



VII. ANÁLISIS DE RESULTADOS



VII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

7.1. TAMAÑO DE PARTÍCULA

El tamaño de partícula juega un papel muy importante durante todo el proceso, ya que está involucrado directamente con el coeficiente de difusividad efectivo, tanto en el secado, como en el O_2 que permita la oxidación del material orgánico.

El tamaño de grano también tiene su efecto en la fusión de los óxidos ya que al estar más fina la partícula, la interacción entre los óxidos puede ser mayor y más rápida. El tamaño de grano para las arenas – sílicas se describe en la siguiente tabla:

Diámetro de partícula (mm)	Arenas - sílicas		
	1	2	3
0.752>			20.34
0.6405			30.3
0.476	26.75	7.41	20.77
0.37	25.47	32.41	16.23
0.2855	11	19.23	5.19
0.1905	24.25	27.74	4.97
0.127<	12.5	13.18	2.16
Suma	99.97	99.97	99.96

Tabla III. Diámetro de grano para las arenas sílicas.



El tamaño promedio de partícula para la arena 1 es de 0.315 mm., para la arena 2 es de 0.279 mm., y para la arena 3 es 0.532 mm.

Como se puede observar la arena – sílica 3, es la que presenta el mayor diámetro de partícula, y por el contrario las arena 2, la que tiene el menor diámetro. Esto repercute en las difusividades y en la fusión de los óxidos como se vera en los siguientes análisis.

7.2. ANÁLISIS EN LA RELACIÓN DE ÓXIDOS EN LAS ARENAS – SÍLICAS

Con base en la sección 5.3, y retomando la tabla de la fórmula unitaria para cada arena – sílica, vemos que la relación de moles de dióxido de silicio comparado a 1 mol de fundentes, es muy alta, ya que para la arena – sílica 1, tenemos una relación de 1 mol de fundentes contra 21.64 moles de SiO_2 para la arena 2, 1 mol a 11.67 y para la arana 3, la relación es aún es mayor, 1 a 32.69, moles.

Como se puede ver en la figura 6, de la sección 5.3.1., entre mayor es la cantidad de sílice, mayor es la temperatura a la que se tiene que someter dicha mezcla para alcanzar su maduración, se entiende por esto, la fusión de todos los óxidos de la mezcla, para formar una pasta homogénea. Como el objetivo es encontrar una mezcla que se pueda utilizar en la fabricación



del ladrillo artesanal, nos tenemos que adaptar a las temperaturas que ellos manejan, así que debe tenerse un cuidado especial en el manejo de las arenas tomando en cuenta la proporción de óxidos con la que estas cuentan. La arena – sílica 2 aunque tiene una relación menor entre fundentes y SiO_2 , el contenido de carbón en esta arena es el más alto, lo que provoca en general, un aislamiento entre los óxidos fundentes, no promoviendo una buena fusión entre ellos. Por otro lado el pequeño tamaño de partícula (tabla 3), de las arenas 1 y 2, favorece una mayor interacción entre los óxidos.

7.3. DIFUSIÓN Y PÉRDIDAS POR COMBUSTIÓN

Uno de los problemas a resolver fue la gran cantidad de carbón mineral que se presentaba en el material terminado, ya que al partir el ladrillo a la mitad se observaba un anillo grueso de color negro que abarcaba más del 50% del centro, el cual disminuía a tonos grises, para terminar en la superficie, es decir el anillo más externo con el color tradicional del ladrillo.

El carbón al presentarse en abundante cantidad, contamina el producto haciendo que los óxidos presentes no tengan un contacto adecuado durante la fusión, perjudicando la homogeneidad de la nueva pasta que dará el producto final.



Como se explicó en la sección 5.2.4.2, las pérdidas por combustión son un fenómeno de difusión en estado dinámico, que involucra la reacción de oxidación del carbón en fase heterogénea. La difusión del O₂ se lleva a través de los poros de la matriz arcillosa, (difusividad de Knudsen), entre más grande sea el poro mejor y más rápida será la difusión en esta etapa del proceso. La oxidación de este material toma lugar entre los 300 y 600 ° C, periodo en el cual las pérdidas por combustión llegan a su máximo, pues con la aproximación de la mezcla a los 700 ° C aproximadamente, aparece la fusión de los óxidos y con ello las reacciones en fase líquida, lo que hace que el tamaño de poro disminuya a tal grado que la difusión es cero.

El contenido de carbono disminuirá conforme mayor sea el tiempo entre 300 y 600 ° C, o bien aumentando el tamaño de poro, esto se logra mezclando partículas de mayor tamaño, pero existe un límite pues al aumentar el diámetro de partícula, se provoca una menor cohesión entre los óxidos fundentes haciendo que el contacto entre ellos disminuya, esto se manifiesta en un producto que se desgrana fácilmente.

Como se puede ver en la figura 9, la efectividad de las mezclas en las pérdidas por combustión que involucra la arena - sílica 3, es mayor que las que involucran las arenas 1 y 2.

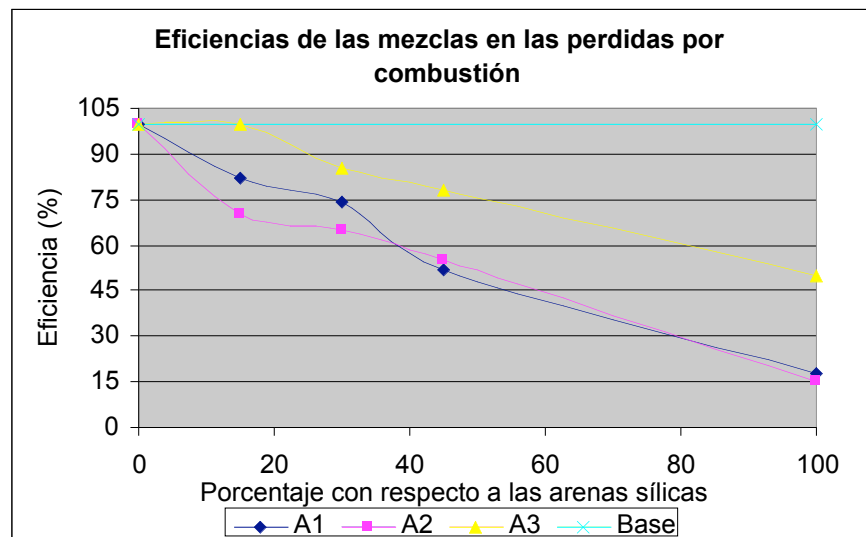


Figura 9. Eficiencia de la mezcla en las pérdidas por combustión

Esto se explica debido a que el tamaño de partícula (tabla 3) para la arena 3 es mayor, aumentando el tamaño de poro y con ello la difusividad, esto lleva a una disminución en la resistencia a la compresión como se vera en la figura 16. Hay que considerar que la arena 3, debido a su relación tan alta de óxidos fundentes con sílice, provocan una pasta inmadura para la temperatura que se esta manejando.

Observando la figura 9, las mejores eficiencias de mezcla se logra utilizando, arenas 1 y 2 en porcentajes de 15 y 30 %, sin bajar su resistencia a la compresión.

7.4. LA DENSIDAD



Como se puede observar en las figuras 10 y 11, las mayores densidades las presentan los experimentos que contienen la arena 3, sin embargo estas mismas presentan una menor resistencia a la compresión, lo que se debe a la alta relación de fundentes con respecto al SiO₂.

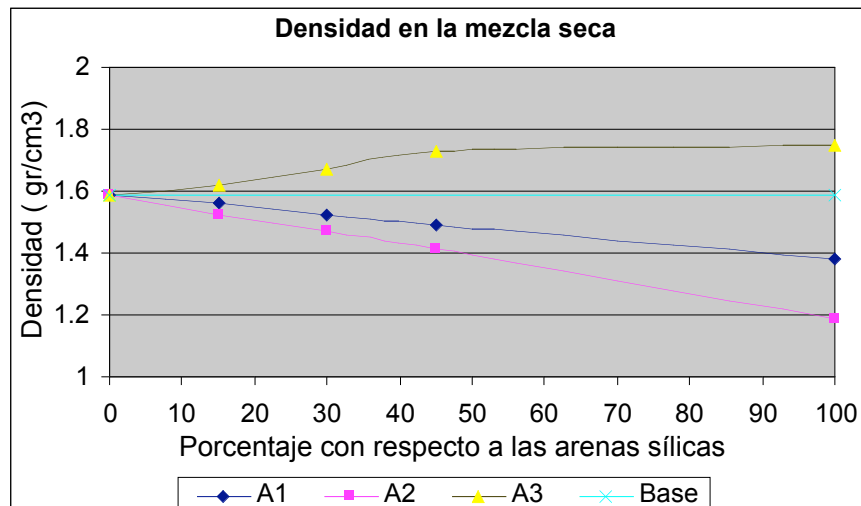


Figura 10. Densidad en la mezcla seca

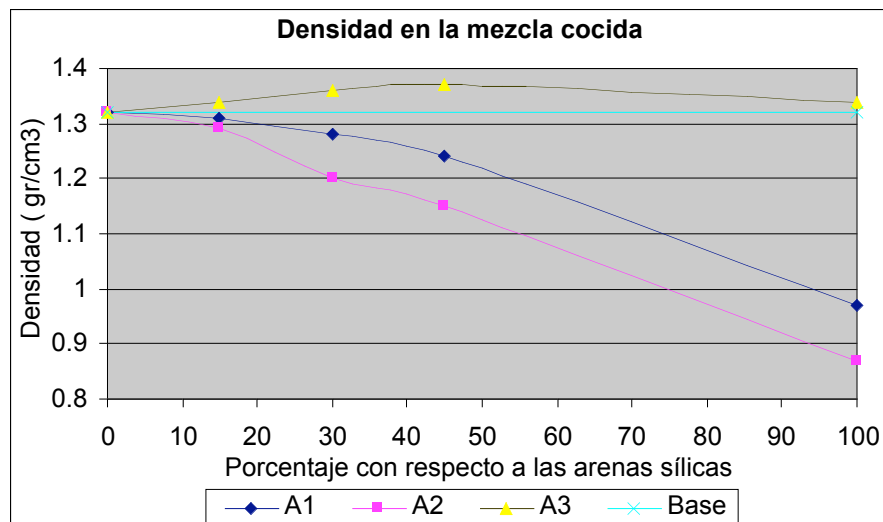


Figura 11. Densidad en la mezcla cocida



7.5. LA PLASTICIDAD Y LA CONTRACCIÓN EN EL SECADO Y LA COCCIÓN

Entre más plástica es una arcilla, es decir, mayor cantidad de agua absorbe, mayor será su contracción en el secado y horneado. La mayoría de esta agua se absorbe en los poros de los granos de las arcillas. Como podemos ver en la figura 12, la arena 2 presenta la mayor absorción de agua para formar una pasta plástica, moldeable. Por otro lado la arena 3 presenta la menor plasticidad, es decir tiene una menor absorción de agua dentro de las partículas de arena. Las tendencias en la plasticidad para las mezclas que contienen la arena 3, disminuye en cuanto aumenta el porcentaje de participación de esta arena, mientras que en caso de la arena 2 se observa lo contrario.

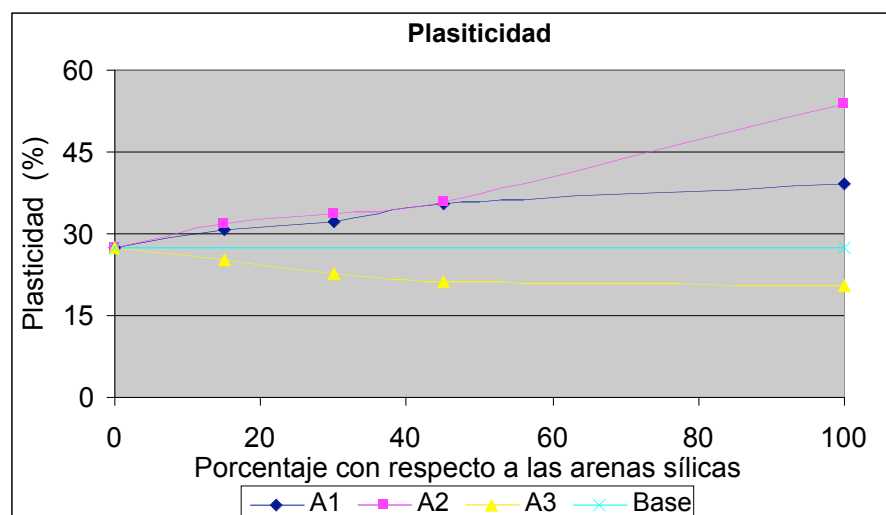


Figura 12. Plasticidad



La contracción al secado nos dice qué tan propensa es la mezcla a formar grietas por efecto de la difusión del vapor en los poros de la matriz arcillosa.

Utilizando el criterio de Nosova, para determinar la sensibilidad de las arcillas al secado expuesto en la sección 4.2.3. tenemos que la arenas – sílicas tiene un índice Ks menor a la unidad, es decir tiene poca sensibilidad

Arena	Ks
1	0.35
2	0.51
3	0.29

Tabla IV. Índice de plasticidad

al secado, y no existen peligros de agrietamiento, en esta fase del proceso.

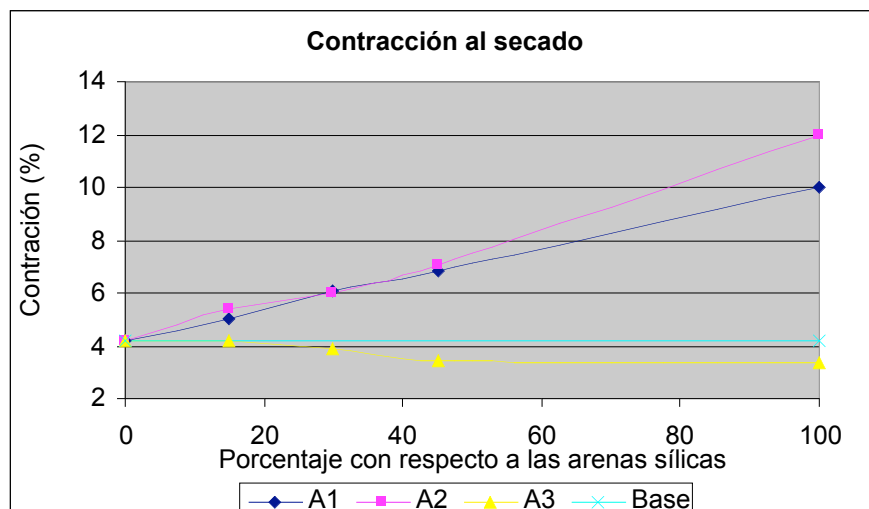


Figura 13. Contracción en seco



Sin embargo en la figura 13, vemos que las arenas - sílicas sin mezclar son las que presentan mayor contracción al secado, siendo aún este valor de poca importancia para dicho proceso.

En la contracción a la cocción como se puede ver en la figura 14, las mezclas que contienen la arena 2, en 15, 30 y 45 %, son las que presentan mayor contracción al horneado, este porcentaje de contracción va aumentando con el contenido de arena 2 en las mezclas, para finalmente tener una contracción en la cocción de 5.45 % sola, esta última presento agrietamientos en el proceso de horneado.

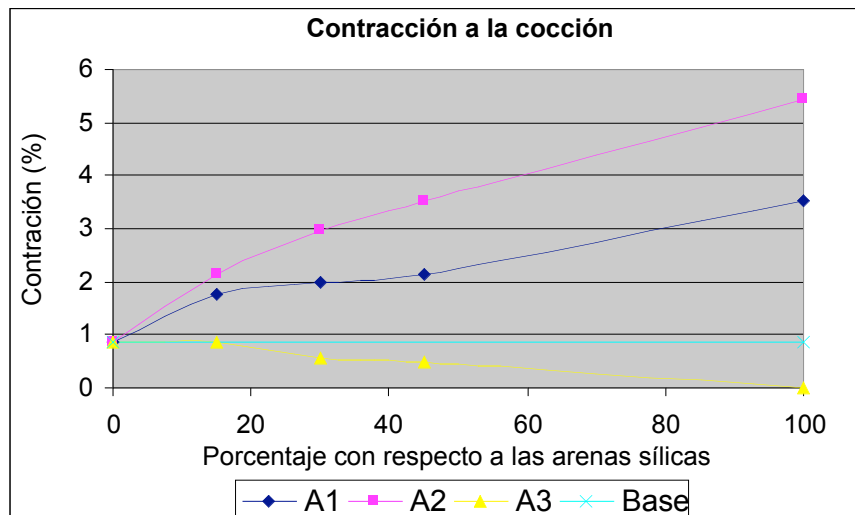


Figura 14. Contracción a la cocción

7.6. ABSORCIÓN Y MADURACIÓN DE LA PASTA

Entre menos absorción de agua permita el ladrillo cocido, tendrá una mayor maduración en la pasta. Como maduración se entiende la fusión de



todos los óxidos presentes, para formar una nueva pasta que dará las propiedades del producto final.

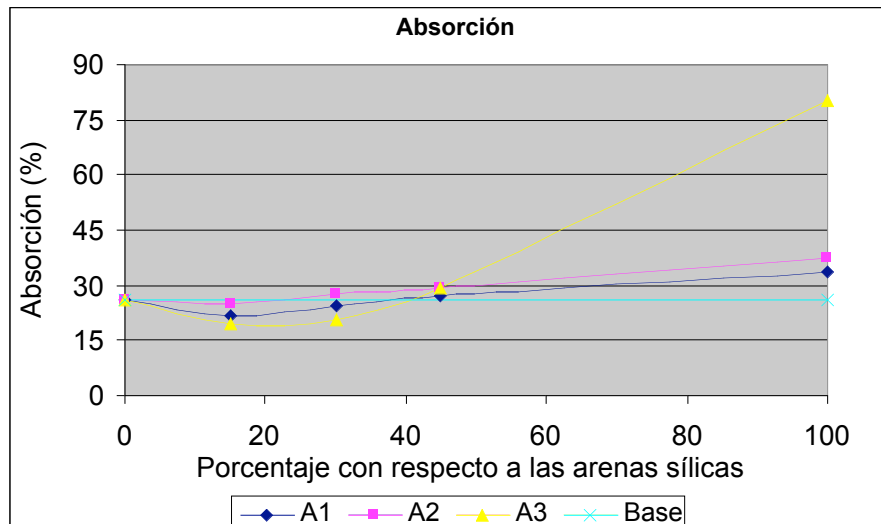


Figura 15. Absorción

Como podemos ver en la figura 15, la arena 3 presenta una absorción de 80 %, esto confirma que no se puede haber alcanzado la maduración de la pasta a la temperatura que se realizó el experimento, pues su relación de óxidos fundentes contra SiO_2 , es muy grande no siendo factible encontrar una pasta madura. Pero sin embargo cuando se mezcla en diferentes proporciones su absorción llega a ser incluso menor que la absorción que registra la mezcla base, lo mismo pasa con algunas de las mezclas hechas con las arenas 1 y 2.

Esto parece contradictorio si decimos que entre menor agua absorba, el ladrillo tubo una mayor maduración de la pasta, y sabemos por otro lado que siendo las relaciones de SiO_2 tan altas respecto a los óxidos fundentes, y sabiendo que la temperatura que se manejó en el experimento no es



posible alcanzar una pasta madura. ¿Cómo explicar esta menor absorción?, esto se puede explicar con la maduración de una capa exterior, que si bien no alcanzó a profundizar, fue suficiente para disminuir la absorción del agua, esta capa se pudo haber formado debido a la combinación de óxidos que se dio en las mezclas, gracias a la aportación de los óxidos de las arcillas, también a la mayor temperatura en la capa externa, lo que promovió una mejor fusión entre los óxidos. Esto se confirma al partir un ladrillo a la mitad, donde se aprecia un anillo negro de mayor tamaño que varía según la proporción de las arenas y un anillo rojizo del color tradicional del ladrillo externo el cual varía con cada mezcla.

7.7. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Como podemos ver en la figura 16, todos los experimentos superan a la mezcla base que se utiliza en el proceso artesanal.

Las mezclas hechas con la arena 3, no son aconsejables en una proporción mayor al 15 % ya que aunque su resistencia a la compresión supera a la mezcla original, debido a su tamaño de grano, son fácilmente erosionables al roce, desgastándose rápidamente.

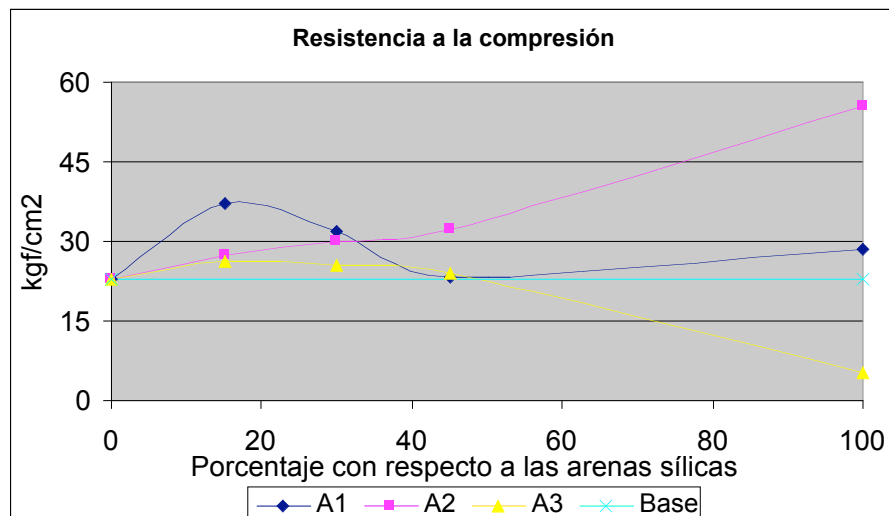


Figura 16. Resistencia a la compresión

Un hecho importante de resaltar es que las arenas – sílicas 1 y 2 solas, muestran una resistencia a la compresión muy superior, si tomamos en cuentas la relación de óxidos fundentes con respecto al SiO₂, sabemos por la figura 6, que la temperatura de maduración esta por arriba de la que se manejo en el experimento, así que no es probable que tengamos una pasta madura, esto se reafirma con el hecho de que el anillo negro del que se habla en las pérdidas por cocción es muy grande, por lo tanto la cohesión química proveniente de la fusión de los óxidos no es alta, al contrario de lo que muestra la gráfica de resistencia a la compresión. Esto se puede explicar con el tamaño de partícula y la proporción de bentonita presente en la arena sílica.

La bentonita es una arcilla pura, formada por silicatos hidratados de sodio, calcio o magnesio, ésta tiene excelentes propiedades plásticas, impermeables y de resistencia, debido a esto se ocupa como agente



aglutinante en la formación de moldes para la fundición. La bentonita tiene un tamaño de partícula menor a 0.127 mm. Como podemos ver en la tabla 3, la arena 2 tiene mayor proporción en este tamaño de partícula comparándola con las arenas 1 y 3.

Podemos decir que la proporción de bentonita juega un papel importante en la resistencia a la compresión del ladrillo, así como el tamaño de partícula, ya que además de estar relacionada directamente con esta, las partículas finas pueden resistir más a la compresión ya que pueden tener una mejor compactación y una mejor distribución de la carga.

Así que podemos afirmar que aunque no tenemos una pasta madura, si tenemos una mayor resistencia a la compresión, debido al efecto que tiene la bentonita y el fino tamaño de las partículas en las mezclas.

La arena 3 por no tener ninguna de las cualidades anteriores, presentó una menor resistencia a la compresión.

A continuación se muestra la tabla de donde se obtuvieron todos los resultados que muestran las gráficas.