

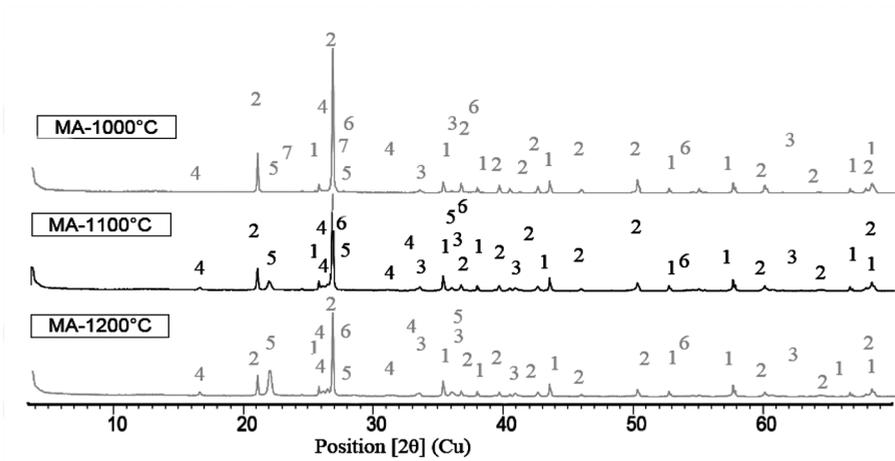
CAPÍTULO V

EFFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DEL NUTRIENTE TECNOLÓGICO SOBRE LA MICROESTRUCTURA DEL MATERIAL CERÁMICO SELECCIONADO (CT10)

Una vez seleccionada la pasta cerámica con presencia de 10% de ceniza volante como el material que permite obtener un buen comportamiento en las propiedades tecnológicas del cerámico respecto a la pasta patrón (MA100), se procedió a establecer qué sucede a nivel de microestructura en los materiales obtenidos a medida que se incrementa la temperatura. Este análisis ha sido propuesto a fin de llegar explicar parte del comportamiento obtenido por los materiales en las pruebas físico-cerámicas presentadas en el apartado de anterior.

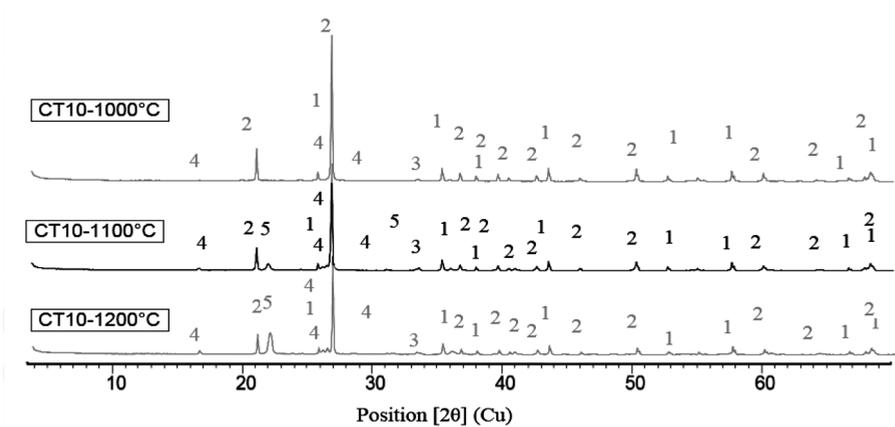
Los cambios a nivel microestructural fueron seguidos mediante el uso de la técnica de difracción de rayos X. Los resultados son presentados en las figuras 51 y 52. La cuantificación mediante refinamiento Rietveld es presentada en la tabla 35.

Figura 51. Patrón de difracción de rayos X del material arcilloso



1) corundum; 2) quartz; 3) hematite; 4) mullite; 5) cristobalite; 6) rutile; 7) microcline

Figura 52. Patrón de difracción de rayos X con la adición del 10% de cenizas volantes



1) corundum; 2) quartz; 3) hematite; 4) mullite; 5) cristobalite; 6) rutile; 7) microcline

Tabla 35. Composición microestructural de los materiales cerámicos MA100 y CT10 a diferentes temperaturas (%peso)

Fase	MA100			CT10		
	1.000 °C	1.100 °C	1.200 °C	1.000 °C	1.100 °C	1.200 °C
Cuarzo	60,2	42,3	34,6	50,1	57,7	42,9
Hematita	3,4	2,7	2,9	2,4	3,4	1,7

Fase	MA100			CT10		
	1.000 °C	1.100 °C	1.200 °C	1.000 °C	1.100 °C	1.200 °C
Rutilo	1,0	0,8	0,8	0,6	0,5	0,5
Microclina	1,0	0,0	0,0	1,5	0,4	
Mullita	2,5	22,6	25,4	3,2	22,9	24,8
Cristobalita baja (760938)	0,5	7,1	4,5	0,0	8,5	4,5
Cristobalita baja (760941)	0,0	0,7	18,4	0,0	0,0	22,8
Moscovita	0,0	0,0	0,0	1,8	0,0	0,0
Cristalinos	68,6	76,2	86,6	59,6	93,4	97,2
Amorfos	31,4	23,8	13,4	40,4	6,6	2,8

De la información presentada en las figuras 51 y 52 y en la tabla 35 se puede evidenciar que existen algunos aspectos que conllevan a sugerir que hay diferencias en el mecanismo de reacción a altas temperaturas entre ambos tipos de pastas cerámicas (MA y CT10). El aspecto más diferenciador entre ambos cerámicos obtenidos se da por la velocidad de transformación de la fase amorfa acorde con las tres temperaturas de evaluación.

Se evidencia en la tabla 35 cómo para el cerámico elaborado con solo material arcilloso (MA) existe una velocidad más lenta de transformación de la fase amorfa en comparación con el material con presencia de ceniza volante. A los 1.000 °C es notoria una mayor concentración de fase amorfa en el material CT10 respecto a MA, lo cual resulta lógico debido a que la ceniza volante contiene un alto contenido de fase sólida no cristalina (rica en silicio acorde con la información de la tabla 23).

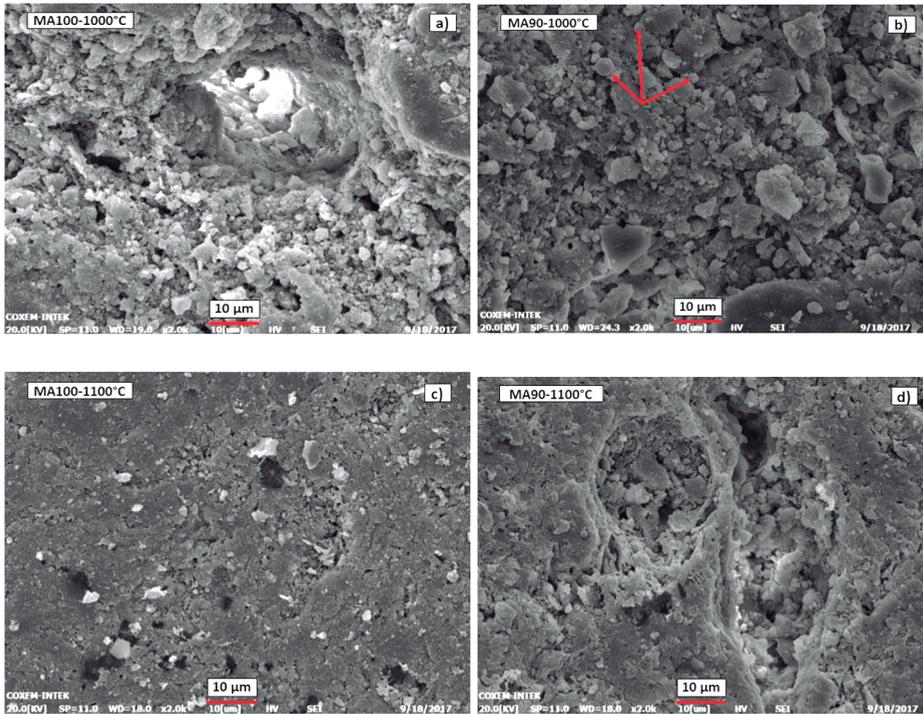
A temperaturas superiores es donde se dan los cambios. Al respecto, se podría pensar que la formación de fase vítrea (estado vítreo) parece tener alguna influencia en la velocidad de transformación de la fase amorfa hacia fase cristalina. En la tabla 35 se aprecia un incremento en el contenido de cuarzo en el cerámico (CT10) a los 1.100 °C, así como la aparición de cristobalita de baja temperatura en reemplazo de la fase amorfa de la ceniza rica en silicio. De igual manera, a los 1.200 °C se observa cómo se incrementa la cantidad de cristobalita en el material. En este último caso, su formación podría provenir de la fase amorfa residual identificada en 1.100 °C o de la transformación del cuarzo, que como se aprecia en la información de la misma tabla pasó de 57,7% a 42,9%; incluso podría provenir

del proceso de recristalización de la fase vítrea originada a partir de los minerales arcillosos identificados (caolinita y moscovita especialmente). Este último evento de recristalización también se ve reflejado en el aumento del contenido de mullita en el cerámico elaborado con la pasta CT10.

A partir del análisis realizado se puede llegar a realizar algunas correlaciones entre la microestructura del cerámico y las propiedades tecnológicas del material. El principal aspecto está asociado a una temperatura límite donde el proceso de recristalización es tan alto que afecta las propiedades del cerámico. Acorde con los resultados obtenidos en el apartado anterior, temperaturas de cocción superiores a los 1.150 °C no favorecen la resistencia mecánica a la flexión y a la abrasión profunda de los cerámicos (ver tablas 31 y 32). Estudios posteriores deberían desarrollarse a fin de encontrar el punto óptimo donde la cantidad de fase amorfa (vítrea en este caso) y cristalina, especialmente de mullita (ISO/TS 14067:2015) actúan de forma sinérgica para mejorar las propiedades tecnológicas del cerámico. Este comportamiento fue observado casi en todos los residuos utilizados en este trabajo; por tanto, se podría llegar a pensar que este comportamiento estaría influenciado por la composición mineralógica del material arcilloso.

A fin de obtener información adicional que permita explicar los resultados físico-cerámicos obtenidos para los cerámicos elaborados con el material MA y CT10, se empleó la técnica de microscopía electrónica de barrido a fin de adquirir información topográfica y morfológica de los cerámicos a diferentes temperaturas. Los resultados son presentados en la figura 53.

Figura 53. Microscopia Electrónica de barrido para MA100 and MA90 a diferentes temperaturas (2000X)



En relación con los resultados de microscopia electrónica de barrido, en la figura 53 se puede apreciar cómo la topografía del cerámico se ve afectada por la temperatura de cocción. Un efecto similar se da para los aspectos morfológicos, especialmente en la modificación de las partículas esféricas características de la ceniza volante (ver figura 53).

En concordancia con los resultados de DRX, se evidencia que en 1.000 °C aún persiste esta morfología esférica, que suele ser de carácter amorfo para el cerámico con inclusión de ceniza volante (figura 53 derecha, representado con el número b), pero arriba de 1.100 °C parecen no ser evidentes. Este material presenta similitudes de tipo topográfico al ser comparado con el cerámico elaborado con solo material arcilloso (ver figura 53).

A 1.100 °C se evidencia cómo el cerámico elaborado con solo material arcilloso adquiere un mayor grado de densificación producto de la formación de fase vítrea. Aun así, se llega a observar que todavía hay porosidad a nivel de superficie, con poros con tamaños de hasta 5 μm.

En relación con el cerámico de CT10, cocido a 1.100 °C, aunque se evidencia que el material ha incrementado la sinterización de los granos y que hay mayor grado

de vitrificación, también se logró observar la presencia de una gran cantidad de poros de tamaño inferior a $1\ \mu\text{m}$ en el material. Este incremento de la porosidad posiblemente esté correlacionado a la recristalización de la fase amorfa conforme al análisis de DRX realizado. Este hecho también permite explicar los mayores valores de absorción de agua y la pérdida de resistencia mecánica arriba de los $1.150\ ^\circ\text{C}$ descritos en el apartado anterior.