

**CONCRETOS CON CENIZAS VOLANTES DE
TERMOELÉCTRICAS**
Método Dinámico para dosificar concretos puzolánicos.
(22 Ejercicios resueltos)

**COMPOSICIÓN DEL CONCRETO CON CENIZA POR PESO
MÉTODO DINÁMICO PARA EL DISEÑO DE CONCRETOS**

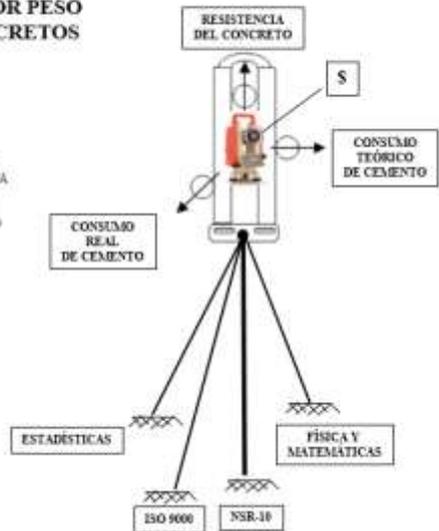
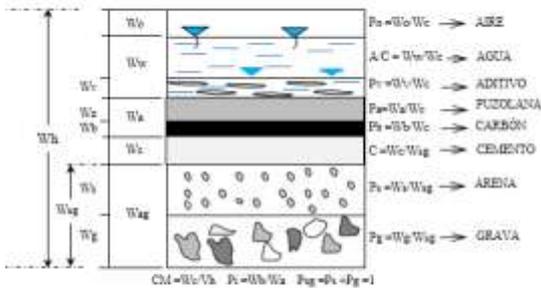


TABLA DE CONTENIDO

1. QUÉ ES LA CENIZA VOLANTE.
2. QUÉ ES LA PUZOLANA.
3. DESCRIPCIÓN FÍSICA DE LA CENIZA.
4. DESCRIPCIÓN QUÍMICA DE LA CENIZA.
5. USOS GENERALES.
6. VEINTE VENTAJAS DE USAR LAS CENIZAS EN CONCRETO.
7. MANEJO Y ALMACENAMIENTO.
8. PRESENTACIÓN.
9. COMPATIBILIDAD.
10. DOSIFICACIÓN Y RENDIMIENTO.
Tres ejemplos triviales.

11. USO ADECUADO DEL PRODUCTO.
12. RECOMENDACIONES ESPECIALES.
13. PRECAUCIONES AMBIENTALES Y DE SEGURIDAD.

14. NORMA NTC 3493 SOBRE PUZOLANAS.
14.1. Definiciones de la norma.
14.2. Requisitos de la ceniza volante Clase F.
15. NORMA NTC 5551 SOBRE DURABILIDAD.
15.1. Requisitos de durabilidad.
15.2. Contenido mínimo de material cementante en la mezcla.

16. NORMA NSR10 SOBRE SISMORESISTENCIA.

17. ECUACIONES FUNDAMENTALES DEL MÉTODO DINÁMICO.
17.1. Definición de variables por peso y volumen.
17.2. Definición de variables relativas.
17.3. Ecuaciones Fundamentales.

18. EJEMPLOS RESUELTOS EN OBRAS.

- 18.1. Determinar el volumen de concreto vaciado en la estructura.
- 18.2. Determinar la densidad del concreto vaciado en la obra.
- 18.3. Calcular la cantidad de cemento por metro cúbico del concreto vaciado en una estructura.
- 18.4. Determinar el volumen del concreto en una pila.
- 18.5. Encontrar la cantidad de agregado seco que se debe adicionar a la mezcladora.
- 18.6. Determinar la cantidad de agregado seco que debe llevar un concreto de 210kg/cm^2 .
- 18.7. Determinar la cantidad de agregado seco que debe llevar una muestra de concreto de 280kg/cm^2 .
- 18.8. Cuánta cantidad de puzolana hay en la muestra de ceniza.
- 18.9. Determinar la cantidad de puzolana que se debe agregar a un metro cúbico de hormigón.
- 18.9. Encontrar la cantidad en kg de puzolana que se le debe agregar a un bulto de cemento.
- 18.10. Encontrar los inquemados en una alícuota de ceniza.
- 18.11. Determinar el porcentaje de inquemados en una muestra.
- 18.12. Qué cantidad de carbón contiene una muestra de ceniza
- 18.13. Determinar la cantidad de carbón en una volqueta con ceniza.
- 18.14. Porcentaje de carbón y puzolana en una muestra de ceniza.
- 18.15. Determinar la cantidad de carbón y de puzolana que va a quedar la nueva dosificación del hormigón.
- 18.16. Determinar la cantidad de carbón lignito con que va a quedar la mezcla.
- 18.17. Determinar la relación a/mc de la mezcla.
- 18.18. Encontrar por el método de porcentajes simplificado, las cantidades en peso de los materiales húmedos, que hay que adicionar a la mezcladora.
- 18.19. Encontrar por el *Método de Porcentajes*, las cantidades en peso de los materiales húmedos que hay que adicionar a la mezcladora.
- 18.20. Encontrar por el *Método de Porcentajes*, la relación A/C corregida.
- 18.21. Cuál es la relación a/mc de una mezcla a la que se le agregó ceniza.
- 18.22. Determinar la relación A/C de la mezcla en obra.

**CONCRETOS CON CENIZAS VOLANTES DE
TERMOELÉCTRICAS**
Método Dinámico para dosificar concretos puzolánicos.
(22 Ejercicios resueltos)

1. QUÉ ES LA CENIZA VOLANTE.

Son residuos finos que resultan de la combustión en centrales termoeléctricas del carbón mineral molido o en polvo, compuestos de un material inorgánico llamado puzolana por tener *propiedades puzolánicas* y de unas partículas de *carbón sin quemar o inquemado* que tiene características orgánicas pero que no reacciona químicamente con ningún componente del concreto por ser inerte. Ambas se cuantifican en el laboratorio por medio del ensayo de *pérdida al fuego*.

2. QUÉ ES LA PUZOLANA.

Se define como un material inerte que resulta de la ceniza volante, que está formada principalmente por sílice amorfa y/o cristalina, aluminio, hierro y otros compuestos de menor cuantía que al activarla en un medio alcalino con calor o catalizadores, su principal reacción es la formación del Gel NASH (Sodio, Aluminio, Sílice, Hidrógeno).

La norma NTC 3493 (1993-02-17), define la Puzolana como material silícico aluminoso, que por sí mismo posee poco o ningún valor cementante, pero que en forma de partículas finas y en presencia de humedad, reacciona con el hidróxido de calcio que contiene el cemento a temperaturas normales, para formar compuestos con propiedades cementantes.

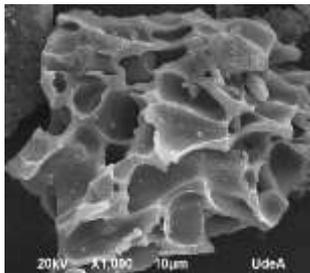
3. DESCRIPCIÓN FÍSICA DE LA CENIZA.

La ceniza es un polvo muy fino de color similar al del cemento, que se distribuye ya listo para ser usado como carga o llenante mineral (Fuller),

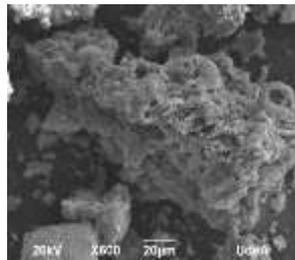
proveniente de la combustión mejorada química, física y térmicamente del carbón de hulla, diseñada específicamente para optimizar las propiedades mecánicas y reológicas del concreto, disminuyendo los costos y la cantidad de cementante utilizado en la mezcla.

En el momento del fraguado reduce sustancialmente la expansión y contracción del cemento, actuando directamente sobre la tensión capilar del concreto aumentando su fluidez y su plasticidad y durante su vida útil la rigidez, la dureza, las resistencias mecánicas y resistencia a agentes químicos.

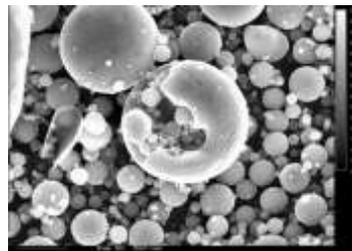
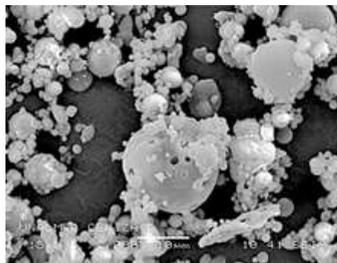
La forma redondeada de las partículas que resulta de la combustión del carbón a altas temperaturas produce un material absorbente, de bajo peso molecular y alta resistencia como se muestra en las siguientes Fotografías.



Inquemado de carbón.



Inquemado con esferas de sílice y alúmina.

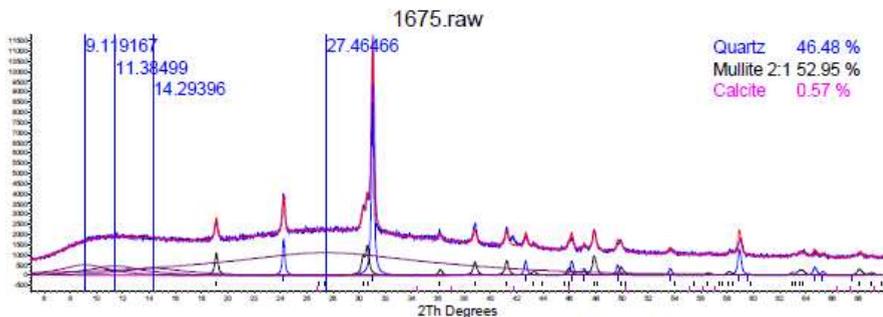


Puzolana vista en microscopio.

4. DESCRIPCIÓN QUÍMICA DE LA CENIZA.

El mayor porcentaje de la ceniza son minerales de hierro, sílice y aluminio, lo que la hace un material supremamente duro, superior a seis en la escala de Mohs, comparado con las cargas más utilizadas en el medio como es la caliza, que tiene grado tres.

A continuación, se presenta un análisis de la ceniza por difracción de rayos X y resonancia nuclear magnética.



Difractograma 1, Muestra Arena en polvo.

Composición química de la ceniza

5. USOS GENERALES.

La puzolana es utilizada principalmente en concretos hidráulicos en construcción de grandes proyectos urbanísticos, vías, edificios y como llenante mineral o Filler en polietileno, polipropileno, PVC, poliestireno, acrílico y caucho.

5.1. En construcción.

Estabilización de vías, concretos ligeros, estructuras hidráulicas, anclajes, baldosas, tuberías, tapas de manjoles, barcos en fibras de vidrio, jacuzzi, pocetas, lavaplatos, mármoles sintéticos, fabricación de moldes, mesones, etc.

5.2. En la industria y el hogar.

Bolsas de basura y recipientes de plástico para cargar líquidos, juguetes, maletas, artículos deportivos, computadores, muebles, ganchos plásticos, potes de basura, estantería, motores, carrocerías, discos compactos y video cintas.

6. VEINTE VENTAJAS DE USAR LAS CENIZAS EN CONCRETO.

6.1. **Disminuye los costos** del concreto al aumentar el volumen de la mezcla y reducir el requerimiento de cemento utilizado que representa más del 80% de los costos de la obra. Se disminuye significativamente el agua de riego o de curado. Disminuye el costo de mantenimiento de las estructuras y aumenta su vida útil. Sustituye en parte el uso de los materiales pétreos.

6.2. **Aumenta la resistencia al ataque de sulfatos, cloruros y ácidos.** Aumenta la **resistencia al congelamiento y los ciclos de hielo deshielo**. Da mayor **resistencia al fuego**. Evita los problemas **álcali agregado**.

6.3. Aumenta **la resistencia** del concreto a la compresión, abrasión e impacto. Mejora la resistencia de las mezclas a **edades tardías y tempranas**. Para mejorar las resistencias tempranas se requiere aditivos activadores. Al suministrar aditivos inclusores de aire en las mezclas, **el aditivo es absorbido** por la ceniza.

6.4. **Baja la densidad** del concreto y por lo tanto el peso de la estructura, permitiendo disminuir el refuerzo, las cargas aplicadas al suelo de fundación

y las dimensiones de las estructuras. El concreto con ceniza tiene menor densidad que el concreto sin ceniza.

6.5. **Mejora la textura y el acabado** del concreto porque se están utilizando mezclas con materiales más finos, los cuales le suministran **viscosidad, cohesión, plasticidad y pastosidad**, aumentando la **fluidéz dentro de las formaletas**. Aumenta la **impermeabilidad** del concreto y la **vida útil** de la estructura mejorando la **durabilidad**. Protege el refuerzo del acero a la **corrosión**.

6.6. La ceniza rellena los poros más pequeños de la mezcla a nivel macro, micro y nanométrico, incrementando su superficie específica y **facilitando el bombeo** del concreto. Permite que las bombas trabajen más descansadas ya que las partículas de ceniza son esféricas **disminuyendo la fricción**. Las **mezclas quedan más cerradas** y con **menos poros, más impermeables**. (El nanómetro es la unidad de longitud que equivale a unas mil millonésimas partes de un metro ($1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$, a la millonésima parte de un milímetro y a 10 angstroms)

6.7. **Mejora la trabajabilidad** de la mezcla porque se están produciendo concretos con mayores relaciones agua material cementante (a/mc) y **el agua no se evapora con facilidad**, queda retenida entre los poros de la mezcla.

6.8. Si se tiene un adecuado manejo de las cenizas, se están **mitigando los problemas de contaminación** de sólidos en el aire, en el agua y en el suelo, debido a que es un residuo altamente contaminante y volátil. El **dióxido de carbono** ha aumentado rápidamente su concentración en la atmósfera, lo que ha llevado al calentamiento global por el efecto invernadero.

Al reaccionar la puzolana con la cal viva (CaO) que tiene el klinquer, evita el aumento de concentración en la atmósfera del CO₂, que es la principal causa de acidificación del océano ya que se diluye en el agua formando ácido carbónico. Su uso libera **las concentraciones de cal viva** superiores al 2% en

el cemento que es la principal causa de expansiones que pueden ser peligrosas en el concreto ya endurecido.

Con su uso se disminuye la explotación de canteras, la minería ilegal y la devastación de los recursos naturales no renovables. Al producir una tonelada de cemento, se están emitiendo a la atmósfera 0,95 toneladas de CO₂, y al utilizar menos cemento, se está reduciendo el efecto invernadero y su impacto ambiental negativo.

6.9 Se funden menos los vibradores porque se producen mezclas menos densas y mejora el ***desgaste de la maquinaria***, porque disminuye el coeficiente de fricción entre las partículas del concreto. “Hace las veces de lubricante”.

6.10. Los ***trabajadores realizan menos esfuerzo*** en la fabricación de los cilindros y en el recorrido del material, porque disminuye el peso de las mezclas.

6.11. Reduce la ***expansión*** y el calor de hidratación al disminuir la máxima temperatura del fraguado. Disminuye el ***agrietamiento*** y la ***micro fisuración*** y las fluctuaciones por humedad del medio ambiente.

6.12. ***Disminuye la retracción autógena y la retracción por fraguado inicial***, al disminuir el gradiente de consolidación de la mezcla fresca. ***Disminuye las fisuras*** la cantidad de poros desarrollando estructuras más compactas.

6.13. Se eliminan los problemas de ***eflorescencia*** o manchas blancas en el concreto.

6.14. Se ***auto-reparan*** las estructuras (reparación autógena) las grietas en el concreto al sellarse por la reacción del hidróxido de calcio con la puzolana a largo plazo, dando origen al ***cemento alcalino*** y al plástico sintético.

6.15. Los concretos son más **impermeables** y protegen el acero de refuerzo **evitando la oxidación**, ya que no se forma la corriente galvánica (corrosión galvánica)

6.16. **Reemplaza al aditivo** en muchas de sus aplicaciones al actuar no solo sobre el cemento orientando las partículas y reaccionando con ellas, también **actúa sobre la arena y la grava**.

6.17. Es un material ideal para ser usado en **prefabricación** mejorando la vibro compactación y el curado. Facilita el reciclado de los materiales en la obra, porque facilita la producción de concretos y morteros con desechos de la estructura, disminuyendo los costos.

6.18. La **vida útil de la ceniza almacenada** es mayor que 1 año, en condiciones normales de almacenamiento.

6.19. Hay **incentivos económicos, tributarios y ventajas competitivas** para las obras que utilizan materiales de desechos industriales y reciclados como la ceniza. Es un pilar para ingresar en la certificación Leed y la competencia. Se incentiva la Investigación, la Innovación, el Desarrollo (I-D) de productos y la docencia.

6.20. Los últimos avances investigativos crearon los **cementos verdes**, que se vienen desarrollando en el mundo entero y tienen como materia prima la ceniza. Como fuente de aluminosilicatos las cenizas permiten fabricar mezclas geopoliméricas, siendo un apoyo significativo para la fabricación de nuevas alternativas y mejores mezclas para las construcciones.

7. MANEJO Y ALMACENAMIENTO

Aspirado en exceso produce los síntomas y enfermedades que produce el cemento portland; por tal motivo el trabajador debe protegerse con ropa industrial apropiada, gorro, máscara y guantes. Cuando termine sus actividades lavarse con jabón azul y agua abundante.