

5. CONCLUSIONES

Después del estudio realizado sobre la aplicabilidad de las cenizas volantes provenientes de la central térmica de Mudunuru (India), las conclusiones a las que se ha llegado se dividen en 3 tipos, las que se refieren a la aplicabilidad en morteros de cemento, las que se refieren a la aplicabilidad en hormigones y las generales:

5.1. Mortero de cemento

- ✓ En morteros de cemento con relaciones 1:3 (material cementicio:arena), parece existir una relación directa y lineal entre la consistencia y la relación agua-material cementicio. Se ha podido justificar para consistencias cercanas al 60% y considerando un valor de k (eficiencia de las cenizas) de 0.3.
- ✓ Las cenizas volantes aumentan la trabajabilidad de la mezcla, para un mortero con la misma cantidad de agua, arena y cemento .
- ✓ El desarrollo de resistencias en los morteros con cenizas volantes se produce a edades más avanzadas, de modo que a mayor cantidad de cenizas, el desarrollo se produce más tarde.
- ✓ La resistencia a flexotracción obtenida a 90 días ha sido, prácticamente en todos los morteros con cenizas volantes superior a la del mortero de control.
- ✓ La resistencia a compresión obtenida a 90 días por los morteros con cenizas volantes es, en general, similar a la del mortero de control si se mantiene la relación agua/cemento .

- ✓ A edades tempranas la resistencia a compresión es más importante que la de flexotracción, pero a medida que pasa el tiempo, evoluciona más rápidamente la resistencia a flexotracción. En el caso de los morteros con cenizas volantes la relación entre la resistencia a compresión y a flexotracción es de aproximadamente 5 (a 90 días), mientras que en los que no tienen es de 5.8.
- ✓ Se ha demostrado que a mayor superficie específica del material cementicio en relación al volumen de agua, se obtienen mayores resistencias a compresión a 28 días. Del mismo modo, a mayor volumen de cemento + cenizas en relación al volumen de agua se obtienen menores resistencias. Consecuentemente, el material cementicio ideal sería aquel que tuviera una superficie específica elevada (que va asociado a un tamaño medio de grano pequeño).
- ✓ Reduciendo la relación agua/material cementicio pero manteniendo un mismo valor de la consistencia respecto al mortero de control, se acelera el proceso de desarrollo de resistencias en los morteros con cenizas volantes. Así, a 28 días se puede conseguir mayor resistencia en ciertos morteros con cenizas (los que tienen una adición de cenizas del 10% y reducciones del 20, el 30 y el 40% de cemento) que en el mortero de control. Además, las resistencias a largo plazo también son sensiblemente superiores en prácticamente todas las mezclas fabricadas.
- ✓ El porcentaje óptimo de adición de las cenizas estudiadas en cuanto a las propiedades mecánicas es el 10% respecto a toda la masa de material cementicio (lo que supone un 11.1% respecto al peso de cemento). También se ha demostrado que se pueden realizar reducciones del 20, 30 y 40% de cemento en los morteros, si ello va acompañado de una buena dosificación del resto de componentes (principalmente cenizas y agua) sin perder sus propiedades.
- ✓ Se han fabricado mezclas con relaciones 1:3 incorporando la adición de cenizas que pueden ser utilizados en albañilería para la unión de ladrillos, ya que presentan la trabajabilidad (70% aprox.) y resistencia deseada.
- ✓ También se han fabricado morteros de albañilería con relaciones 1:6 (cemento:arena) incorporando la adición de cenizas. Una reducción del 20% de cemento acompañado de una adición de cenizas del 20%, produce un mortero M15; una reducción del 30% y una adición del 20% de cenizas un M10; y, finalmente, una reducción del 40% con un 10% de cenizas un M5. Esta clasificación permitirá su posterior elección para un determinado uso.

5.2. Hormigón

- ✓ Se han podido extrapolar los datos obtenidos en morteros de cemento para su aplicación a hormigones a la vez que se han mantenido las proporciones entre agua-cemento-cenizas.
- ✓ Los hormigones fabricados han obtenido resultados de consistencia líquida, pero se pueden aceptar porque se apreció una buena textura del hormigón y sin segregación.
- ✓ Para consistencias de este tipo (líquidas) no se ha podido observar relación alguna entre la consistencia y la relación agua-material cementicio.
- ✓ A 28 días se obtuvieron resistencias superiores al hormigón de control, en el caso de la reducción del 30% de cemento y una adición del 10% de cenizas respecto a toda la masa de material cementicio, la resistencia a compresión obtenida fue un 36% más elevada.
- ✓ Hay una reducción de la dispersión de resultados al utilizar cenizas volantes que se podría traducir en la reducción de los coeficientes de seguridad en el momento del diseño del proyecto, y en una reducción del coste total por la reducción del sobredimensionamiento.
- ✓ El ensayo de succión a 3 días ha demostrado que los hormigones con cenizas volantes presentan valores más bajos de la succión, y, consecuentemente, de la absorción superficial inicial a 10 minutos. También se ha observado que a mayor resistencia también se observa un valor inferior de la succión.
- ✓ A mayor resistencia del hormigón la rotura en el ensayo de tracción indirecta de las probetas se produce a través de los áridos, con lo que se llega a la conclusión que la zona de transición es mejor en esos hormigones.
- ✓ El ensayo del módulo de elasticidad ha mostrado una relación lineal entre el módulo y la resistencia a compresión a 28 días. Esto permite hacer estimaciones de la resistencia de un hormigón sin necesidad de realizar ensayos destructivos.

5.3. Conclusiones generales

- ✓ A partir de todo lo que se ha expuesto en este estudio se ha justificado la aplicabilidad de las cenizas volantes de la central térmica de Mudunuru (India) en hormigones y morteros.

- ✓ Los mejores resultados en cuanto a resistencia a corto plazo se obtienen con relaciones agua-material cementicio cercanas a 0.5. Las dosificaciones que han obtenido mejores resultados han sido aquellas que presentaban una adición de cenizas volantes del 10% sobre la masa de material cementicio (un 11.1% sobre el peso de cemento) y una reducción del cemento del 30% y del 20%. A largo plazo, las mezclas con una adición del 20 y del 30% de cenizas también han obtenido buenos resultados.
- ✓ Después de este análisis, se debería llevar a la zona de estudio para pasar a la fase de aplicación, en la que se debería enseñar cómo deben utilizar las cenizas.
- ✓ En la siguiente tabla se puede ver un breve resumen de los resultados obtenidos expresados a modo de referencia sobre el uso de las cenizas, con las dosificaciones en volumen. Tan sólo se muestran algunas aplicaciones de uso frecuente en las que se puede incorporar las cenizas como adición. En un futuro se debería ir completando con más usos y fruto de más estudios para que, del mismo modo que existen tablas de referencia de morteros y hormigones sin cenizas, existan otras tablas que las incorporen como adición habitual para estos materiales de construcción tan habituales:

Tabla 39. Resumen dosificación en volumen según material y propiedad

	<i>Propiedad</i>	<i>Dosificaciones en volumen</i>					<i>Árido gruesos</i>	<i>Otra información</i>
		<i>Cemento</i>	<i>Arena</i>	<i>Agua</i>	<i>Cenizas</i>			
Mortero	Resistencia a corto plazo	1	2.192	0.626	0.160		Baja trabajab.	
		1	2.466	0.704	0.360			
Mortero albañilería	Para unión de ladrillos	1	2.192	0.664	0.160		Trabajab. media	
		1	2.466	0.747	0.360			
	Para revocados y enfoscados (alta trab.)	1	4.932	1.285	0.360		M15	
		1	5.636	1.410	0.360		M10	
1	6.576	1.491	0.160		M5			
Hormigón	Resist. a corto plazo	1	2.142	0.619	0.160	2.750		
	Resist. a medio plazo	1	1.610	0.624	0.160	2.497		
	Resist. a largo plazo	1	1.792	0.703	0.360	2.891		

Para una mejor aplicación se deberían facilitar dosificaciones más sencillas de ejecutar, ya que tal y como se presentan, resultan un poco complicadas.