

1997-07-23

---

**INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA.  
MUESTREO Y ENSAYO DE CENIZAS VOLANTES  
O PUZOLANAS NATURALES PARA USO COMO  
ADITIVO MINERAL EN EL CONCRETO DE  
CEMENTO PÓRTLAND**



E: CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE. STANDARD TEST METHODS FOR SAMPLING AND TESTING FLY ASH OR NATURAL POZZOLANS FOR USE AS A MINERAL ADMIXTURE IN PORTLAND CEMENT CONCRETE

---

CORRESPONDENCIA: esta norma es equivalente (EQV) a la ASTM C311

---

DESCRIPTORES: cemento; cenizas volantes; puzolana natural

---

I.C.S: 91.100.10

---

Editada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC)  
Apartado 14237 Bogotá, D.C. - Tel. 6078888 - Fax 2221435

---

Prohibida su reproducción

## PRÓLOGO

El Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, **ICONTEC**, es el organismo nacional de normalización, según el Decreto 2269 de 1993.

**ICONTEC** es una entidad de carácter privado, sin ánimo de lucro, cuya Misión es fundamental para brindar soporte y desarrollo al productor y protección al consumidor. Colabora con el sector gubernamental y apoya al sector privado del país, para lograr ventajas competitivas en los mercados interno y externo.

La representación de todos los sectores involucrados en el proceso de Normalización Técnica está garantizada por los Comités Técnicos y el período de Consulta Pública, este último caracterizado por la participación del público en general.

La NTC 3823 fue ratificada por el Consejo Directivo de 1997-07-23.

Esta norma está sujeta a ser actualizada permanentemente con el objeto de que responda en todo momento a las necesidades y exigencias actuales.

A continuación se relacionan las empresas que colaboraron en el estudio de esta norma a través de su participación en el Comité Técnico 369201 Cementos a cargo de la STN:ICPC.

CEMENTOS EL CAIRO S.A.  
CEMENTOS PAZ DEL RÍO  
CEMENTOS RIOCLARO  
COMPAÑÍA DE CEMENTOS ARGOS  
ICPC

Además de las anteriores, en consulta pública el proyecto se puso a consideración de las siguientes empresas:

ASOCRETO  
CALES Y CEMENTOS DE TOLUVIEJO  
CEMENTOS BOYACÁ  
CEMENTOS DE CALDAS  
CEMENTOS DEL CARIBE  
CEMENTOS DEL NARE S.A.  
CEMENTOS DIAMANTE  
CEMENTOS HÉRCULES

CEMENTOS DEL VALLE  
CONCRETOS PREMEZCLADOS  
DICEMENTOS  
INDUSTRIAS E INVERSIONES SAMPER  
SIKA ANDINA S.A.  
SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y  
COMERCIO  
TOXEMENT S.A.

**ICONTEC** cuenta con un Centro de Información que pone a disposición de los interesados normas internacionales, regionales y nacionales.

**DIRECCIÓN DE NORMALIZACIÓN**

**INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA.  
MUESTREO Y ENSAYO DE CENIZAS VOLANTES O PUZOLANAS  
NATURALES PARA USO COMO ADITIVO MINERAL EN EL CONCRETO  
DE CEMENTO PÓRTLAND****1.    OBJETO**

**1.1**    Estos métodos de ensayo cubren los procedimientos para el muestreo y el ensayo de cenizas volantes o puzolanas naturales o calcinadas para uso como aditivo mineral en el concreto de cemento Pórtland.

**1.2**    Los procedimientos aparecen en el siguiente orden:

|  | <b>Secciones</b> |
|--|------------------|
| Muestreo   | 6                |
| <b>ANÁLISIS QUÍMICO</b>  |                  |
| Reactivos y aparatos   | 9                |
| Contenido de Humedad   | 10 y 11          |
| Pérdida al fuego   | 12 y 13          |
| Dióxido de Silicio, óxido de Aluminio, óxido de hierro, óxido de calcio, óxido de magnesio, y trióxido de azufre | 14               |
| Alcalis disponibles  | 15 y 16          |
| <b>ENSAYOS FÍSICOS</b>   |                  |
| Densidad   | 17               |
| Finura   | 18               |
| Incremento en la contracción por secado      de barras de mortero  | 19 a 21          |
| Estabilidad volumétrica  | 22               |
| Aire incorporado en el mortero   | 23 y 24          |
| Índice de actividad de resistencia con cemento Hidráulico  | 25 a 28          |
| Requerimiento de agua  | 29               |
| Efectividad del aditivo mineral en el control de las reacciones álcali-sílice                                    | 30               |

**1.3**    Esta norma se debe regir por el Sistema Internacional de Unidades. Véase la NTC 1000 (ISO 1000)

**1.4**    Esta norma no pretende señalar todos los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma, establecer las prácticas de seguridad y salud, y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reglamentarias

## **2.    NORMAS QUE DEBEN CONSULTARSE**

Las siguientes normas contienen disposiciones que mediante la referencia dentro de este texto, constituyen disposiciones de esta norma. En el momento de la publicación eran válidas las ediciones indicadas. Todas las normas están sujetas a actualización; los participantes, mediante acuerdos basados en esta norma, deben investigar la posibilidad de aplicar la última versión de las normas mencionada a continuación:

NTC 33: 1992, Ingeniería civil y arquitectura. Método para determinar la finura del cemento Pórtland por medio del aparato de Blaine de permeabilidad al aire. (ASTM C 204)

NTC 107: 1994, Ingeniería civil y arquitectura. Método para determinar la expansión en autoclave del cemento Pórtland. (ASTM C 151)

NTC 121: 1982, Ingeniería civil y arquitectura. Cemento Pórtland. Especificaciones físicas y mecánicas. (ASTM C 150)

NTC 174: 1994, Ingeniería civil y arquitectura. Especificaciones de los agregados para concreto. (ASTM C 33)

NTC 184: 1967, Ingeniería civil y arquitectura. Métodos de análisis químicos. (ASTM C 114)

NTC 220: 1992, Ingeniería civil y arquitectura. Método para determinar la resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico usando cubos de 50 mm de lado. (ASTM C 109)

NTC 221: 1992, Ingeniería civil y arquitectura. Método de ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico. (ASTM C 188)

NTC 224: 1995, Ingeniería civil y arquitectura. Método para determinar el contenido de aire en morteros de cemento hidráulico. (ASTM C 185)

NTC 294: 1992, Ingeniería civil y arquitectura. Método para determinar la finura del cemento hidráulico sobre el tamiz 45  $\mu\text{m}$ .(No. 325) (ASTM C 430)

NTC 1000: 1993, Metrología. Sistema Internacional de Unidades (ISO 1000).

NTC 3493: 1993, Ingeniería civil y arquitectura. Cenizas volantes y puzolanas naturales, calcinadas o crudas, utilizadas como aditivos minerales en el concreto de cemento Pórtland. (ASTM C 618).

NTC 3828: 1996, Ingeniería civil y arquitectura. Método de ensayo para la determinación de la reactividad potencial a los álcalis de mezclas de cemento-agregado (Método de la barra de mortero).(ASTM C 227)

NTC 3937: 1996, Ingeniería civil y arquitectura. Arena normalizada para ensayos de cemento hidráulico (ASTM C 778)

ASTM C 157: 1993, Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic Cement Mortar and Concrete.

ASTM C 226: 1995, Specification for Air-Entraing Additions for Use in the Manufacture of Air-Entraing Pórtland Cement.

ASTM C 441: 1989, Test Method for Effectiveness of Mineral Admixtures or Ground Blast-Furnace Slag in Preventing Excessive Expansion of Concrete Due to Alkali-Silica Reaction.

### **3.    IMPORTANCIA Y USO**

**3.1**    Estos métodos de ensayo son usados para desarrollar datos comparativos para los requisitos de la NTC 3493 (ASTM C 618). Estos métodos de ensayo están basados en estipulaciones que permiten ensayos altamente normalizados en el laboratorio y no pretenden simular las condiciones reales de trabajo.

#### **3.1.1   Índice de actividad de resistencia**

El ensayo para el índice de actividad de resistencia es usado para determinar cuando un aditivo mineral resulta de un nivel aceptable de desarrollo de resistencia, cuando se usa con cemento hidráulico en el concreto. Dado que el ensayo es efectuado con mortero, los resultados pueden no suministrar una correlación directa de cómo contribuye el aditivo mineral en la resistencia del concreto.

#### **3.1.2   Ensayos químicos**

Las determinaciones de los componentes químicos y los límites colocados para cada uno no predicen el desempeño de un aditivo mineral con cemento hidráulico en el concreto, pero ayudan colectivamente a describir la composición y la uniformidad del aditivo mineral.

### **4.    MATERIALES**

#### **4.1.   ARENA NORMAL GRADADA**

La arena usada para hacer los especímenes de ensayo para determinar el índice de actividad con cal o cemento Pórtland debe ser arena de sílice natural conforme a los requisitos para arena normal gradada de la NTC 3937 (ASTM C778).

Nota 1. Segregación de arena gradada. La arena normal gradada debe ser manejada de tal manera que se prevenga la segregación, dado que las variaciones en la gradación de la arena causan variaciones en la consistencia del mortero. Al vaciar los sacos o contenedores se debe tener cuidado para prevenir la formación de montículos de arena o cráteres, por cuyas pendientes rodarían las partículas más gruesas. Los contenedores deben ser de suficiente tamaño para permitir estas precauciones. No se deben usar implementos para sacar la arena de los sacos mediante gravedad.

#### **4.2.   CAL HIDRATADA**

La cal hidratada usada en los ensayos debe ser hidróxido de calcio de grado reactivo, 95 % mínimo calculado como  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (Véase la nota 2), y tener una finura mínima de 2500  $\text{m}^2/\text{kg}$ , tal como se determina de acuerdo con la NTC 33 (ASTM C204).

Nota 2. El hidróxido de calcio debe ser protegido de la exposición al dióxido de carbono. El material restante de un contenedor abierto después de un ensayo no debe ser usado para los ensayos siguientes.

#### **4.3    CEMENTO PÓRTLAND**

El cemento Pórtland usado en el ensayo de índice de actividad de resistencia con cemento Pórtland debe cumplir con los requisitos de la NTC 121 (ASTM C150) y tener una resistencia mínima a la compresión de 35 MPa a los 28 d, y álcalis totales ( $\text{Na}_2\text{O} + 0,658 \text{K}_2\text{O}$ ) no menores de 0,50 % y no mayores del 0,80 %

**4.3.1** Se permite el uso de un cemento Pórtland disponible localmente en el índice de actividad de resistencia o un cemento del proyecto que no llene los requisitos del numeral 4.3, cuando estas variaciones a los requisitos de tal numeral sean informados, y el uso del cemento Pórtland es requerido.

## **5.    TAMAÑO Y NUMERO DE MUESTRAS**

**5.1** Las muestras para los propósitos de estos ensayos deben pesar al menos 2 kg cada una cuando van a ser compuestas. Las muestras para el ensayo individual, sobre las que se van a efectuar todos los ensayos especificados, deben pesar al menos 4 kg.

**5.2** Las muestras de ensayo deben ser individuales o muestras compuestas, tal como se especificó, y una muestra individual de ensayo debe representar no más de 400 t.

**5.3** El muestreo debe ser hecho por, o bajo la dirección de un representante responsable del comprador.

## **6.    MUESTREO**

**6.1** El aditivo mineral puede ser muestreado mediante cualquiera de los siguientes métodos:

### **6.1.1 Del transportador de entrega al almacenamiento a granel**

Se toma una muestra de 2 kg o más de por lo menos cada 400 t, pasando sobre el transportador. Esto puede lograrse tomando la muestra de ensayo completa en una sola operación o combinando varias porciones tomadas a intervalos regulares, conocido como el "método compuesto". Cuando se obtenga una muestra compuesta, se asegura combinando aproximadamente pesos iguales del aditivo mineral tomadas a intervalos regulares. Se pueden usar muestreadores automáticos para la obtención de muestras.

### **6.1.2 Del almacenamiento a granel a los puntos de descarga**

Se saca suficiente aditivo mineral de las compuertas de descarga para obtener muestras representativas del mismo, tomadas a intervalos regulares durante la operación de descarga. Se toma una muestra de 2 kg para por lo menos 400 t, tal como se describió en el numeral 6.1.1.

### **6.1.3 Del almacenamiento a granel por medio de tubos de muestreo**

Cuando no se puedan aplicar los métodos descritos en los numerales 6.1.1. y 6.1.2., y cuando la profundidad del aditivo mineral a ser muestreado no exceda los 3 m, se obtienen las muestras mediante tubos de muestreo insertados verticalmente hasta la profundidad total del aditivo mineral. Se toman las muestras desde puntos bien distribuidos sobre el área de almacenamiento.

**6.1.4** En el caso de muestras de carros y camiones en los que se este enviando el aditivo mineral desde una fuente, se combinan las muestras de múltiples carros o camiones para formar una muestra de ensayo que no represente más de 400 t. Cuando los envíos de granel son muestreados se toman muestras representativas de puntos bien distribuidos.

## **7.    PREPARACIÓN DE LA MUESTRA**

**7.1**    Se preparan muestras compuestas para los ensayos, juntando todas las muestras de ensayo en grupos, cada grupo representando el número de toneladas requeridas por el ensayo o los ensayos para los cuales se necesita la muestra compuesta. De cada una de las muestras de ensayo de un grupo, se toman proporciones iguales, suficientes en cantidad para formar una muestra compuesta tan grande como para permitir hacer las determinaciones físicas o químicas requeridas. Se homogeniza la muestra compuesta completamente antes de su uso.

## **8.    NÚMERO DE ENSAYOS**

**8.1**    Cada muestra representativa de 400 t, o la muestra representativa de la cantidad muestreada cuando ésta es menor de 400 t, debe tener los siguientes ensayos:

**8.1.1**    Finura. (Análisis del porcentaje retenido en el tamiz No. 325 (45 µm))

**8.1.2**    Contenido de humedad

**8.1.3**    Gravedad específica

**8.1.4**    Pérdida al fuego

**8.1.5**    Estabilidad volumétrica

**8.2**    Todos los otros ensayos físicos y determinaciones químicas deben ser efectuados sobre muestras compuestas representativas de cada 2 000 t. Esta muestra compuesta debe ser preparada combinando partes iguales de 5 muestras consecutivas, cada una de las cuales representa 400 t.

## **ANÁLISIS QUÍMICO**

### **9.    GENERAL**

**9.1**    Todos los aparatos, reactivos, y técnicas deben cumplir con los requisitos de la NTC 184 (ASTM C114).

### **9.2    PUREZA DEL AGUA**

A menos que se indique de otra forma las referencias para el agua deben ser entendidas como agua destilada o agua de alta pureza.

## **CONTENIDO DE HUMEDAD**

### **10.    PROCEDIMIENTO**

**10.1**    Se seca una muestra y se pesa, tal como se recibió, a peso constante en un horno y con una temperatura de 105 °C a 110 °C.

### **11.    CÁLCULOS**

**11.1**    Se debe calcular el porcentaje de humedad con una precisión del 0,1 %, así:

$$\text{Contenido de humedad, \%} = \left(\frac{A}{B}\right) \times 100$$

Donde:

- A        =        Pérdida de peso durante el secado  
B        =        Peso tal como se recibió.

## **PÉRDIDA AL FUEGO**

### **12. PROCEDIMIENTO**

**12.1** Se debe determinar la pérdida al fuego de acuerdo con los procedimientos descritos en la NTC 184 (ASTM C 114), excepto que el material restante de la determinación del contenido de humedad, debe ser quemado a peso constante en un crisol de porcelana sin tapa, a  $750\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### **13. CÁLCULOS**

**13.1** Se calcula el porcentaje de la pérdida al fuego con una precisión del 0,1%, así:

$$\text{Pérdida al fuego, \%} = \left(\frac{A}{B}\right) \times 100$$

Donde:

- A        =        pérdida de peso entre  $105\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $750\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$   
B        =        peso de la muestra usada libre de humedad.

**DIÓXIDO DE SILICIO, ÓXIDO DE ALUMINIO, ÓXIDO DE HIERRO,  
ÓXIDO DE CALCIO, ÓXIDO DE MAGNESIO Y TRIÓXIDO DE AZUFRE**

**14. PROCEDIMIENTO**

**14.1** Se determinan los porcentajes de estos óxidos tal como se requiere de acuerdo con las secciones aplicables de la NTC 184 (ASTM C 114) para materiales que tengan un residuo insoluble mayor del 1 % (Véase la nota 3).

Nota 3. Se pueden emplear los métodos rápidos e instrumentales similares a los de la NTC 184 (ASTM C 114).

**ÁLCALIS DISPONIBLES**

**15. PROCEDIMIENTO**

**15.1** Se pesan 5.0 g de la muestra y 2.0 g de cal hidratada sobre una pieza de papel de pesaje, se mezcla cuidadosamente usando una espátula de metal, y se pasan a un tubo de ensayo pequeño de plástico de aproximadamente 25 ml de capacidad. Se agregan 10.0 ml de agua a ésta mezcla, se sella el tubo asegurando la tapa con cinta (Véase la nota 4), se mezcla agitando hasta que la mezcla sea uniforme y se almacena a  $38 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Nota 4. Para asegurar que no ocurra la pérdida de humedad de la pasta, se coloca el tubo sellado en un contenedor sellable, se agrega agua suficiente para cubrir el fondo del contenedor y se sella.

**15.2** Se abre el tubo a los 28 d y se transfieren los contenidos a una cápsula de 250 ml. Se rompe y se pulveriza esta torta con un mazo, adicionando una pequeña cantidad de agua si es necesario, de tal forma que se obtenga un lodo uniforme que no contenga grumos (Véase la Nota 5). Se agrega agua suficiente para completar un volumen total de 200 ml. Se deja reposar 1 h a temperatura ambiente agitando frecuentemente. Se filtra a través de un papel filtro de textura media dentro de un frasco volumétrico de 500 ml. Se lava muy bien con agua caliente (8 a 10 veces).

Nota 5. A veces puede ser necesario romper el tubo y retirar el plástico de la torta sólida. En tales casos, se debe tener mucho cuidado para evitar la pérdida de material y para remover todo el material sólido de los fragmentos de el tubo. Si la torta está demasiado dura para romperla y pulverizarla en la cápsula se debe usar un mortero.

**15.3** Se neutraliza el filtrado con HCl diluido (1 + 3), usando 1 a 2 gotas de solución de fenolftaleína como indicador. Se agregan exactamente 5 ml de HCl diluido (1 + 3) en exceso. Se enfría la solución a temperatura ambiente y se llena el frasco volumétrico hasta la marca con agua destilada. Se determina la cantidad de óxidos de sodio y de potasio en la solución usando el procedimiento de la NTC 184 (ASTM C 114). Excepto que las soluciones estándar deben ser hechas para contener 8 ml de solución madre de cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ) por litro de solución estándar, y la solución tal como se preparó debe ser usada en lugar de la solución de cemento.

Nota 6. Las soluciones estándar preparadas con 8 ml de solución madre de cloruro de Calcio ( $\text{CaCl}_2$ ), contienen el equivalente de 504 ppm de CaO. Los ensayos han mostrado que esta cantidad esta muy próxima a la cantidad de calcio disuelta en la solución del ensayo.

**16. CÁLCULOS E INFORME**

**16.1** Se debe calcular los resultados como el porcentaje del peso del material de la muestra original. Se informan como el porcentaje equivalente de óxido de sodio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ), calculado así:

$$\% \text{ Equivalente de } \text{Na}_2\text{O} = \% \text{ Na}_2\text{O} + 0.658 \times \% \text{ K}_2\text{O}$$

**ENSAYOS FÍSICOS - DENSIDAD****17. PROCEDIMIENTO**

**17.1** Se determina la densidad de la muestra de acuerdo con el procedimiento descrito en la NTC 221 (ASTM C 188), exceptuando el uso de aproximadamente 50 g de aditivo mineral en lugar de los aproximados 64 g de cemento, a los que se refiere la norma anterior.

**FINURA, CANTIDAD RETENIDA AL TAMIZAR EN HÚMEDO  
EN UN TAMIZ No. 325 (45 mm)****18. PROCEDIMIENTO**

**18.1** Se determina la cantidad de la muestra retenida cuando se tamice en húmedo en un tamiz No. 325 (45  $\mu\text{m}$ ) de acuerdo con la NTC 294 (ASTM C 430), exceptuando el uso de una muestra representativa de la ceniza volante o puzolana natural en lugar del cemento hidráulico en la determinación.

Nota 7. La NTC 294 (ASTM C 430) ha sido adoptada para el ensayo de la finura en cenizas volantes. Sin embargo, ciertos requisitos tales como la calibración, la limpieza, e interpretación de los resultados de los ensayos, algunas veces no son los apropiados para cenizas volantes.

**INCREMENTO DE LA CONTRACCIÓN POR SECADO DE LAS BARRAS DE MORTERO****19. ESPECÍMENES DE ENSAYO**

**19.1** Se preparan los especímenes de ensayo de acuerdo con los procedimientos descritos en la norma ASTM C 157, excepto que se deben moldear 3 barras de mortero de ambas mezclas, la de control y la de ensayo, usando las siguientes proporciones:

|                         | <b>Mezcla de control</b>                             | <b>Mezcla de ensayo</b> |
|-------------------------|--|-------------------------|
| Cemento Pórtland, g     | 500  | 500                     |
| Aditivo mineral, g      | Ninguno  | 125                     |
| Arena normal gradada, g | 1 375  | 1 250                   |
| Agua                    | Suficiente para producir una fluidez de 100% a 115 % |                         |

**20.    PROCEDIMIENTO**

**20.1**    Se curan y se miden los especímenes de ensayo de acuerdo con la norma ASTM C 157, excepto que el período de curado en húmedo (incluyendo el período en los moldes) debe ser de 7 d, y la lectura comparativa a la edad de 24 h  $\pm$  ½ h se debe omitir. Inmediatamente después de tomar la lectura del comparador al final del período de 7 d de curado húmedo se almacenan los especímenes y después de 28 d de almacenamiento al aire, se toma una lectura del comparador para los mismos

**21.    CÁLCULOS E INFORME**

**21.1**    Se calcula el incremento en la contracción por secado de las barras de mortero, (Si), así:

$$Si = St - Sc$$

Donde:

St        =        promedio del encogimiento por secado de los especímenes de ensayo calculado como sigue

Sc        =        promedio del encogimiento por secado de los especímenes de control, calculado como sigue:

$$S = \frac{[CRD \text{ inicial} - CRD] \times 100}{G}$$

Donde:

S                =        porcentaje del encogimiento por secado de los especímenes de ensayo o de control

CRD inicial    =        diferencia entre la lectura del comparador de los especímenes y la barra de referencia a los 7 d del curado húmedo.

CRD            =        diferencia entre la lectura del comparador del espécimen y la barra de referencia a los 28 d de secado

G                =        longitud calibrada de los especímenes (250 mm).

**21.2**    Se informan los resultados con una precisión de 0,01. Si el promedio del encogimiento por secado de los especímenes de control es mayor que el encogimiento promedio por secado de los especímenes de ensayo, se antepone un signo menos para el incremento del encogimiento por secado de las barras de mortero informadas.

**ESTABILIDAD VOLUMÉTRICA****22. PROCEDIMIENTO**

**22.1** Se desarrolla el ensayo de estabilidad de acuerdo con la NTC 107 (ASTM C 151), excepto que el espécimen debe ser moldeado con una pasta compuesta por 25 partes en peso de aditivo mineral y 100 partes en peso de cemento Pórtland que cumpla con la NTC 121 (ASTM C 150)

**INCORPORACIÓN DE AIRE EN EL MORTERO****23. PROCEDIMIENTO**

**23.1** Se usa cemento Pórtland, de acuerdo con los requisitos para los Tipos I o II de la NTC 121 (ASTM C 150), se prepara una mezcla de ensayo de acuerdo con la NTC 224 (ASTM C 150), usando las siguientes proporciones:

|   | <b>Mezcla de Ensayo</b> |
|---|-------------------------|
| Cemento Pórtland, g   | 300                     |
| Aditivo mineral, g  | 75                      |
| Arena normal gradada, g   | 1 125                   |
| Agua, ml, (suficiente para lograr una fluidez de 80% a 95 %)  | Y                       |
| Solución de resina de vinsol neutralizado, ml, (suficiente para producir un contenido de aire de 18% ± 3 % (Véase la nota 8)) | Z                       |

Nota 8. La cantidad de solución de resina de vinsol usada debe ser considerada como parte del agua de mezclado.

**23.2** La solución neutralizada de resina de vinsol usada en debe ser una solución comercial de acuerdo con la norma ASTM C 226. Si es necesario diluir cualquiera de estas soluciones use agua destilada o desmineralizada (Véase la nota 9).

Nota 9. Los minerales disueltos en el agua potable pueden precipitar las soluciones de resina de vinsol y disminuir enormemente sus características incorporadoras de aire.

**23.3** Se preparan 2 mezclas de ensayo con suficiente resina vinsol neutralizada para producir un contenido de aire de 15 % a 18 % en la primera mezcla y 18 % al 21 % en la segunda mezcla. Se determina luego por interpolación, la cantidad de resina vinsol, expresada como porcentaje del peso del cemento, requerida para producir un contenido de aire del 18 %

**24. CÁLCULOS**

**24.1** Se calcula el contenido de aire de las mezclas de ensayo, así:

$$W_a = \frac{W}{400}$$

$$\text{Contenido de aire, porcentaje del volumen} = 100 \times \left[ 1 - \frac{W_a}{W_c} \right]$$

$$W_c = \frac{300 + 1125 + 75 + (300 \times P \times 0,01)}{\left(\frac{300}{3,15}\right) + \left(\frac{1125}{2,65}\right)} + \left(\frac{75}{D}\right) + \left[\frac{(300 \times P \times 0,01)}{1}\right]$$

Donde:

- Wa = peso real por unidad de volumen de mortero como se determinó mediante la NTC 224, (ASTM C 185) (g/ml)
- W = peso de los 400 ml de mortero especificados (g) (ASTM C 185) (Véase la NTC 224).
- Wc = peso teórico por unidad de volumen, calculado en base libre de aire y usando los valores para densidad y las cantidades de los materiales en la mezcla, (g/ml)
- P = porcentaje de agua de mezclado más la solución de resina vinsol, basado en el peso del cemento
- D = densidad del aditivo mineral en la mezcla, (t/m<sup>3</sup>)

## ÍNDICE DE LA ACTIVIDAD DE RESISTENCIA CON CEMENTO PÓRTLAND

### 25. ESPECÍMENES

**25.1** Se moldean los especímenes de una mezcla de control y de una mezcla de ensayo de acuerdo con la NTC 220 (ASTM C 109). El cemento Pórtland usado en el ensayo del índice de actividad de resistencia debe cumplir con los requisitos de la NTC 121 (ASTM C 150) y con los límites de álcalis y resistencia dados en el numeral 3. En la mezcla de ensayo, se reemplaza el 20 % de la masa de la cantidad de cemento usado en la mezcla de control, por la misma masa del espécimen de ensayo.

Se hacen mezclas para 6 cubos, así:

#### 25.1.1 Mezcla de control

500 g de cemento Pórtland, 1 375 g de arena normal gradada y 242 ml de agua

#### 25.1.2 Mezcla de ensayo

400 g de cemento Pórtland, 100 g del espécimen de ensayo, 1 375 g de arena normal gradada y la cantidad de agua necesaria, en ml, para lograr una fluidez de  $\pm 5\%$  con respecto a la mezcla de control.

### 25.2 NÚMERO DE ESPECÍMENES

**25.2.1** Dado que la NTC 3493 (ASTM C 618) especifica que el cumplimiento con el índice de actividad de resistencia a los 7 d ó 28 d, indica el cumplimiento de la norma, solo se puede requerir una edad. A opción del productor o el usuario después de preparar la mezcla de los 6 cubos, solo es necesario moldear 3 cubos de las mezclas de control y ensayo para efectuar la prueba de 7 d ó 28 d.

**26. ALMACENAMIENTO DE LAS ESPECÍMENES**

**26.1** Después del moldeado, se colocan los especímenes y los moldes (sobre placas de base) en el cuarto o cámara húmeda a  $23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$  durante 20 h a 24 h. Mientras estén en el cuarto o cámara húmeda se deben proteger las superficies del goteo de agua. Se retiran los moldes del cuarto o cámara húmeda y se remueven los cubos de los moldes. Se colocan y almacenan los cubos en agua saturada de cal, tal como se especifica en la NTC 220 (ASTM C 109).

Nota 10. Se debe tener cuidado para que no se produzcan zonas de diferente temperatura dentro de la cámara de curado.

**27. ENSAYO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**

**27.1** Se determina la resistencia a la compresión tal como se especifica en la NTC 220 (ASTM C 109), de 3 especímenes de la mezcla de control y 3 especímenes de la mezcla de ensayo a edades de 7 d, 28 d, o ambas, dependiendo de cuántas especímenes fueron moldeados en el numeral 24.

**28. CÁLCULOS**

**28.1** Se calcula el índice de la actividad de resistencia con cemento Pórtland, así:

$$\text{Índice de la actividad de resistencia con cemento Pórtland} = \frac{A}{B} \times 100$$

Donde:

A = promedio de la resistencia a la compresión de los cubos de la mezcla de ensayo, (Pa), y

B = promedio de la resistencia a la compresión de los cubos de la mezcla de control, (Pa).

**REQUERIMIENTO DE AGUA****29. CÁLCULOS**

**29.1** Se calcula el agua requerida para el índice de la actividad de resistencia con cemento Pórtland, así:

$$\text{Requerimiento de agua, porcentaje de control} = \left( \frac{Y}{242} \times 100 \right)$$

Donde:

Y = agua requerida para que la mezcla de ensayo tenga una fluidez con respecto a la mezcla de control de  $\pm 5\%$ .

**EFFECTIVIDAD DEL ADITIVO MINERAL EN EL CONTROL DE LAS REACCIONES  
ALCALI-SILICE (Véase el Apéndice A1.)**

**30.    PROCEDIMIENTO**

**30.1**    Se determina la expansión del mortero hecho con un aditivo mineral y un cemento de ensayo, como el porcentaje de la expansión del mortero hecho con cemento bajo en álcalis, de acuerdo con la norma ASTM C 441, modificada en los siguientes párrafos.

**30.1.1 Mezcla de Control**

La mezcla de control se hace tal como se requiere en la norma ASTM C 441, excepto que el cemento de control debe tener un contenido de álcali (como  $\text{Na}_2\text{O}$  equivalente) menor del 0.60 % (Véase la nota 11).

Nota 11. Generalmente el cemento de control puede tener un contenido de álcalis como  $\text{Na}_2\text{O}$  equivalente, entre 0,50 % y 0,60 %. Sin embargo, se puede usar un cemento de control con un contenido menor de álcali, si se desea, para demostrar la equivalencia.

**30.1.2 Mezcla de ensayo usando aditivos minerales**

La cantidad combinada de cemento más aditivo mineral debe ser de un total de 400 g. Véase el Apéndice A1. Se usan 900 g de agregado de vidrio de borosilicato y suficiente agua de mezclado para producir una fluidez entre 100 % y 115 %, tal como se determinó de acuerdo con la NTC 220.(ASTM C 109) El cemento usado en la mezcla de ensayo debe tener un contenido de álcalis mayor que el del cemento en la mezcla de control (Véase la nota 12).

Nota 12. Generalmente este cemento de ensayo tiene un contenido de álcalis igual o mayor que la usada en el trabajo.

**30.1.3** Se almacenan y se miden los especímenes de ensayo tal como se especifica en la NTC 3828 (ASTM C227). Se mide la longitud de los especímenes a la edad de 1 d y 14 d.

**31.    INFORME**

**31.1**    Se incluye en el informe para cada mezcla de ensayo la comparación hecha.

**31.1.1** La expansión del día 14 de la mezcla de ensayo como un porcentaje de la mezcla de control a esa edad.

**31.1.2** La identificación y el análisis químico del aditivo mineral,

**31.1.3.** El porcentaje de la masa del aditivo mineral basado en el total de la masa del cemento más el aditivo mineral en la mezcla de ensayo.

**31.1.4** El contenido de álcalis de los cementos de las mezclas de control y ensayo como álcalis equivalente ( $\text{Na}_2\text{O} + 0.658 \text{K}_2\text{O}$ ).

**PRECISIÓN Y SESGO**

**32. PRECISIÓN Y SESGO**

**32.1 ENSAYO PARA DETERMINAR EL ÍNDICE DE LA ACTIVIDAD DE RESISTENCIA.**

**32.1.1** La precisión fue determinada partiendo de dos estudios interlaboratorios que involucraron 2 cenizas volantes Clase F y una puzolana Clase N. Los laboratorios participantes se numeraron 12 y 7 en los 2 estudios.

**Tabla 1. Dentro y entre los estimativos de precisión de laboratorio para la NTC 184 (ASTM C 114) aplicados al análisis de cenizas volantes**

| Oxido                          | 1s   |      | d2s  |      |
|--------------------------------|------|------|------|------|
|                                | W/L  | B/L  | W/L  | B/L  |
| S <sub>2</sub> O <sub>2</sub>  | 0,62 | 0,86 | 1,75 | 2,45 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1,46 | 2,29 | 4,12 | 6,48 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |      |      |      |      |
| <2%                            | 0,12 | 0,11 | 0,34 | 0,31 |
| ≥ 2%                           | 0,12 | 0,25 | 0,34 | 0,71 |
| CaO                            | 0,63 | 0,74 | 1,79 | 2,09 |
| MgO                            | 0,20 | 0,21 | 0,55 | 0,61 |
| SO <sub>3</sub>                | 0,01 | 0,03 | 0,27 | 0,48 |
| Humedad                        | 0,05 | 0,06 | 0,15 | 0,17 |
| Residuo Insoluble              | 0,09 | 0,12 | 0,25 | 0,35 |

**32.1.2** La desviación estándar encontrada para los ensayos del índice de actividad de resistencia realizados por un solo operario fue de 3.7 % (1S). Esto no parece variar ni con el material ni con la edad del ensayo, sobre el rango de 7 d a 28 d. Por consiguiente, los resultados de 2 ensayos conducidos apropiadamente por el mismo operario sobre el mismo material no deben diferir en mas de un 10,5 % (d2S) del promedio de los 2 resultados.

**32.1.3** La desviación estándar para ensayos del índice de actividad de resistencia conducidos en múltiples laboratorios fue de 4,5 % (1S). Esto no parece ni variar con el material ni con la edad del ensayo, sobre un rango de 7 d a 28 d. Por consiguiente, los resultados de dos ensayos conducidos apropiadamente en diferentes laboratorios sobre el mismo material no deben diferir en más de un 12,7 % (d2S) del promedio de los 2 resultados.

**32.1.4** Dado que no hay disponible material de referencia aceptado para determinar el sesgo para este procedimiento, no se hace referencia al respecto.

**32.2 ANÁLISIS QUÍMICO**

**32.2.1** La precisión y sesgo estimados para la NTC 184 (ASTM C 114) cuando son aplicados al análisis de puzolanas son calculados partiendo de un estudio interlaboratorios que involucró 7 laboratorios, cada uno analizando cenizas volantes 4 NIST SRM. Un informe de investigación que describe los resultados de estos estudios esta disponible en la ASTM.

**32.2.2 Precisión**

Los estimativos dentro del laboratorio (W/L) y entre laboratorios (B/L) de la desviación estándar y los estimativos de las diferencias máximas esperadas entre determinaciones aplicadas en el 95 % de las comparaciones están resumidas en la Tabla 1.

**32.2.3 Sesgo**

Un sesgo estadísticamente significativo se encontró en la determinación de CaO y MgO. Las determinaciones de CaO promediaron 0,46 % más alto que el valor certificado para el SRM. Las determinaciones de MgO promediaron 0,19 % más alto que el valor certificado para el SRM.

**33.    PALABRAS CLAVES**

**33.1**    Cenizas volantes; puzolana natural.

**34.    DOCUMENTO DE REFERENCIA**

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Test Method for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete, 1994, 7 p (ASTM C 311)

## **Apéndice A (informativo)**

### **A.1. COMENTARIO SOBRE LA SECCIÓN 30**

**A1.1** Los procedimientos de ensayo del numeral 30 están diseñados para determinar la efectividad de las cenizas volantes, o la puzolana natural, en la prevención de la expansión excesiva resultante de una reacción entre ciertos agregados y álcalis en las mezclas de cemento Pórtland. Los ensayos se efectúan de acuerdo con el método de ensayo de la norma ASTM C 441 usando:

A.1.1.1 400 g de cemento Pórtland o una combinación de cemento más cenizas volantes o puzolana natural de un total de 400 g,

A.1.1.2 900 g de vidrio de borosilicato

A.1.1.3 Agua suficiente para obtener una fluidez del 100 % al 115 %.

**A.1.2** La mezcla de control es hecha con un cemento Pórtland bajo en álcalis. La mezcla de ensayo, hecha de un porcentaje del ensayo de cenizas volantes o puzolana natural, debe ser hecha con el mismo cemento o cualquier otro cemento que tenga un contenido de álcalis equivalente mayor del 0,60 %.

#### **A.1.3 Interpretación de resultados**

Las cenizas volantes o las puzolanas naturales son consideradas efectivas cuando se usan a porcentajes iguales o mayores que los porcentajes usados en la mezcla de ensayo con cementos que tienen contenidos de álcalis que no exceden más del 0,05 % al contenido de álcalis del cemento usado en la mezcla de ensayo.

#### **A.1.4 Selección del porcentaje de cenizas volantes o de puzolana natural**

Puede ser necesario hacer mezclas de ensayo con varios porcentajes de cenizas volantes o puzolana natural para determinar la cantidad mínima necesaria para ser considerada efectiva en la reducción de la expansión al nivel producido por el cemento de control bajo en álcalis. La cantidad mínima de cenizas volantes o puzolana natural debe ser del 15 % por peso del material cementante.

#### **A.1.5 Selección del contenido de álcalis del cemento usado en la mezcla de ensayo**

En algunos casos puede no ser necesario demostrar que las cenizas volantes o la puzolana natural reducen la expansión, pero más aún que no incrementan la expansión. En este caso las mezclas de ensayo y control deben ser hechas con el mismo cemento bajo en álcalis usado en la mezcla de control para describir mejor cualquier incremento en la expansión.

El porcentaje de las cenizas volantes o las puzolanas naturales usado puede necesitar ser lo suficientemente alto para demostrar que el porcentaje excede el peor, si tal peor existe para la combinación.

**A.1.6 SELECCIÓN DEL CEMENTO DE CONTROL BAJO EN ÁLCALIS**

El procedimiento del ensayo en este método y los requisitos en la NTC 3493 (ASTM C 618) están diseñados para medir la efectividad relativa de las cenizas volantes o la puzolana natural en la reducción de la expansión debido a las reacciones álcali-sílice. La efectividad es una función de ambos, el contenido de álcalis del cemento usado en la mezcla de ensayo y el porcentaje de cenizas volantes o puzolana natural. Mientras más alto sea el contenido de álcalis del cemento de la mezcla de ensayo y mientras más bajo el porcentaje de cenizas volantes o puzolana natural usada, más efectivas son las cenizas o la puzolana. Este procedimiento de ensayo y el 100 % de los criterios de la NTC 3493 (ASTM C 618) deben ser usados como una guía para mejorar el desempeño en campo de las mezclas de trabajo, si se asume que el uso del cemento de control bajo en álcalis previene la expansión excesiva en servicio con materiales propuestos para uso en el trabajo.

Esta es la situación cuando los agregados propuestos para el uso contienen componentes rápidamente reactivos pero que no exceden el 0,05 % de la expansión en 3 meses ó 0,10 % de la expansión en 6 meses, al ser ensayados con el cemento de control en la NTC 3828 (ASTM C 227). En tales casos, el cemento de control usado en este método de ensayo debe tener un contenido de álcalis tal como se requiere para controlar las reacciones expansivas de los agregados que se están usando, por ejemplo en el rango del 0,50 % al 0,60 %. Véase el apéndice de la NTC 174 (ASTM C 33).

A.1.6.1 Se han identificado ciertos agregados reactivos que producen una expansión de deterioro después de muchos años de servicio, cuando se usan con cementos con contenidos equivalentes de álcalis por debajo del 0,60 %. A menudo estos agregados reactivos no producen expansiones en la NTC 3828 (ASTM C 227), que excedan los discutidos en el apéndice de la NTC 174 (ASTM C 33). Hasta que alcanzan una edad muy avanzada, tal vez 1 año ó 2 años. En estos casos, es apropiado el uso de un cemento de control con un contenido de álcalis significativamente menor del 0,60 %.