Li ₂ O		
Carbonato Li	3	-	0,19 CaO		
Óxido Zn	5	-	0,20 ZnO		
Cuarzo	12	-	0,13 MgO		
			Coef. Dilat. = $4,93 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$		

Este vidriado está situado arriba a la derecha de la zona de fusión óptima, lo cual se traduce en un resultado satinado. Por otra parte, la alta proporción de óxidos alcalinos ayuda a resaltar el color. No es mala idea comenzar por un vidriado base sobre la zona de fusión óptima, ya que la adición de los óxidos colorantes tenderá a mejorar la fusión del vidriado.

Capítulo 6: Vidriados mate de alúmina

Partimos de la idea de encontrar un equilibrio de materias primas que nos diese una fusión perfecta de materiales para obtener un vidriado transparente, liso e incoloro. Ahora vamos a explorar la posibilidad de alejarnos de ese equilibrio.

Para empezar aumentaremos la proporción de alúmina. Por razones estéticas, a muchos ceramistas no les gustan los vidriados brillantes y el aumento en la proporción de alúmina tiende a aminorar el brillo del vidriado. Esto se logra a partir de dos procesos:

- Algunas moléculas de alúmina cristalizarán durante el enfriamiento, de la misma manera que una solución saturada cristaliza al enfriarse.
- Al saturar el vidriado, algunas partículas de alúmina no se fundirán y permanecerán en suspensión enturbiando el vidriado.

Este tipo de mateado tiene también efectos adversos. Como acabamos de ver, el vidriado se vuelve turbio y, por tanto, más opaco. El aspecto es más seco y los colores más apagados.

Fuentes de alúmina. Para lograr este tipo de vidriados mate nos interesan las materias primas que introduzcan alúmina. Veamos cuáles son:

1. Hidróxido de aluminio. Contiene un 56% de alúmina y un 46% de agua. Como el agua se evapora durante la cocción, significa que por cada 100g de hidróxido de aluminio estamos aportando 56g de alúmina al vidriado.
2. Caolín. Un buen caolín contiene aproximadamente el 38% de alúmina. Tiene la ventaja de que ayuda a mantener la suspensión del vidriado y, en comparación con otras arcillas, aporta poco hierro.
3. Otras arcillas. Las arcillas secundarias son muy variables en su composición y la cantidad de alúmina es variable entre el 11-38%. Son mejores que el caolín para mantener la suspensión pero, en cambio, introducen más hierro.
4. Arcilla y alúmina calcinada. Todas las materias primas mencionadas arriba pueden introducirse calcinadas, es decir, calentadas por encima de 600°C, cuando pierden el agua química. Cuando el vidriado contiene una cantidad elevada de arcilla, suele introducirse una parte de ésta calcinada para mejorar el acoplamiento sobre el soporte.
5. Feldespatos. Éstos contienen cantidades entre el 15-27% de alúmina, típicamente:

	% alúmina
Pegmatita	15-17
Nefelina sienita	20-25
Feldespato K	17-19
Feldespato Na	17-19
Esodúmeno	27

Vidriados semimate de alúmina. Los siguientes vidriados, denominados ASM1 y 2 tienen un acabado satinado, normalmente con pequeñas opacidades puntuales.

Vidriado ASM1	-	-	Fórmula unitaria		
	% peso	-	fundentes	alúmina	sílice
Feldespato Na	70	-	0,09 K ₂ O	0,60 Al ₂ O ₃	3,27 SiO ₂
Dolomita	5	-	0,31 Na ₂ O		
Caolín	13	-	0,30 CaO		
Caliza	4	-	0,09 MgO		
Óxido Zn	5	-	0,21 ZnO		
Cuarzo	3	-			Coef. Dilat. = 5,28·10 ⁽⁻⁶⁾ /°C

Vidriado ASM2		-	Fórmula unitaria		
	% peso	-	fundentes	alúmina	sílice
Feldespató K	50	-	0,22 K ₂ O	0,54 Al ₂ O ₃	2,59 SiO ₂
Caolín	25	-	0,08 Na ₂ O		
Talco	10	-	0,46 CaO		
Caliza	15	-	0,24 MO		
		-		Coef. Dilat. = 6·10(-6)/°C	

Consejos prácticos. Los mates satinados provocados por un incremento de la alúmina son vidriados bastante sensibles a la temperatura. Es decir, una ligera variación de temperatura, de solo unos 10°C, ya puede variar el resultado hacia más mate o más brillante. Los vidriados ASM1 y ASM2, sin embargo, pueden ajustarse de forma sencilla con ligeras variaciones de la cantidad de caolín, del 1-2%, de más o de menos para hacer el resultado más mate o brillante, respectivamente. Como vidriados base, les afectará la cantidad de óxidos metálicos colorantes añadidos. Esto se ve claramente en la foto de la muestra con un 14% de dióxido de manganeso que, al actuar como fundente, devuelve el vidriado a la zona de brillantes y transparentes. En casos como este, habría que añadir a la base cierta cantidad de alguna de las materias primas mencionadas para introducir alúmina.

Vidriados mate de alúmina. Hasta ahora nos hemos movido en la zona de vidriados satinados y ahora toca dar un paso alejándonos más del área de transparencia. Las siguientes recetas son ejemplos de vidriados mate por alúmina:

Vidriado AM1		-	Fórmula unitaria		
	% peso	-	fundentes	alúmina	sílice
Feldespató Na	54	-	0,08 K ₂ O	0,65 Al ₂ O ₃	2,76 SiO ₂
Dolomita	6	-	0,23 Na ₂ O		
Caolín	28	-	0,42 CaO		
Caliza	8	-	0,11 MgO		
Óxido Zn	4	-	0,16 ZnO		
		-		Coef. Dilat. = 5,29·10(-6)/°C	

Vidriado AM2		-	Fórmula unitaria		
	% peso	-	fundentes	alúmina	sílice
Feldespató K	70	-	0,34 K ₂ O	0,65 Al ₂ O ₃	3,18 SiO ₂
Dolomita	7	-	0,12 Na ₂ O		
Caolín	16	-	0,41 CaO		
Caliza	7	-	0,13 MgO		
		-		Coef. Dilat. = 6,61·10(-6)/°C	

Vidriados con cantidad extrema de alúmina.

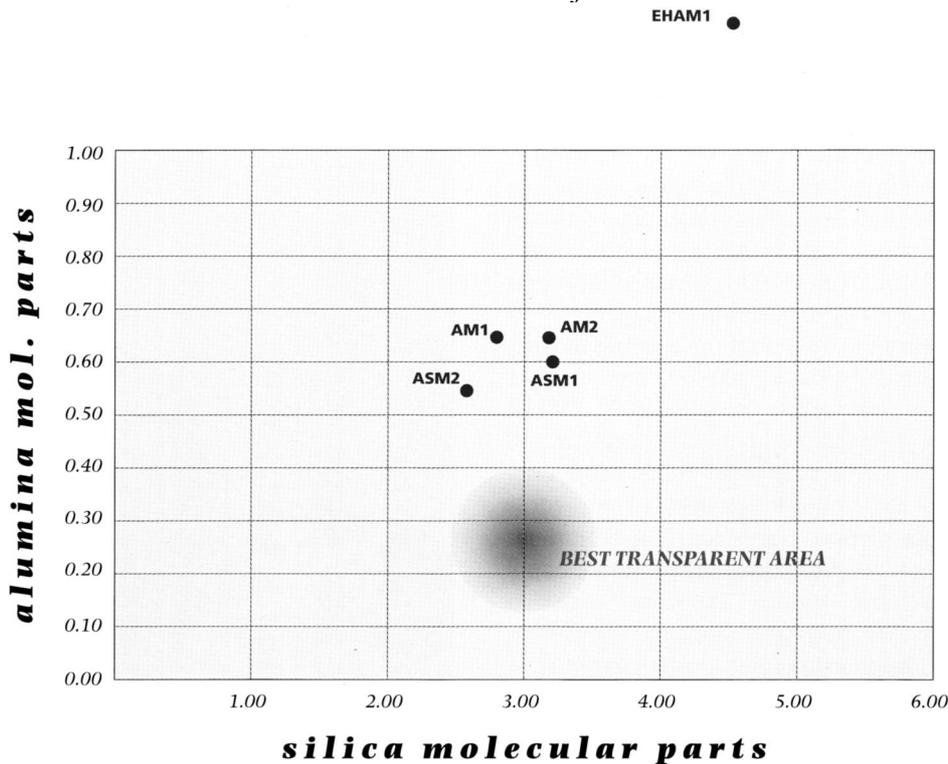
Vidriado EAM1	-	-	Fórmula unitaria	
	-	-		
	% peso	-	fundentes	alúmina sílice
	-	-		
Caolín	70	-	0,10 K ₂ O	1,39 Al ₂ O ₃ 4,67 SiO ₂
Caliza	15	-	0,05 Na ₂ O	
Cuarzo	15	-	0,85 CaO	
	-	-		Coef. Dilat. = 3,35·10(-6)/°C

Notas. Este es un vidriado muy, muy seco. En realidad, está en el límite en que puede considerarse vidriado y es, casi, un engobe. Sin embargo, tiene una calidad suave y pétrea que lo hace adecuado para trabajos escultóricos.

Las características del vidriado obligan a aplicarlo en capa muy fina para evitar que se cuartee o despegue del soporte. Las cantidades de colorante deben ser mayores de lo normal para lograr una respuesta adecuada del color. Los resultados más favorables ocurren añadiendo cobalto, cobre y manganeso, ya que éstos actúan como fundentes acercando el resultado hacia la zona transparente. En cambio, el óxido de hierro rojo no favorece la fusión.

Gráfica de los vidriados mate de alúmina. La posición alúmina:sílice de estos vidriados se traza en el siguiente gráfico. Pueden destacarse dos datos:

1. Los mate de alúmina se sitúan arriba, sobre el área de la fusión óptima.
2. El grado de matidez se incrementa cuando nos alejamos de dicho área.



La tarea de lograr un vidriado mate de alúmina, al menos a nivel básico, es sencilla y directa. Hay dos métodos simples para ello, los incrementos progresivos y las mezclas lineales.

Incrementos progresivos. Un ejemplo podría ser tomar el vidriado BG1 como punto de partida y añadirle proporciones crecientes de caolín. Por ejemplo, aumentando un 5% cada vez. El resultado tras la cocción debería ser un conjunto de muestras cada vez más mates y opacas. Si hemos tenido suerte, alguna tendrá la calidad que queremos. Si no, quizás debamos refinar las pruebas entre dos muestras consecutivas, o extender la progresión con mayores proporciones de caolín, o incluso

probar otro material para introducir la alúmina.

Mezclas lineales. Esta es otra forma rápida de muestreo. La idea es mezclar dos vidriados diferentes entre sí, cada uno de los cuales representará uno de los límites de la línea de mezclas. Por ejemplo, podríamos probar con BG1 y EAM1 y hacer con ellos todas las mezclas 10/0, 9/1, 8/2, etc. Nota: si los vidriados están ya en suspensión, la mezcla puede hacerse por volúmenes aunque el método será más impreciso. Lo mejor es pesarlos y mezclarlos con agua en cantidades adecuadas para hacer las pruebas y combinarlos entre sí por volúmenes.

Capítulo 7: Vidriados mate por elementos alcalino-térreos

En este capítulo desequilibraremos el vidriado transparente y brillante con un exceso de elementos alcalino-térreos. En este tipo de vidriados, los óxidos de calcio, bario o magnesio se añaden en cantidades superiores a aquellas que se pueden disolver para formar un vidriado transparente y, durante el enfriamiento, este exceso provoca la cristalización formando metasilicatos complejos.

Vidriados mate de calcio. La fuente más común de óxido de calcio es el carbonato de calcio, CaCO_3 , denominado también blanco de España o caliza. La dolomita, wollastonita y algunas cenizas de madera son otras fuentes para el óxido de calcio y su uso es apropiado cuando es necesario aportar también otros óxidos al vidriado.

El siguiente vidriado mate-satinado de calcio ha resultado de probar diferentes incrementos de caliza añadidos al vidriado base BG1. También se ha añadido algo de óxido de hierro negro y cobre para simular el color de algunos vidriados de cenizas.

Vidriado CSM1		-	Fórmula unitaria		
	% peso	-	fundentes	alúmina	sílice
Feldespató Na	33·8	-	0,03 K ₂ O	0,17 Al ₂ O ₃	1,55 SiO ₂
Caolín	4·5	-	0,09 Na ₂ O		
Bentonita	1·9	-	0,79 CaO		
Caliza	37·3	-	0,09 ZnO		
Óxido de cinc	3·7	-			
Cuarzo	18·8	-	Coef. Dilat. = 6·87(-6)/°C		

+ 1% óxido de hierro negro y 0,5% óxido de cobre

Adiciones mayores de calcio al vidriado llevan a un incremento en la mateidad. Por ejemplo, la siguiente receta, HCM1, tiene casi un 50% de caliza. El resultado es una textura moteada y superficie mate de bordes rotos y definidos, adecuada para uso escultural pero no para trabajos utilitarios.

Vidriado HCM1		-	Fórmula unitaria		
	% peso	-	fundentes	alúmina	sílice
Feldespató Na	28·1	-	0,02 K ₂ O	0,12 Al ₂ O ₃	1,09 SiO ₂
Caolín	3·7	-	0,06 Na ₂ O		
Bentonita	1·4	-	0,85 CaO		
Caliza	48·1	-	0,07 ZnO		
Óxido de cinc	3·1	-			
Cuarzo	15·6	-	Coef. Dilat. = 8·03(-6)/°C		

Vidriados mate por magnesio. Las materias primas comunes para introducir el óxido de magnesio son la dolomita (una combinación 1/1 de carbonato cálcico y carbonato magnésico), el óxido de magnesio, el carbonato de magnesio (magnesita) y el talco (silicato de magnesio).

En MCM1 (vidriado mate cristalino de magnesio) se forman cristales de piroxeno durante el enfriamiento. Esto depende de que haya partículas, probablemente cuarzo, sin fundir en el vidriado, alrededor de las cuales crecen los cristales. Si el vidriado se sobrecuece, quizás éstas partículas se fundan en el vidriado y no se desarrollen los cristales.

Vidriado MCM1			Fórmula unitaria		
	% peso		fundentes	alúmina	sílice
Feldespatos Na	42	-	0,04 K ₂ O	0,23 Al ₂ O ₃	2,17 SiO ₂
Caolín	4	-	0,13 Na ₂ O		
Bentonita	2	-	0,39 CaO		
Caliza	15	-	0,15 ZnO		
Óxido de cinc	5	-	0,29 MgO		
Cuarzo	22	-			
Carbonato Mg	10	-	Coef. Dilat. = 5·03(-6)/°C		

MCM2 es una receta alternativa con el mismo análisis que MCM1, en la cual se ha sustituido el carbonato de magnesio y la mayor parte de la caliza por dolomita. Puede ser útil porque algunos carbonatos de magnesio dan problemas al almacenar el vidriado en crudo y, al cabo de uno o dos días, la barbotina se espesa y vuelve gelatinosa y resulta imposible aplicarla sobre el cacharro.

Vidriado MCM2			Fórmula unitaria		
	% peso		fundentes	alúmina	sílice
Feldespatos Na	42	-	0,04 K ₂ O	0,23 Al ₂ O ₃	2,17 SiO ₂
Caolín	4	-	0,13 Na ₂ O		
Bentonita	2	-	0,39 CaO		
Caliza	3	-	0,15 ZnO		
Óxido de cinc	5	-	0,29 MgO		
Cuarzo	22	-			
Dolomita	22	-	Coef. Dilat. = 5·03(-6)/°C		

MM1 es un vidriado completamente opaco obtenido al aumentar el contenido de óxido de magnesio en el vidriado anterior.

Vidriado MM1			Fórmula unitaria		
	% peso		fundentes	alúmina	sílice
Feldespatos Na	38	-	0,03 K ₂ O	0,18 Al ₂ O ₃	1,71 SiO ₂
Caolín	4	-	0,10 Na ₂ O		
Bentonita	2	-	0,32 CaO		
Caliza	14	-	0,13 ZnO		
Óxido de cinc	5	-	0,42 MgO		
Cuarzo	20	-			
Carbonato Mg	17	-	Coef. Dilat. = 5·04(-6)/°C		

MM2 es una alternativa a MM1 sustituyendo el carbonato de magnesio y la caliza con dolomita y talco, pero el análisis es igual. En estos vidriados altos en magnesio destaca su textura superficial suave, que recuerda la seda.

Vidriado MM2	% peso	Fórmula unitaria		
		fundentes	alúmina	sílice
Feldespatos Na	40,0	0,03 K ₂ O	0,18 Al ₂ O ₃	1,71 SiO ₂
Caolín	3,5	0,10 Na ₂ O		
Bentonita	2,0	0,32 CaO		
Dolomita	26,5	0,13 ZnO		
Óxido de cinc	5,0	0,42 MgO		
Cuarzo	15,0			
Talco	8,0	Coef. Dilat. = 5·04(-6)/°C		

Vidriados mate por bario. Un uso popular del bario es su combinación con cobre para lograr un vidriado turquesa, azul verdoso. Pero ahora lo que nos interesa es lograr un vidriado mate, con un exceso de bario y un comportamiento similar al de las otras tierras alcalinas.

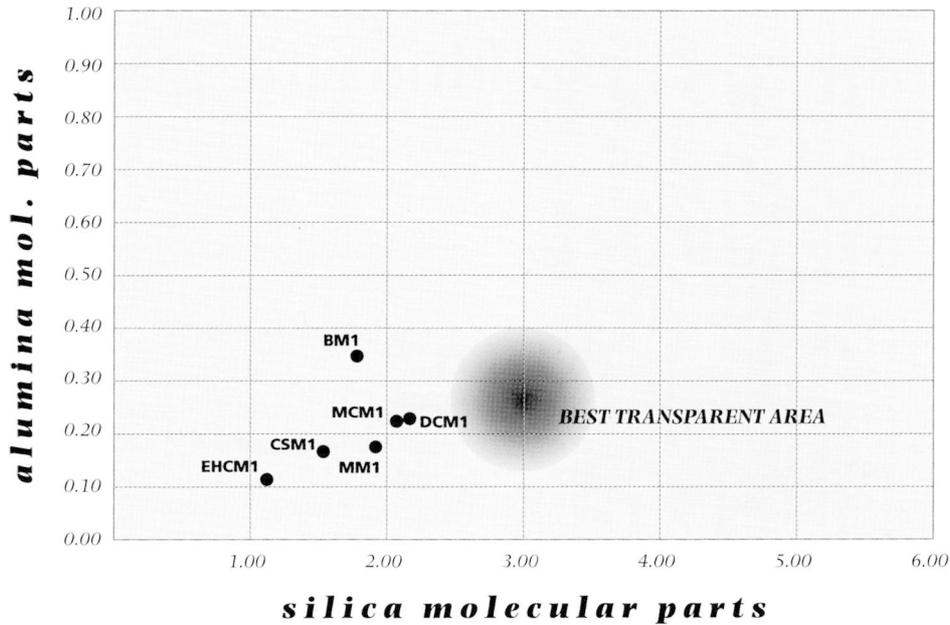
Vidriado BM1	% peso	Fórmula unitaria		
		fundentes	alúmina	sílice
Feldespatos K	50	0,20 K ₂ O	0,35 Al ₂ O ₃	1,80 SiO ₂
Caolín	8	0,07 Na ₂ O		
Bentonita	2	0,30 CaO		
Carbonato Ba	30	0,43 BaO		
Caliza	10	Coef. Dilat. = 8·82(-6)/°C		

La cantidad de cobre (ya sea como óxido o carbonato) añadida al vidriado es importante. Unas pruebas en progresión de 0,5% en 0,5% hasta un máximo del 4% será suficiente. Los resultados deberían variar desde un verde luminoso hacia el azul.

Una manera rápida de encontrar la zona de cristalización. Un ensayo muy útil es partir de un vidriado base transparente y hacer una progresión con alguna materia prima de elevado contenido alcalino-térreo. Por ejemplo, a partir del vidriado BG1 más un 8% de óxido de hierro rojo, podemos hacer incrementos de dolomita del 2,5%, partiendo desde el 5% hasta un máximo del 15%. En las fotos del libro se ve cómo van formándose cada vez más cristales.

A partir de los resultados, podemos decidir qué cantidad de dolomita añadir para conseguir el tipo de moteado cristalino que más nos guste. Una vez decidido podríamos escribir una nueva receta recalculando los nuevos porcentajes de materias primas.

Representación gráfica. La situación alúmina:sílice de todos los vidriados elaborados en este capítulo se representa en la gráfica de la página siguiente. Puede verse que los vidriados son más mate según nos movemos hacia la izquierda en el gráfico y más transparentes cuanto más cercanos están de la zona de transparencia.



Capítulo 8: Vidriados macrocristalinos de cinc

Estos vidriados están cercanos a los de alto contenido alcalino-térreo, aunque para la mayor parte de las recetas de cristalizaciones es necesario un enfriamiento lento del vidriado para permitir el crecimiento de los cristales. Los macrocristales se forman por la combinación del óxido de cinc con sílice que da lugar a silicato de cinc $ZnSiO_2$, pero el crecimiento se inhibe por la alúmina o el boro. El problema que plantea la ausencia de estos óxidos anfóteros estabilizadores es que el vidriado es muy fluido en la fusión, tanto que hay que prever que éste resbale por la base del cacharro hacia lo que haya debajo.

Vidriado MCZ1	-	-	Fórmula unitaria	
	% peso	-	fundentes	alúmina sílice
Frita F3110	75	-	0,03 K ₂ O	0,04 Al ₂ O ₃ 1,46 SiO ₂
Óxido Zn	25	-	0,31 Na ₂ O	0,05 B ₂ O ₃
		-	0,14 CaO	
+ Carbonato Cu	2	-	0,52 ZnO	
Óxido Sn	5	-		Coef. Dilat. = 8·15(-6)/°C

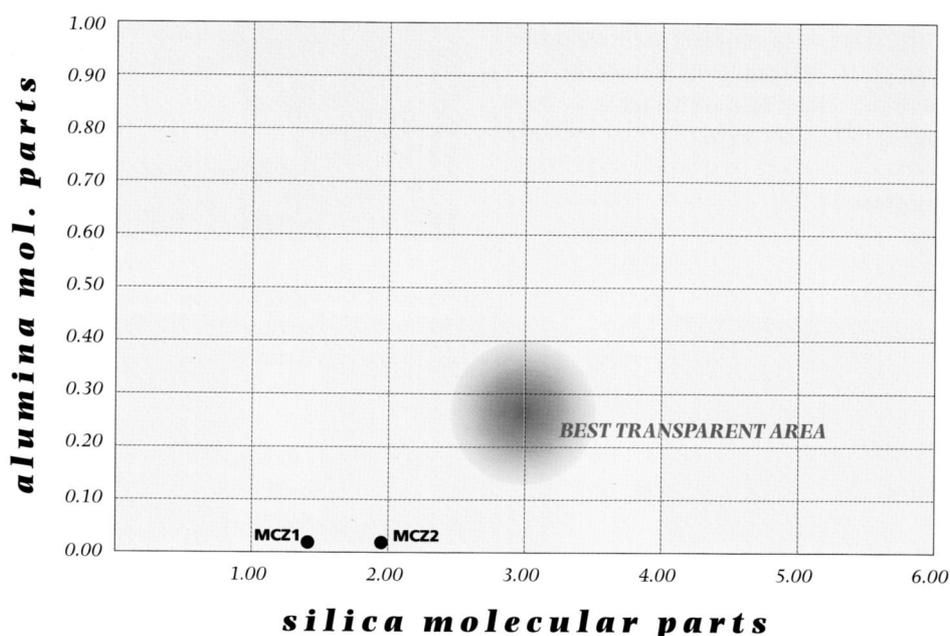
Una característica interesante de este vidriado es que, en combinación con óxido de estaño y carbonato de cobre, es capaz de desarrollar los cristales sin necesidad de un ciclo especial de enfriamiento.

Control del crecimiento cristalino. Los aficionados a las cristalizaciones diseñan curvas de enfriamiento complejas para crear variadas cristalizaciones. Sin embargo, lo que ocurre por regla general lo vemos en fotos del libro. Se programó el horno para mantener durante cuatro horas los siguientes intervalos de enfriamiento antes de dejar el horno enfriarse por su propia inercia: 1100°C-1050°C, 1050°C-1000°C y 1000°C-950°C. Si mantenemos el ciclo a la temperatura más alta se forman cristales aciculares, que comienzan a abrirse como flores de papiro en el ciclo intermedio y alcanzas formas circulares a la temperatura más baja.

El MCZ2 es un vidriado satinado suave de color verde azulado cuya superficie queda totalmente cubierta de finos cristales, sobre todo en bases de porcelana.

Vidriado MCZ2	% peso	-	fundentes	alúmina	sílice
Frita F3110	50	-	0,02 K ₂ O	0,03 Al ₂ O ₃	1,99 SiO ₂
Óxido Zn	25	-	0,25 Na ₂ O	0,04 B ₂ O ₃	
Cuarzo	25	-	0,11 CaO		
+ Carbonato Cu	2	-	0,62 ZnO		
Óxido Sn	5	-			
Coef. Dilat. = 7·46(-6)/°C					

Este tipo de vidriados son extremos y no se puede ir más allá en esa dirección, como se aprecia en el gráfico.



Consejos prácticos. Utilizar varios colorantes y/o opacificantes ayuda a distinguir los diferentes resultados y las variaciones entre las áreas vítreas, transparentes, y las cristalinas, más opacas. El uso de un buen programador es imprescindible para no tener que estar pendiente del horno durante el enfriamiento.

Lo menos problemático es aplicar estos vidriados sobre superficies internas para evitar que se escurra y se pegue a la base sobre la que esté situado el cacharro.

El bajo contenido de arcilla del vidriado hace que no forme una buena suspensión, por lo que es adecuado mezclarlo con un 4-5% de C.M.C.

Se recomienda un calentamiento rápido que evita el traslado de alúmina de la base cerámica hacia el vidriado.

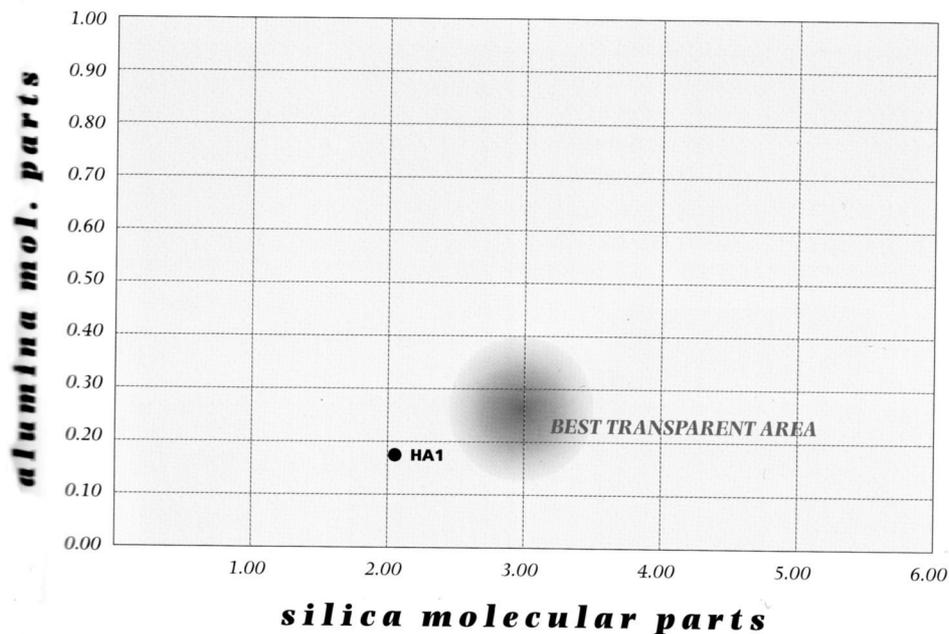
Capítulo 9: Vidriados de elevado contenido alcalino

Los dos capítulos previos exploraban el desequilibrio del vidriado por exceso de tierras alcalinas, lo cual producía efecto mate y cristalizaciones. De hecho, el resultado iba en contra de la intuición, ya que cuanto más aumentábamos los llamados *fundentes* más seco y mate resultaba el vidriado. Este no será el caso con los álcalis, es decir, los óxidos de litio, sodio y potasio. Éstos sí se comportan como fundentes y una de los problemas que tendremos es que, según aumentamos el contenido alcalino, el vidriado fundido correrá cada vez más por superficies inclinadas y el cacharro se pegará al soporte.

Las principales fuentes de álcalis para estos vidriados serán: el óxido de litio, a partir del carbonato de litio (CO₃Li₂) y los óxidos de sodio y potasio a partir de los feldespatos o de las fritas de alto

contenido alcalino.

Elaboración de un vidriado de alto contenido alcalino. El vidriado HA1 se ha formulado con una proporción alúmina:sílice similar a la de los vidriados con tierras alcalinas CSM1 y MCM1.



En la práctica, el vidriado no puede elaborarse sin utilizar fritas. Si intentamos obtener los óxidos de sodio y potasio a partir de feldespatos, nos encontraremos con cantidades de alúmina demasiado elevadas. Por otra parte, los carbonatos de sodio y potasio son solubles en agua, por lo que tampoco nos sirven. El carbonato de litio, en cambio, es prácticamente insoluble y tiene un coeficiente de dilatación menor que el sodio o el potasio, por lo que parece, a pesar de que no es barato, el candidato ideal para suministrar el aporte alcalino que falta. Por desgracia, cuando la cantidad de carbonato de litio de la receta supera el 10% sucede algo extraño, el vidriado comienza a despegarse del soporte. Nos encontramos con el paradójico efecto de un vidriado que craquela y se cuartea a la vez, defectos que están catalogados como opuestos dentro del espectro de los defectos del vidriado. De este modo, nos encontramos que la única manera de elaborar un vidriado de alto contenido alcalino y bajo en alúmina y sílice es echar mano a las fritas.

Vidriado HA1		Fórmula unitaria		
	% peso	fundentes	alúmina	sílice
Feldespato Na	15	0,21 K ₂ O	0,17 Al ₂ O ₃	2,08 SiO ₂
Caolín	5	0,34 Na ₂ O	0,06 B ₂ O ₃	
Bentonita	2	0,25 CaO		
Frita alcalina	47	0,14 ZnO		
Óxido de cinc	5	0,06 Li ₂ O		
Cuarzo	18			
Caliza	6	Coef. Dilat. = 9·47(-6)/°C		
Carbonato Li	2			

Características de los vidriados muy alcalinos. Este tipo de vidriados son los más brillantes que pueden lograrse en alta temperatura y de una respuesta al color particularmente sensible al cuerpo cerámico sobre el que se aplican. Por esta razón conviene probar el vidriado sobre diferentes pastas. La respuesta al cobre es un equivalente en alta temperatura a los azules turquesa típicos de la pasta egipcia o de la cerámica persa de los siglos trece y catorce. Son vidriados muy fluidos y cuarteados. Debe admitirse una débil interfase entre vidriado y soporte

a cambio del buen comportamiento de los colores. Sin embargo, si no estamos dispuestos a quedarnos con un vidriado que se cuarteo, no debemos ir más allá con este tipo de vidriados. El otro problema es la excesiva fluidez, que será mayor cuanto más nos alejamos de la zona de equilibrio al aumentar la proporción de álcalis.

Consejos prácticos. Las pruebas deben realizarse con precaución. Un buen grosor del vidriado le da profundidad y una calidad exquisita pero puede que corra en exceso hacia la base. En tal caso hay que reducir el espesor de la capa o intentar introducir algo más de alúmina (por ejemplo, a partir del caolín).

Capítulo 10: Vidriados con mucha sílice

Queda una última dirección que explorar en cuanto al desequilibrio entre los componentes del vidriado respecto a nuestro vidriado *perfecto* de partida. En el capítulo seis se exploró un aumento en la proporción de alúmina, principalmente en forma de caolín. En los capítulos siete, ocho y nueve se experimentó por exceso de varios fundentes. El tercer componente de los vidriados, de acuerdo con la fórmula Seger, es la sílice (SiO₂), de manera que todavía queda por saber lo que ocurre cuando desequilibramos el vidriado por exceso de sílice.

Materias primas para la sílice. Hay dos fuentes de sílice virtualmente puras que son los minerales cuarzo y pedernal y suelen tratarse como materias primas equivalentes. Además, como vemos en la lista siguiente, disponemos de otra serie de materias primas como fuentes de sílice:

Materia prima	% SiO ₂
Cuarzo	100
Pedernal	100
Pegmatita	70-75
Nefelina sienita	60
Petalita	70-75
Feldespato K	65-70
Feldespato Na	65-70
Esodúmeno	65
Arcilla de bola	50-70
Caolín	45-50
Cenizas vegetales	5-85
Talco	55-60
Wollastonita	50
Silicato Zr	50
Fritas artificiales	20-70

Observaciones: HS1 - HSM5

Para esta práctica se elaboran cinco vidriados. Partiendo de BG1, se irá incrementando la proporción de sílice en una progresión del 10% cada vez, obteniendo así la serie de vidriados HS1 a HSM5. Se puede ver que:

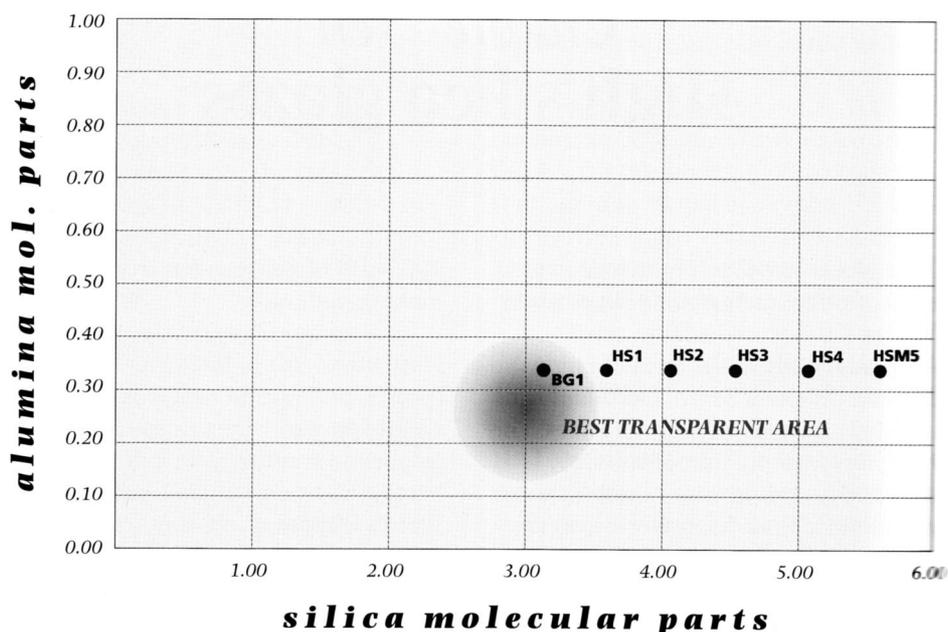
- Al aumentar la proporción de sílice aparecen más *agujeros de alfiler* en la superficie del vidriado.
- La última prueba de la serie (HSM5, es decir, BG1 más un 50% en peso de cuarzo) es de superficie áspera y prácticamente opaco.
- El cuarteado va aumentando a lo largo de la serie.

Se han recalculado fórmula Seger y receta de HSM5 para cuadrar los porcentajes y el resultado es el siguiente:

Vidriado mate alto en sílice HSM5		Fórmula unitaria		
	% peso	fundentes	alúmina	sílice
Feldespato Na	30	0,05 K ₂ O	0,34 Al ₂ O ₃	5,71 SiO ₂
Caolín	4	0,18 Na ₂ O		
Bentonita	1·4	0,57 CaO		
Caliza	11·3	0,19 ZnO		
Óxido de cinc	3·3	0,01 MgO		
Cuarzo	50			
+ 4% Fe ₂ O ₃		Coef. Dilat. = 3·42(-6) ^o C		

La sílice tiene un punto de fusión elevado (1710°C) y, por tanto, no es extraño que si aumentamos su proporción encontremos otra vez vidriados mate. En la práctica, hay pocos ceramistas que utilicen este tipo de vidriados, pues la respuesta al color al añadir óxidos colorantes es bastante sosa. Además, los agujeros de alfiler, el cuarteado y la superficie áspera, tampoco resultan atractivos. Sin embargo, defectos aparte, vidriados como HSM5 tienen una textura que puede resultar interesante para ciertos trabajos escultóricos.

Con esta serie de pruebas nos encontramos un rompecabezas. El añadir sílice a un vidriado es una de las formas de evitar el cuarteado, ya que la sílice tiene un bajo coeficiente de dilatación. Pero en esta serie resulta que según aumentamos la proporción de sílice, no solo aparece el cuarteado sino que la situación es cada vez peor según se incrementa dicha proporción. Éste y otros aspectos del vidriado se tratarán con mayor detalle en el capítulo 12.



Capítulo 11: Representación gráfica y estimación

Los dos principales sistemas analíticos utilizados por los ceramistas para estudiar los vidrios son el análisis porcentual y la fórmula, que se discutieron brevemente en el capítulo tres. Ambos sistemas dicen básicamente lo mismo, la única diferencia es que la fórmula da el número de moléculas y el análisis porcentual el peso de dichas moléculas. Un cálculo sencillo nos permite cambiar de una a otra expresión. En este capítulo reunimos todos los vidriados realizados en los capítulos anteriores y los representamos gráficamente utilizando los dos sistemas.

Relación entre la fórmula unitaria y el análisis porcentual. La fórmula unitaria nos da la

proporción molecular de los óxidos que forman el vidriado, y si multiplicamos por sus respectivos moleculares obtenemos la proporción en pesos de dichos óxidos. Expresado en forma de ecuación:

$$\text{molecules} \times \frac{\text{molecular weight}}{\text{molecular weight}} = \frac{\text{actual weight of oxide}}{\text{molecular weight}}$$

Turning, for example, Base Glaze 1 (BG1) from its unity formula to its percentage weight analysis.

oxides	unity formula		molecular weight	=	actual weight	convert to % weight
K ₂ O	0.05	x	94.20	=	4.71	1.64
Na ₂ O	0.18	x	62.00	=	11.16	3.90
CaO	0.57	x	56.10	=	31.98	11.16
MgO	0.01	x	40.30	=	0.40	0.14
ZnO	0.19	x	81.40	=	15.47	5.40
Al ₂ O ₃	0.34	x	102.00	=	34.68	12.10
SiO ₂	3.13	x	60.10	=	188.11	65.66
					Total	286.51
						100.00

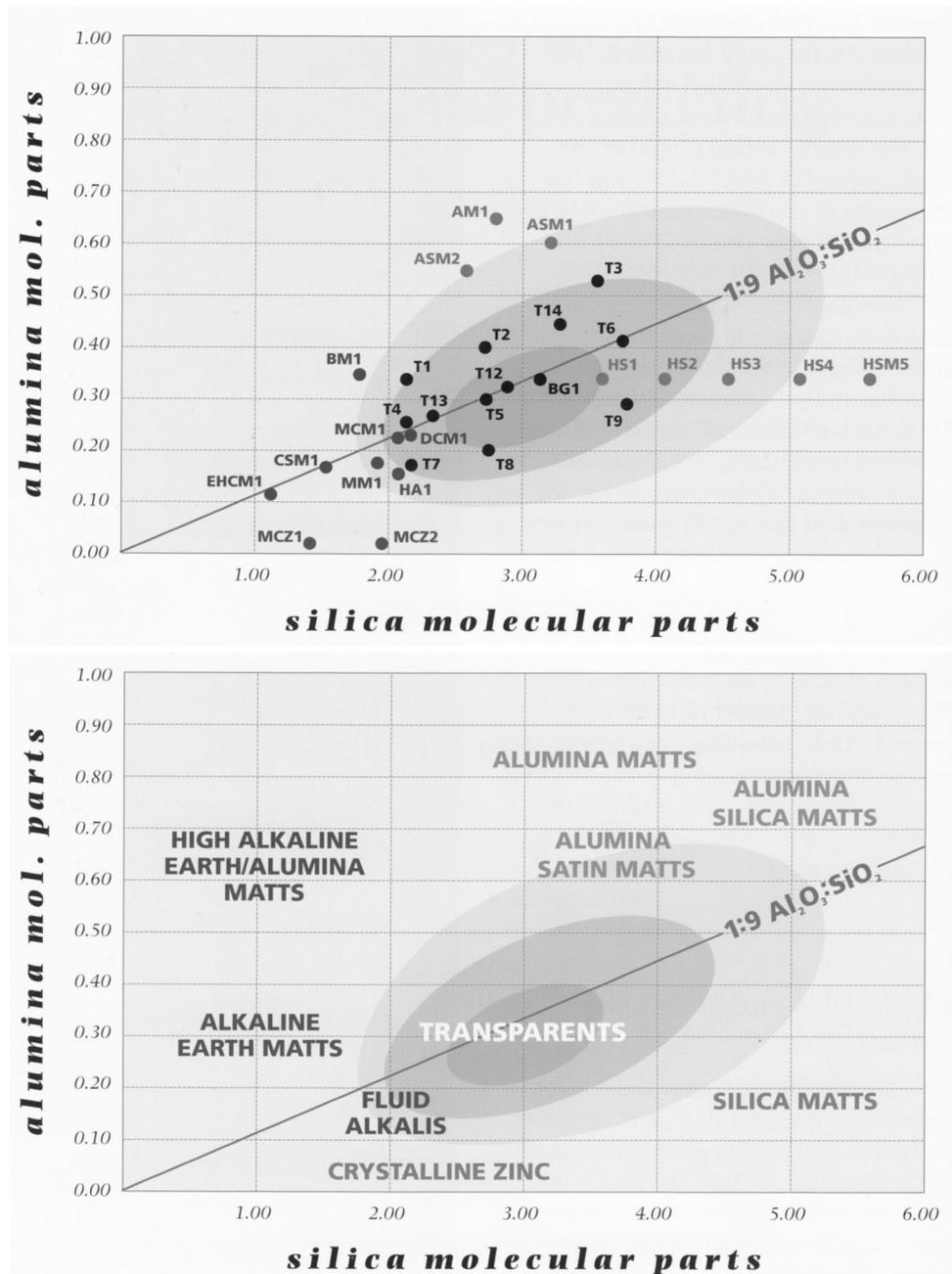
La primera columna es una lista de óxidos, la segunda da los coeficientes de la fórmula Seger para BG1. Los óxidos se multiplican por sus respectivos pesos moleculares, dados en la tercera columna. En la columna cuarta obtenemos los pesos reales de los diferentes óxidos, sumando un total de 286.51, y en la quinta columna tenemos los mismos pesos pasados a porcentaje. (Un observador perspicaz vería que los porcentajes son ligeramente diferentes que los que se dieron para BG1 en el tercer capítulo. La razón es que entonces los redondeos se hicieron con más precisión que ahora, que solo hemos tenido en cuenta dos decimales en la fórmula Seger).

Análisis porcentual a fórmula unitaria. Para pasar de análisis porcentual a fórmula unitaria solo hay que invertir el proceso, es decir, se divide el peso del óxido entre su peso molecular, lo cual nos da el número de moléculas (o moles) presentes. Como ecuación es:

$$\frac{\% \text{ weight of oxide}}{\text{molecular weight}} = \frac{\text{number of molecules to be used in the unity formula}}{\text{molecular weight}}$$

Representación de los vidriados a partir de la fórmula unitaria. La idea es representar gráficamente los puntos dados por los coeficientes de sílice y alúmina de la fórmula de cada vidriado, para todos los vidriados que hemos visto. En la imagen de la página siguiente tenemos dicha representación y, también, una clasificación de las diferentes regiones que se ven en el gráfico.

Debe recalarse que la química de los vidriados es compleja, y la representación de la relación entre sílice y alúmina es solo una parte de la historia. Sin embargo, es una herramienta útil y una ayuda real para entender la relación entre unos vidriados con otros. La segunda gráfica es una interpretación a partir de las pruebas realizadas y otras más.



Resumen. La impresión general es que hay una región central, con forma ovalada y torcida, sobre la que se sitúan los mejores vidriados transparentes. Esta zona está rodeada por otras, en las cuales se incrementa la matidez, opacidad y sequedad del vidriado según nos alejamos de la posición ideal situada, aproximadamente, alrededor de 0,3 Al₂O₃: 3SiO₂.

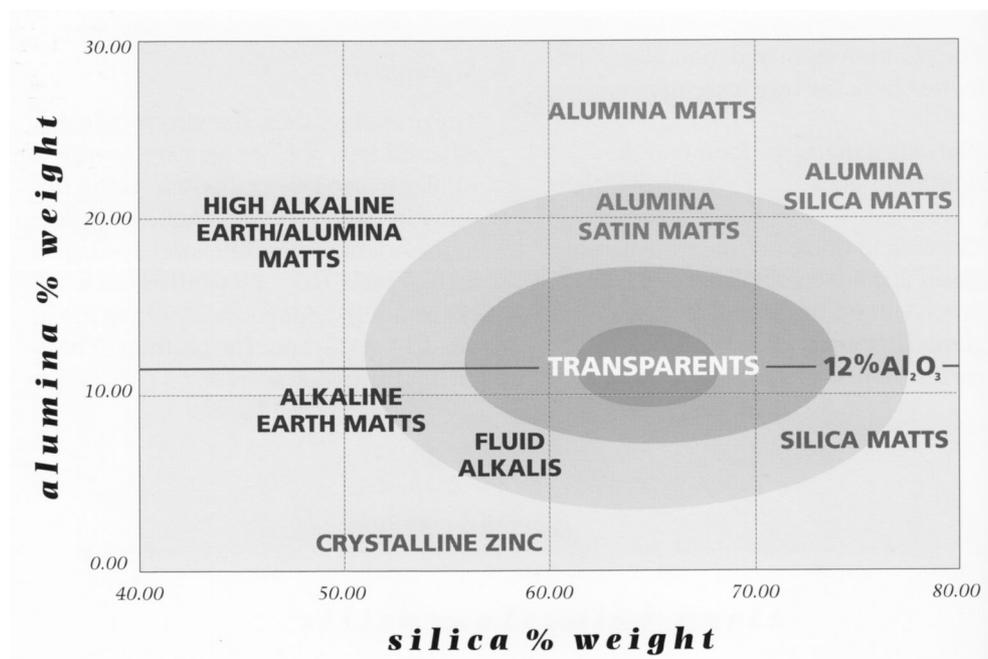
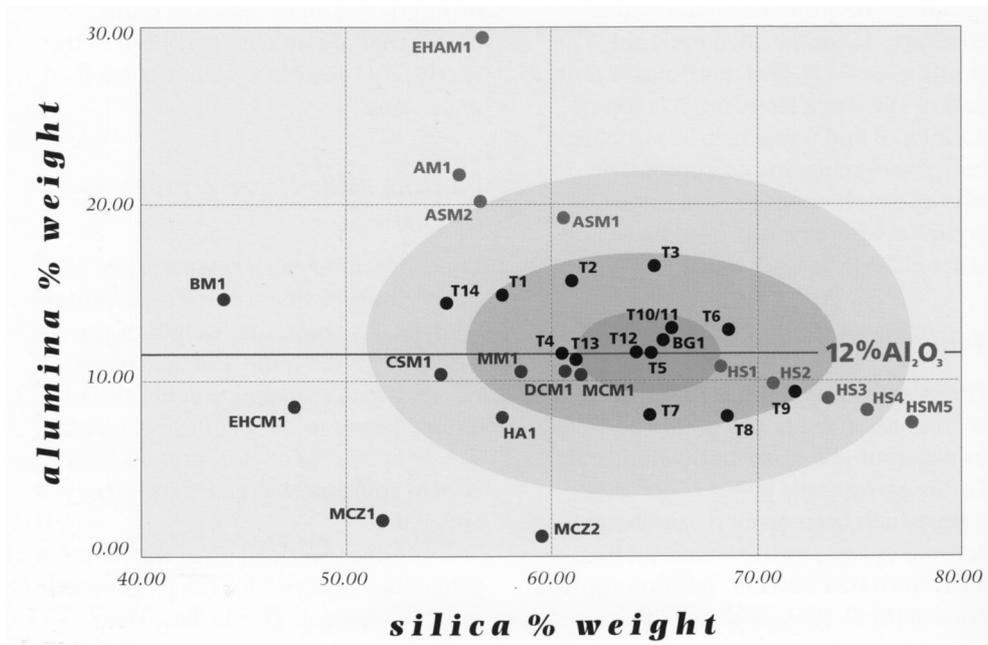
La zona ovalada de vidriados transparentes está centrada, más o menos, alrededor de la línea definida por la pendiente Al₂O₃:SiO₂ 1:9.

Los vidriados satinados y mates de alúmina se sitúan sobre la zona de transparentes.

Los mates por alta proporción de sílice están a mano derecha.

El área a la izquierda de la región de transparencia es más complicada y depende de los fundentes involucrados. Si los vidriados son altos en tierras alcalinas encontramos una transición gradual desde los satinados cristalinos hacia los mates. Si son altos en álcalis cada vez serán más fluidos.

Representación a partir del análisis porcentual. Algunos ceramistas prefieren estudiar los vidriados a partir de las proporciones de pesos. En los siguientes gráficos se representan los mismos datos que en el caso anterior pero teniendo en cuenta la relación en peso de sílice y alúmina en lugar de la relación molar.



Resumen. La pauta del gráfico es muy similar a los anteriores, aunque ahora el óvalo no está inclinado y está centrado sobre la línea horizontal correspondiente al 12-13% de alúmina. Por otra parte la zona ideal de fusión se sitúa sobre el 65% de sílice.

Estimación del tipo de vidriado. A parte del interés teórico sobre la relación entre los diversos vidriados, hay un uso práctico en la representación gráfica de los vidriados. Al colocar un vidriado dado en su posición en el gráfico, seremos capaces de tener una idea sobre su aspecto tras la cocción. Por ejemplo, ¿qué podría esperarse del siguiente vidriado?

UG1 Vidriado desconocido para cono 6

	% peso
Nefelina sienita	50
Caolín	20
Caliza	25
Óxido de cinc	5
+ Óxido de Cu	2

Para situar este vidriado sobre el gráfico necesitamos calcular la fórmula Seger, o bien el análisis porcentual. Son los siguientes:

Óxidos	% peso	Fórmula unitaria		
		fundentes	alúmina	sílice
SiO ₂	46·53	0,07 K ₂ O	0,43 Al ₂ O ₃	1,56 SiO ₂
Al ₂ O ₃	21·63	0,20 Na ₂ O		
ZnO	5·79	0,58 CaO		
CaO	16·22	0,15 ZnO		
Na ₂ O	3·46			
K ₂ O	3·46			

Estimación sobre el vidriado desconocido 1. Si nos fijamos en la posición del par sílice:alúmina sobre los gráficos, vemos que no está situado sobre ninguna región bien definida, estaría más o menos a medio camino entre los mates de alúmina y los mates por tierras alcalinas. El 2% de cobre daría un verde medio, pero la calidad mate del vidriado atenúa el color, quizás tendría un ligero tono verde y sería opaco y mate. Poco más se puede decir, en realidad no sabemos que tono de verde será ni el tipo de matidez u opacidad. Al final siempre será necesario hacer alguna muestra.

A continuación se dan otros vidriados desconocidos. En realidad, solo se dan los coeficientes de sílice y alúmina. ¿Qué se puede predecir de los gráficos?

	Proporciones moleculares	%peso
	Al ₂ O ₃ :SiO ₂	Al ₂ O ₃ :SiO ₂
UG2	0,70:4,00	18,97:63,37
UG3	0,30:3,00	11,12:65,29
UG4	0,20:1,50	11,55:51,49

Estimación para UG2, UG3 y UG4. UG2 cae claramente en la región de los mates de alúmina, justo en la zona en que los satinados se tornan mates.

UG3 tiene los coeficientes correspondientes a la fusión óptima.

UG4 parece más difícil de predecir. La predicción de cualquier vidriado por este método dependerá también de los fundentes utilizados, pero en este caso de vidriado bajo en sílice y también bajo en alúmina es especialmente peliagudo. Dependiendo de si los fundentes fuesen tierras alcalinas o álcalis podría ser un vidriado mate o brillante, transparente y, seguramente, demasiado fluido, respectivamente.

Lección 12: Ajuste de los vidriados

Las diferencias de volumen que ocurren al variar la temperatura son clave para comprender la unión entre cuerpo y vidriado. Una pieza de cerámica siempre sufre las vicisitudes de su entorno, y las variaciones de temperatura causan dilataciones y contracciones, tanto en la pasta como en el vidriado. El problema al que debe enfrentarse el ceramista es que pasta y vidriado tienen distintos hábitos de dilatación y contracción. El primer reto es lograr que, una vez enfriados tras la cocción, el cuerpo cerámico y el vidriado que lo cubre tengan el mismo tamaño. De hecho, lo ideal sería que el cuerpo hubiese encogido ligeramente más, para que el vidriado quede sometido a un pequeño esfuerzo de compresión, que es preferible a un esfuerzo de tensión. Si no, las diferencias de tamaño producen una fuerza excesiva y alguna de las partes acaba cediendo. Normalmente es el vidriado. El buen ajuste de los vidriados es especialmente importante a la hora de hacer objetos utilitarios, ya que cuando los vidriados se acoplan de forma óptima sobre el cuerpo cerámico el conjunto es más resistente. Las vajillas con el vidriado agrietado son más endebles. Para apreciarlo basta con

escuchar el sonido que se produce al golpear con la uña sobre un borde de la pieza. Un buen cacharro produce un buen timbre, mientras que otro con el vidriado craquelado tendrá un sonido más sordo. Sin embargo, hay ocasiones en las que el agrietado se busca por estética, e incluso se puede intentar influir sobre el espaciado que forma el mismo. Las curvas de dilatación son útiles al tratar de predecir el ajuste entre pasta y vidriado. La magnitud que suele utilizarse para estos juicios es el *coeficiente de dilatación* del vidriado.

Medida de la dilatación térmica

La mayoría del trabajo de base sobre la expansión térmica se realizó durante los primeros años del siglo XX. Cuando David Hewitt y el autor investigaron para su artículo “Calculating Crazing”, publicado en los nº 113&114 de *Ceramic Review*, encontraron una docena de listas elaboradas por diversos trabajadores de la materia, y probablemente más. Todos ellos daban valores diferentes para los coeficientes de expansión y ninguno cubría todo el rango de los óxidos utilizados en los vidriados cerámicos. Sin embargo, había un acuerdo mayoritario al ordenar los óxidos en términos relativos, según cuales tuviesen un coeficiente de expansión mayor o menor. La lista de los coeficientes de expansión utilizados para hacer los cálculos de este libro se da en la tabla siguiente. Es ésta una tabla híbrida, ya que los datos provienen de diversas fuentes, pero predominantemente de los datos proporcionados por *English and Turner*.

Coefficient of expansion figures for the ceramic oxides. English & Turner & Appen (hybrid) x 10 ⁻⁶ /°C linear.		
oxide	symbol	coefficient of expansion
Boric	B ₂ O ₃	-0.065
Silica	SiO ₂	0.005
Alumina	Al ₂ O ₃	0.014
Zirconia	ZrO ₂	0.023
Copper	CuO	0.030
Tin	SnO ₂	0.037
Magnesium	MgO	0.045
Cobalt	CoO	0.050
Nickel	NiO	0.050
Red iron	Fe ₂ O ₃	0.050
Black iron	FeO	0.055
Chrome	Cr ₂ O ₃	0.057
Manganese	MnO ₂	0.057
Zinc	ZnO	0.070
Lithium	Li ₂ O	0.075
Lead	PbO	0.106
Titanium	TiO ₂	0.106
Barium	BaO	0.140
Calcium	CaO	0.163
Potassium	K ₂ O	0.390
Soda	Na ₂ O	0.416

Uso del coeficiente de dilatación como guía sobre el ajuste del vidriado

La manera de predecir si un vidriado se ajustará bien sobre una pasta es calcular el coeficiente de expansión del vidriado; cuanto mayor sea este, más probable es que el vidriado se agriete, y viceversa. Aunque también, cuanto menor es el coeficiente de dilatación, más probable es el desconchado del vidriado. Los valores extremos están cercanos a los siguientes límites, inferior y superior, respectivamente: $0,2 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ y $15 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$. La mayoría de los vidriados estarán comprendidos entre $2 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ y $9 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$. 10^{-6} es una notación matemática para expresar la millonésima parte de algo. El coeficiente de dilatación expresa el incremento lineal de la medida cuando se calienta el vidriado. Así, por ejemplo, si se mide en metros, un vidriado con un coeficiente de expansión de $3 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ se expandirá en promedio 0,000003 m por cada metro de longitud y por cada grado de temperatura. Lo mismo vale para contracciones en caso de enfriamiento.

Cálculo del coeficiente de expansión de un vidriado

La medida puede obtenerse con una máquina llamada *dilatómetro*, que representa gráficamente la dilatación del material (sea arcilla o vidriado) desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de reblandecimiento, aproximadamente a 500°C . Sin embargo, como los ceramistas no suelen tener acceso a un equipo tan caro, el coeficiente de dilatación ha de calcularse a partir de los datos de los óxidos individuales. Este es un proceso bastante sencillo y se basa en el análisis porcentual del vidriado. Simplemente, hay que multiplicar el peso relativo de cada óxido por su coeficiente de expansión y sumarlos todos para obtener el total. En el siguiente apartado vemos un par de ejemplos.

Calculando el coeficiente de expansión. Dos ejemplos

1. Vidriado mate de magnesio, MM1

oxide	% weight	x	coefficient	=	coefficient of glaze
SiO ₂	58.31	x	0.005	=	0.291
TiO ₂	0.01	x	0.106	=	0.001
Al ₂ O ₃	10.68	x	0.014	=	0.149
Fe ₂ O ₃	0.23	x	0.050	=	0.011
CaO	10.12	x	0.163	=	1.649
MgO	9.62	x	0.045	=	0.433
ZnO	5.92	x	0.070	=	0.414
K ₂ O	1.56	x	0.390	=	0.608
Na ₂ O	3.55	x	0.416	=	1.477

Coefficient of expansion of glaze = 5.033

2. Vidriado alto en álcalis, HA1

oxide	% weight	x	coefficient	=	coefficient of glaze
SiO ₂	58.21	x	0.005	=	0.291
TiO ₂	0.21	x	0.106	=	0.022
Al ₂ O ₃	8.03	x	0.014	=	0.112
B ₂ O ₃	1.92	x	-0.065	=	-0.125
Fe ₂ O ₃	0.20	x	0.050	=	0.010
CaO	6.46	x	0.163	=	1.053
MgO	0.06	x	0.045	=	0.003
ZnO	5.23	x	0.070	=	0.366
K ₂ O	9.22	x	0.390	=	3.596
Na ₂ O	9.80	x	0.416	=	4.077
LiO	0.85	x	0.074	=	0.063

Coefficient of expansion of glaze = 9.468

Cuarteado o craquelado (*crazing*)

El cuarteado es la consecuencia de un vidriado que es demasiado pequeño para el cuerpo que lo sostiene o, visto de otra manera, un cuerpo cerámico demasiado grande para el vidriado que lo cubre. El cuerpo cerámico normalmente es más grueso y resistente que el vidriado y, por tanto, es este último el que cede. El cuarteado no tiene por qué ocurrir desde el primer momento, sino que las primeras líneas de fractura pueden presentarse al cabo de semanas o incluso meses. El cuarteado suele ocurrir primero en una línea larga, que suele denominarse *primaria*, y después van apareciendo otras líneas secundarias que forman la figura característica de los vidriados cuarteados.

Desconchado (*shivering*)

El desconchado es lo opuesto al cuarteado. Con este defecto el vidriado es demasiado grande para el cuerpo. Pueden saltar esquirlas de vidriado fuera del cuerpo, sobre todo en las aristas e irregularidades. Lo único bueno de este defecto es que suele ocurrir en un tiempo muy cercano a la salida de los cacharros del horno, unos o dos días como mucho.

Agrietado (*dunting*)

Las piezas pueden agrietarse en el horno, sobre todo a consecuencia de bruscas dilataciones o contracciones, pero es un problema menor a la temperatura del cono 6 que a otras temperaturas mayores. Sobre todo, suele afectar a piezas de pared finas con elevado contenido de hierro y sílice.

Evitar el cuarteado y el desconchado

Para evitar el cuarteado hay dos maneras evidentes de proceder: hacer un vidriado más grande respecto al cuerpo, o hacer un cuerpo más pequeño respecto al vidriado. Para evitar el desconchado la manera de proceder será justo la inversa.

Disminuir la contracción del vidriado

Se trata de sacar de la composición los óxidos de mayor coeficiente de dilatación, sustituyéndolos por otros de menor coeficiente de dilatación. Claramente, los óxidos de sodio y potasio son los principales candidatos a salir del vidriado, siendo sustituidos, quizás, por óxido de litio y/o óxido de cinc.

Otras posibles estrategias son:

- Añadir magnesio en lugar del calcio.
- Elevar el caolín en la receta (lo cual aumenta la alúmina y la sílice, ambos de bajo coeficiente de dilatación).
- Disminuir la relación elementos alcalinos vs. Alcalinotérreos.
- Añadir sílice.
- Utilizar el boro.

Sin embargo, independientemente de lo que se haga, vamos a cambiar el vidriado. Es casi imposible corregir la dilatación del vidriado sin alterarlo de alguna otra manera. Y el resultado inevitable es un nuevo vidriado de diferentes características. A menos que haya razones decisivas, es mejor cambiar el cuerpo cerámico y/o la curva de cocción antes que modificar el propio vidriado.

Aumentar la contracción del cuerpo cerámico

El método habitual es probar pastas con mayor proporción de sílice libre que la que ha originado el problema de cuarteado. La razón para ello es que cuando la cocción alcanza alrededor de los 1100°C, la sílice libre comienza a transformarse en cristobalita. Ésta tiene la afortunada propiedad de contraerse un 3% cuando durante el enfriamiento, a los 226°C, cambia de fase beta a fase alfa. La súbita contracción de la cristobalita puede ser suficiente para prevenir el cuarteado.

El otro remedio que se puede intentar, sobre todo si el cuarteado es ligero, es reducir la velocidad de calentamiento del horno desde los 1100°C en adelante, ya que permaneciendo por encima de 1100°C durante más tiempo se incrementa la conversión del cuarzo libre que haya a cristobalita y,

por tanto, el “apretón” producido por la cristobalita durante el enfriamiento.

Cuarteado por la humedad

Cuando se han encontrado cuerpo y vidriado que se adaptan bien entre si, la siguiente pregunta es si la cosa seguirá bien para siempre. La adsorción y absorción de agua por el cuerpo es un problema, en particular, en la cerámica de cocina y de mesa o en las fuentes y adornos de estanques. En realidad, casi toda la cerámica se queda sin vidriar en el anillo que le sirve de base y, si el cuerpo es poroso, puede absorber agua por capilaridad. Esto provoca la expansión del cuerpo lo cual, a su vez, puede derivar en el cuarteado del vidriado. Este defecto se conoce como “cuarteado por humedad”. Si queremos evitar este problema, debemos utilizar un cuerpo menos poroso. O modificamos la pasta, o la sometemos a una temperatura mayor para disminuir la porosidad.

Excepciones a la norma

Leyendo algunos libros de cerámica uno se queda con la idea de que hay una manera única de tratar el problema de la cohesión entre cuerpo y vidriado pero, en realidad, la cuestión no es tan simple y hay varias excepciones.

Porcelana y otros cuerpos con fundentes

En estos cuerpos, ocurre con frecuencia que el cuarteado aumenta si aumentamos el calor, bien sea aumentando la temperatura máxima o prolongando el tiempo de cocción, lo cual es contrario a lo previsible. La razón es que la sílice libre se combina con los fundentes del cuerpo, formando una masa vítrea en lugar de la cristobalita. De modo que no hay *apretón* por la cristobalita y el cuerpo permanece demasiado grande para el vidriado.

Óxidos colorantes como agentes anti-cuarteado

Cuando añadimos a un vidriado algún pequeño porcentaje de óxido colorante, el coeficiente de dilatación varía poco. Por ejemplo, el coeficiente de dilatación de la base BG1, con y sin un 2% de CuO es el siguiente: base sola, 5·01; y base con el 2% de CuO, 4·96. O añadiendo un 1% de CoO ni siquiera hay cambio apreciable. A pesar de ello, añadiendo estas pequeñas cantidades de óxidos colorantes, es posible lograr que un vidriado ligero o incluso moderadamente cuarteado, deje de estarlo. El hecho se explica porque estos óxidos colorantes refuerzan la estructura del vidriado a nivel molecular. Es decir, ocurre que mejora la resistencia a la tensión del vidriado aunque el su coeficiente de expansión apenas varíe.

El cuarteado en los vidriados con mucha sílice

Este es un caso en el que no valen las predicciones a partir del cálculo del coeficiente de dilatación. Con la excepción del óxido de boro, B₂O₃, la sílice es el óxido cerámico con el coeficiente de dilatación más bajo. Añadiendo sílice al vidriado, debe disminuir el coeficiente de dilatación. Sin embargo, si partimos del vidriado BG1 y vamos incrementando la sílice un 10% cada vez, podremos ver como aumenta progresivamente el cuarteado del vidriado. Para entender lo que ocurre hay que considerar las inversiones de la sílice. El exceso de sílice no se integrará en la estructura amorfa del vidriado sino que permanecerá como cuarzo o cristobalita libre, y sufrirá las contracciones características durante el enfriamiento, a 573°C el cuarzo y 226°C la cristobalita, lo cual provocará mayor contracción del vidriado.

Test sobre ajuste del vidriado

El desconchado aparece a las pocas horas o días de la salida del horno. A parte de las esquirlas visibles que puedan saltar del cacharro, un desconchado leve puede apreciarse a la lupa en las aristas y asas. En un vidriado transparente, por ejemplo, aparecen como parches plateados u opalescentes.

El cuarteado, en cambio, puede aparecer tras meses o años. Está claro que no sería práctico esperar tanto tiempo antes de poner las piezas en el mercado. Pero hay algún test más inmediato que se

puede probar con los cacharros. Consiste en someterlos a una *tortura* de choque térmico. Conviene vestir ropa adecuada y protección ocular al realizar estas pruebas. Una consiste en calentar la probeta a 180°C para remojarla inmediatamente con agua fría, otra en dejarla un día en el congelador y echarle después encima agua hirviendo. Ambos métodos aceleran la aparición del craquelado y nos dan pistas sobre el comportamiento futuro del vidriado.

Una ausencia de craquelado, sin embargo, es solo una indicación de que el vidriado está sometido a compresión por parte del cuerpo, y podría ser necesario saber si dicha compresión es de suficiente magnitud como para romper el cuerpo cerámico. La siguiente prueba (ofrecida por Ron Roy) está diseñada para determinar si las fuerzas de compresión son excesivas para el cuerpo cerámico.

Prueba de choque térmico

Se hacen algunos cilindros de unos 15cm de altura y la mitad de diámetro, dejando el espesor algo más fino de lo que sea habitual. Se vidria solo el interior del cilindro aplicando una capa un poco más gruesa de lo normal. Si los cilindros no se han roto tras la cocción del vidriado, se meten durante 24 horas en el congelador y, si todavía no se han roto, se les echa agua hirviendo por encima mientras están todavía helados. Si aguantan estas pruebas, podemos quedarnos tranquilos porque nuestros cacharros no se quebrarán cuando se vierta sobre ellos el agua hirviendo para el té.

Resumen

El uso de los coeficientes de expansión es una buena ayuda para saber cómo se ajustará un vidriado sobre una determinada pasta. Probando diferentes vidriados sobre un cuerpo cerámico podremos delimitar en que rangos aparece y desaparece el cuarteado y, quizás, también el craquelado. Por ejemplo, en el cuadro inferior se muestran los resultados para una serie de vidriados transparentes cocidos al cono 6, con un amplio abanico de coeficientes de expansión, aplicados sobre tres pastas diferentes.

Sin embargo, este no es un tema sencillo y, como tantas otras veces en cerámica, hay que tener en cuenta una serie de excepciones.

Glaze fit description over three clay bodies			
Coefficient of expansion x 10 ⁻⁶ /°C linear.	A high-silica body 70.0% SiO ₂	A mid-silica body 63.0% SiO ₂	A low-silica body 55.0% SiO ₂
0	shivered	good fit	good fit
1	shivered	good fit	good fit
2	good fit	good fit	good fit
3	good fit	good fit	good fit
3	good fit	good fit	slight crazing
4	good fit	good fit	crazed
5	good fit	slight crazing	crazed
6	good fit	crazed	crazed
7	good fit	crazed	crazed
8	slight crazing	crazed	heavily crazed
9	crazed	crazed	heavily crazed
10	crazed	heavily crazed	heavily crazed