

capítulo 2

CENIZA VOLANTE.

ANTECEDENTES.

Las cenizas de combustible pulverizadas o cenizas volantes, son residuos de carbón bituminoso ardiendo, que son lo suficientemente finos para ser llevados por el gas que sale del horno. La ceniza se elimina por medio de una serie de precipitadores mecánicos y electrostáticos antes de que el gas sea liberado a la atmósfera, como se muestra en la figura 2.1.

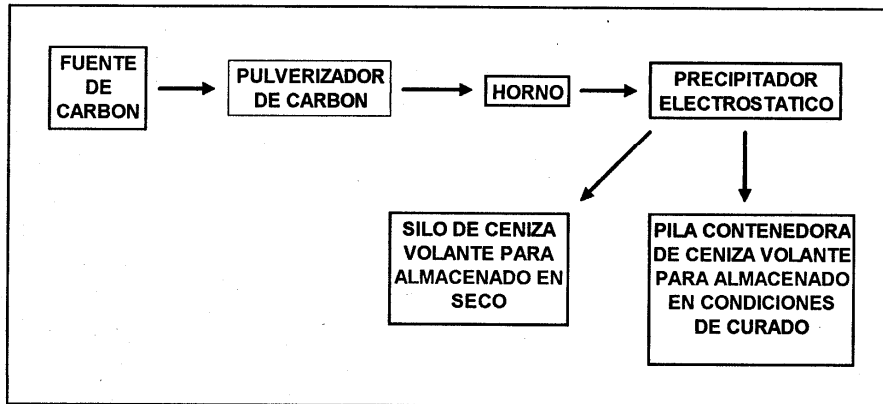


FIGURA 2.1 PROCESO DE OBTENCION DE LA CENIZA VOLANTE.

Durante los últimos 60 años se ha visto incrementando el uso de la ceniza volante en aplicaciones de ingeniería en todo el mundo, con resultados cada vez más satisfactorios^(Ref. 1). Debido a los éxitos alcanzados y al hecho de que existe una gran diversidad de usos para

CONCRETOS DOSIFICADOS CON CEMENTO PORTLAND Y CENIZA VOLANTE.

este material que van desde la fabricación de concreto con cenizas volantes para presas, hasta el concreto presforzado y el concreto resistente a sulfatos, también como estabilizador de suelos y material de relleno, entre otras, se ha logrado valorar la versatilidad de las cenizas volantes en obras de ingeniería civil, despertando así, confianza en un producto que de otra manera sería considerado como desecho.

Especificaciones deficientes, ceniza de calidad variable y prácticas constructivas que no satisfacen las normas establecidas, actuando en combinación, pueden ser señaladas como las probables causas de las pocas fallas que se han presentado al usar ceniza volante en obras.

Estudios realizados en 1934 por Mc Millan y Powers, ^(Ref.2) demostraron que la ceniza volante desempeñaba un papel importante en el concreto, pero no fue sino hasta 1937, que la ceniza volante empezó a ser conocida como una posible fuente de puzolana, debido a la aparición de las investigaciones realizadas por Davis, Carlson, Kelly y Davis. ^(Ref.3) Después de esto, el trabajo de Brink y Halsted ^(Ref. 4) efectuado en 1956, se volvieron clásicos, ya que la mayoría de los trabajos posteriores solo han repetido y ampliado de una u otra forma los diferentes aspectos descubiertos por estos investigadores.

CARACTERÍSTICAS DE LAS CENIZAS VOLANTES.

COLOR.

La apariencia gris de la ceniza volante, es resultado directo de la combustión del carbón bajo condiciones reducidas de oxígeno. El color de las ceniza dentro de cada fuente productora puede, variar desde un gris claro, hasta el negro. ^(Ref. 5) El color de la ceniza puede tender al gris o al negro, dependiendo de la fuente, la tendencia clara usualmente indica los altos contenidos de cal, y de gris a negro indica altos contenidos de carbón. Por esta razón es necesario controlar el color mediante una selección, a fin de reducir la probabilidad de variaciones inaceptables en la apariencia del concreto.

PROPIEDAD PUZOLANICA.

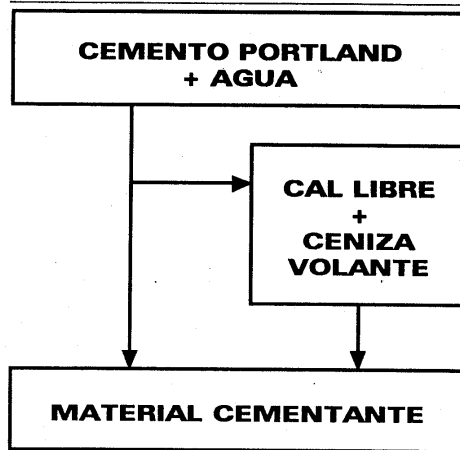


FIGURA 2.2: REACCION PUZOLANICA DE LA CENIZA VOLANTE.

La propiedad puzolánica esta indicada por la manera y la rapidez con que el sílice de la ceniza volante se combina con el hidróxido de calcio liberado por la hidratación del cemento portland. (Ref. 6) En general, la ceniza volante tiene una velocidad de reacción menor que la mayoría de las puzolanas naturales.

En cementos cuyo contenido de ceniza volante sea bajo, alrededor de un 20 %, Smith y Halliwell (Ref. 7) han demostrado que se necesitan cenizas volantes con menos de 20 % de material retenido en la malla de 45 micras si se desea obtener una buena propiedad puzolánica.

PERDIDA POR IGNICIÓN.

Se sabe que la ceniza volante con alto valor de pérdida por ignición (carbón no quemado) da como resultado una decoloración de la superficie del acabado, causada por las partículas de carbón que ascienden a la superficie. La decoloración puede ser aun peor si se usa cemento portland con alto contenido alcalino.

No existe evidencia de que el uso de una ceniza volante con un valor de pérdida por ignición entre 10 y 20 % sea perjudicial para el comportamiento a largo plazo del concreto. No obstante, la eficacia de la ceniza volante como puzolana se reduce debido a la consecuente disminución de óxidos principales, tales como óxido de sílice (SiO₂), de aluminio (Al₂ O₃) o de fierro (Fe₂O₃), lo que a su vez puede dar como resultado un fraguado mas lento en el concreto.

GRANULOMETRÍA.

La distribución del tamaño de las partículas es la mayor variable de la ceniza volante. Mientras esta se encuentra en la corriente de gas que sale del horno, la granulometría es razonablemente constante, pero es afectada por la eficiencia de los molinos de carbón, por la fuente de procedencia del carbón y por la operación del horno.

La granulometría de la ceniza varía considerablemente de una fuente a otra, debido principalmente a los métodos de precipitación, que pueden tener de 3 a 5 etapas y en cada una se elimina separada y progresivamente una fracción mas fina de ceniza. Las variaciones son causadas por la secuencia de eliminación de la ceniza precipitada, y aquellas solo pueden ser corregidas mezclando la ceniza en la misma proporción en que fue eliminada de la corriente de gas. (Ref. 1)

FINEZA.

En varios países en que tienen especificaciones para la ceniza volante, se ha aportado la prueba de material retenido en la malla de 45 micras para controlar el grado de fineza en la ceniza. Mientras mayor sea la cantidad de ceniza volante que pase por la malla de 45 micras, mayor será su efecto sobre la resistencia del concreto, aunque, es conveniente aclarar que este efecto no es una función de la superficie específica medida por la permeabilidad al aire, sino que es una función del tamaño de las partículas, de ahí el uso de las mallas.

FORMA DE LA PARTÍCULA.

Debido a la particular forma esférica de la mayoría de las partículas la ceniza volante es un polvo granulado de características únicas. Sin embargo, en la fracción mas gruesa de 300 a 45 micras, la mayoría de las partículas son negras y porosas. En general, este material grueso y arenoso tiene un valor de pérdida por ignición de 3 a 10 veces mayor que el de la fracción que pasa

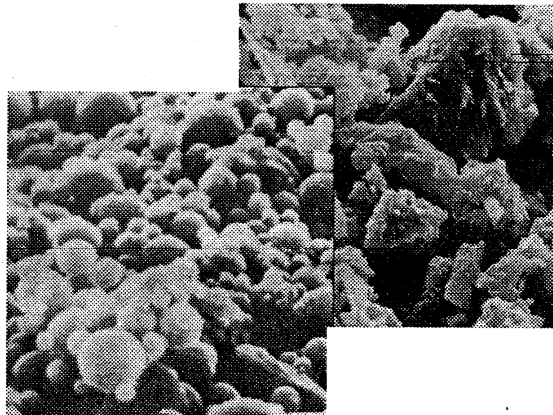


FIG 2.3: A LA IZQUIERDA, PARTICULAS DE CENIZA VOLANTE; A LA DERECHA, PARTICULAS DE CEMENTO.

la malla de 45 micras, lo que indica la presencia de carbón quemado parcialmente. Cabe mencionar, que en algunos hornos las partículas de cenizas volante tienden a aglomerarse adhiriéndose o encerrándose unas a otras.

Cuando la ceniza volante contiene mayores cantidades de arenilla o aglomerante, estos son porosos y altamente permeables al aire, lo cual aumenta las áreas de superficie específica con respecto a la distribución de las partículas. Esta es otra razón para cuestionar la validez de la permeabilidad al aire como método para evaluar la fineza.

7. DENSIDAD.

La densidad en las cenizas volantes es una propiedad con un nivel de variación tan alto como la distribución del tamaño de las partículas, o la pérdida por ignición. En la tabla 2.1 se presentan las características físicas de ocho muestras de ceniza volante analizadas en Inglaterra.

8. COMPOSICIÓN QUÍMICA Y MINERALÓGICA.

La composición química de la ceniza volante según la norma ASTM C 618 ^(Ref. 8) exige primordialmente un mínimo de 70 % de óxidos principales, tales como los de sílice (SiO_2), de aluminio (Al_2O_3) y de hierro (Fe_2O_3) y un máximo de 5 % de sulfatos, como trióxido de azufre (SO_3).

Existen otros requerimientos químicos opcionales de magnesio (MgO) y álcalis disponibles, como óxido de sodio (Na_2O), cuando la ceniza va a usarse para propósitos especiales, como en autoclaves o para reducir la reacción álcali-agregado.

La tabla 2.2 presenta la composición química de ocho cenizas producidas en el Reino Unido, los resultados citados muestran los valores de al menos 30 muestras diferentes colectadas en diferentes períodos de cada estación de energía. Puede observarse que la desviación estándar es baja, especialmente para los óxidos mayores como Sílice, Aluminio y Óxido de hierro. Las especificaciones actuales según el British Standard Institute ^(Ref. 10) para el uso de ceniza volante, limita el contenido de MgO a 4 % de la masa de ceniza volante y a 2.5 % el contenido de SO_3 .

CAPITULO 2: Ceniza Volante.

Mineralógicamente las cenizas volantes están compuestas por una gran fase de vidrio (mas del 80 % de las cenizas) y una fase cristalina consistente principalmente de Mullita, Cuarzo, Magnetita y Yeso.

La tabla 2.3 nos muestra la composición química típica de las cenizas volantes clases F, clase C y del cemento Portland.

CENIZA	Gravedad Especifica (g/cm ³)	Area Especifica (m ² /g)	Diámetro Principal De La Partícula (Micras)	Retenido En La Malla De 45 Micras (%)	Perdida Por Ignición (%)
VALOR PRINCIPAL					
A	2.33	0.29	9.08	22.53	3.97
B	2.37	0.38	7.96	10.89	5.7
C	2.28	0.23	12.41	27.31	2.86
D	2.30	0.11	25.70	29.83	2.61
F	2.19	0.32	9.21	24.31	4.49
H	2.28	0.34	7.96	17.59	4.99
J	2.43	0.29	8.93	6.17	3.36
K	2.39	0.26	10.37	8.00	2.47
DESVIACION ESTANDAR					
A	0.06	0.06	1.81	7.66	1.13
B	0.10	0.13	3.77	10.96	2.84
C	0.06	0.07	3.47	10.63	1.00
D	0.04	0.03	8.79	4.83	0.68
F	0.08	0.08	2.34	6.37	0.91
H	0.06	0.07	1.53	5.98	1.03
J	0.06	0.06	1.87	2.81	0.57
K	0.09	0.09	2.83	5.17	0.75

TABLA 2.1: INFORMACION ESTADISTICA DE LAS PROPIEDADES FISICAS DE LAS CENIZAS VOLANTES^(Ref. 9)

CENIZA	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Na ₂ O (%)	MgO (%)	CaO (%)	K ₂ O (%)	TiO ₂ (%)	SO ₃ (%)
VALOR PRINCIPAL									
A	50.53	27.74	10.40	0.70	1.75	2.73	2.57	1.02	0.83
B	51.59	27.76	10.11	1.06	1.43	1.28	3.75	1.02	0.71
C	51.85	27.04	11.13	1.13	1.49	1.44	3.81	0.96	0.58
D	51.43	26.82	11.11	1.15	1.44	1.44	3.84	0.95	0.61
F	52.19	27.48	9.68	1.12	1.58	2.11	3.51	1.09	0.50
H	50.55	26.35	9.28	1.37	1.48	4.09	3.27	1.07	0.82
J	49.84	27.51	10.82	0.77	1.62	2.57	3.72	0.96	0.88
K	51.95	27.77	10.89	0.92	1.54	1.27	3.79	0.99	0.89
DESVIACION ESTANDAR									
A	0.65	0.70	0.91	0.09	0.16	0.28	0.17	0.03	0.09
B	1.11	0.81	0.82	0.23	0.16	0.29	0.14	0.04	0.23
C	0.90	0.59	0.71	0.25	0.14	0.20	0.16	0.01	0.14
D	0.78	0.56	0.51	0.22	0.14	0.14	0.12	0.02	0.12
F	0.87	0.82	0.74	0.16	0.19	0.22	0.10	0.05	0.11
H	1.44	0.89	0.89	0.19	0.22	1.48	0.17	0.06	0.14
J	1.05	0.59	0.75	0.12	0.23	0.51	0.13	0.02	0.13
K	1.28	0.58	0.89	0.09	0.09	0.22	0.11	0.05	0.27

TABLA 2.2: INFORMACIÓN ESTADÍSTICA DE COMPOSICIÓN DE OXIDOS ELEMENTALES DE LAS CENIZAS. (Ref. 8)

Componentes	Ceniza Clase F	Ceniza Clase C	Cemento Portland
SiO ₂	54.90	39.90	22.60
Al ₂ O ₃	25.80	16.70	4.30
Fe ₂ O ₃	6.90	5.80	2.40
CaO (Cal)	8.70	24.30	64.40
MgO	1.80	4.60	2.10
SO ₃	0.60	3.30	2.30

TABLA 2.3: COMPOSICION QUIMICA TIPICA DE LAS CENIZAS VOLANTES CLASE C Y F, Y DEL CEMENTO PORTLAND.