

01146 5
2º



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA

ADITIVOS PARA CONCRETO HIDRÁULICO

T E S I S

PARA OBTENER EL GRADO DE :

**MAESTRO EN INGENIERÍA
(CONSTRUCCIÓN)**

PRESENTADA POR:

ING. MARCO CÉSAR DE JESÚS MARTÍNEZ MONTOYA

DIRIGIDA POR:

ING. ALFONSO MAURICIO ELIZONDO RAMÍREZ

MIEMBROS DEL JURADO:

- Dr. J. Abraham Díaz Rodríguez
- Ing. A. Mauricio Elizondo Ramírez
- Ing. Salvador Díaz Díaz
- Ing. Juan Luis Cottier Caviedes
- Dr. Jesús Hugo Meza Puesto

273204



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**ADITIVOS PARA CONCRETO
HIDRÁULICO**

DEDICATORIA

A mis padres:

**José de Jesús
Y
Judith Glafira**

A mis hermanos:

**Alba Ruth
Luz Angélica
José de Jesús
Judith**

Por ser mi familia y guardar esa relación tan bella que existe entre nosotros, apoyándome en todo momento, dándome esa confianza y cariño que me anima a emprender cada meta en la vida.

A mi esposa:

Josefina

Por su cariño mostrado en todos los momentos compartidos, que con su amor y compañía me proporciona los más felices, y con su confianza y apoyo me ayuda a superar los más difíciles.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la fortaleza y convicción para lograr esta meta y permitirme vivir estos momentos.

A mis compañeros de maestría: Alicia, Arnulfo, Cecilia, Cristina, David, Emma, Fredy, Héctor, Javier, Mario, Omar, Policarpo, Rafael y Víctor, por la amistad brindada y por las experiencias compartidas juntos.

A mi asesor y director de Tesis, Ing. Alfonso Mauricio Elizondo Ramírez, quién me orientó y dio valiosas sugerencias durante la elaboración del presente trabajo.

A los profesores de la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, especialmente a los miembros del jurado: Dr. J. Abraham Díaz Rodríguez, Ing. A. Mauricio Elizondo Ramírez, Ing. Salvador Díaz Díaz, Ing. J. Luis Cottier Caviedes y Dr. J. Hugo Meza Puesto, quienes se encargaron de evaluar este trabajo y me proporcionaron valiosas sugerencias y comentarios.

A la Universidad Autónoma de Sinaloa, y en especial a la Facultad de Ingeniería de Culiacán, por verme nacer profesionalmente como ingeniero.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, al acentuar los conocimientos adquiridos durante la licenciatura y proporcionarme nuevos conocimientos que me ayudaron a crecer y madurar profesionalmente.

Al CONACYT, por incluirme en sus programas de apoyo a profesionales que desarrollan investigación mediante estudios de posgrado.

A todos mis amigos, por ayudarme a estar aquí.

Mil Gracias.

Marco César de Jesús Martínez Montoya.

ÍNDICE

	Pág.
OBJETIVO	xi
INTRODUCCIÓN	xii
CAPÍTULO 1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE ADITIVOS.	
1.1. Definición	2
1.2. Clasificación	2
1.3. Criterios para el empleo de aditivos	3
1.4. Aspectos económicos para su uso	8
CAPÍTULO 2. ADITIVOS QUÍMICOS REDUCTORES DE AGUA Y/O MODIFICADORES DEL TIEMPO DEL FRAGUADO.	
2.1. Aditivos reductores de agua	11
2.1.1. Características	11
2.1.2. Usos	11
2.1.3. Precauciones en el empleo	12
2.2. Aditivos retardantes de fraguado	13
2.2.1. Características	13
2.2.2. Usos	14
2.2.3. Precauciones en el empleo	15
2.3. Aditivos acelerantes	16
2.3.1. Características	17
2.3.2. Usos	19
2.3.3. Precauciones en el empleo	20
2.4. Aditivos reductores de agua y retardantes	22
2.4.1. Características	22

2.4.2. Usos	22
2.4.3. Precauciones en el empleo	22
2.5. Aditivos reductores de agua y acelerantes	23
2.5.1. Características	23
2.5.2. Usos	23
2.5.3. Precauciones en el empleo	23
2.6. Aditivos super reductores de agua	24
2.6.1. Características	24
2.6.2. Usos	25
2.6.3. Precauciones en el empleo	27
2.7. Aditivos super reductores de agua y retardantes	28
2.7.1. Características	28
2.7.2. Usos	28
2.7.3. Precauciones en el empleo	28
2.8. Especificaciones	28
2.8.1. Requisitos generales	29
2.8.2. Requisitos de uniformidad y equivalencia	33
2.8.3. Cloruro de calcio	33

CAPÍTULO 3. ADITIVOS INCLUSORES DE AIRE.

3.1. Características	38
3.2. Usos	39
3.3. Precauciones en el empleo	41
3.4. Especificaciones	44

CAPÍTULO 4. ADITIVOS MINERALES FINAMENTE DIVIDIDOS.

4.1. Clasificación	48
4.2. Características	49

4.3. Usos	52
4.4. Precauciones en el empleo	54
4.5. Especificaciones	57
4.5.1. Requisitos Químicos	58
4.5.2. Requisitos Físicos	60

CAPÍTULO 5. ADITIVOS MISCELÁNEOS.

5.1. Aditivos químicos para reducir la expansión álcali-agregado	66
5.2. Aditivos estabilizadores de volumen	67
5.3. Aditivos expansores por formación de gas	69
5.4. Aditivos reductores de permeabilidad	72
5.5. Aditivos impermeabilizantes	72
5.6. Aditivos repelentes de humedad	73
5.7. Aditivos inhibidores de corrosión del acero de refuerzo	74
5.8. Aditivos floculantes	76
5.9. Aditivos adhesivos integrales	76
5.10. Aditivos insecticidas, germicidas y fungicidas	78
5.11. Aditivos auxiliares para el bombeo	78
5.12. Aditivos para mezclas de inyección	80
5.13. Aditivos colorantes	80

CAPÍTULO 6. CONTROL DE CALIDAD

6.1 Muestreo	87
6.1.1. Clases de muestras	87
6.1.2. Tamaño de la muestra	88
6.1.3. Clasificación del muestreo	88
6.1.4. Procedimiento de muestreo	88
6.1.5. Preparación de la muestra	92
6.1.6. Empaque y remisión de muestras	93

6.2. Almacenamiento	93
6.3. Pruebas de verificación a los aditivos	94
6.3.1. Pruebas de selección	95
6.3.2. Pruebas de certificación de calidad	97
6.3.3. Pruebas de comportamiento en obra	98
CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES	101
REFERENCIAS	103
ANEXOS	
ANEXO 1. MÉTODO DE PRUEBA PARA ADITIVOS QUÍMICOS QUE REDUCEN LA CANTIDAD DE AGUA Y/O MODIFICAN EL TIEMPO DE FRAGUADO DEL CONCRETO (EN BASE A LA NORMA NMX-C-255-1988)	108
ANEXO 2. MÉTODO DE PRUEBA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA UNIFORMIDAD Y EQUIVALENCIA DE ADITIVOS QUÍMICOS (EN BASE A LA NORMA NMX-C-14-1981)	116
ANEXO 3. MÉTODO DE PRUEBA DEL CLORURO DE CALCIO (EN BASE A LA NORMA NMX-C-356-1988)	121
ANEXO 4. MÉTODO DE PRUEBA PARA ADITIVOS INCLUSORES DE AIRE (EN BASE A LA NORMA NMX-C-200-1978)	130
ANEXO 5. MÉTODO DE PRUEBA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO A LA CONGELACIÓN- DESHIELO ACELERADOS (EN BASE A LA NORMA NMX-C-205-1979)	136

ANEXO 6. MÉTODO DE PRUEBA PARA LA DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE DEL CONCRETO FRESCO POR EL MÉTODO DE PRESIÓN (EN BASE A LA NORMA NMX-C-157-1987)	145
ANEXO 7. MÉTODO DE PRUEBA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD PUZOLÁNICA (EN BASE A LA NORMA NMX-C-273-1978)	156
ANEXO 8. MÉTODO DE PRUEBA PARA CENIZA VOLANTE O PUZOLANA NATURAL EMPLEADA COMO ADITIVO MINERAL EN CONCRETO DE CEMENTO PORTLAND (EN BASE A LA NORMA NMX-C-179)	159
ANEXO 9. MÉTODO DE PRUEBA PARA DETERMINAR LA EFECTIVIDAD PARA PREVENIR LA EXPANSIÓN EXCESIVA DEL CONCRETO DEBIDA A LA REACCIÓN ÁLCALI-AGREGADO (EN BASE A LA NORMA NMX-C-298-1980)	174
ANEXO 10. MÉTODO DE PRUEBA PARA ADITIVOS EXPANSORES Y ESTABILIZADORES DE VOLUMEN DEL CONCRETO (EN BASE A LA NORMA NMX-C-90-1978)	181
ANEXO 11. MÉTODO DE PRUEBA DE PIGMENTOS PARA PRODUCIR CONCRETO COLOREADO (EN BASE A LA NORMA ASTM C 979-82, REAPROBADA EN 1993)	189

OBJETIVO.

Este documento proporciona lineamientos para la selección y empleo de aditivos para concreto hidráulico, así como los cuidados que se deben tener al aplicarlos.

INTRODUCCIÓN.

Los aditivos nacen por la necesidad de modificar las propiedades del concreto para adaptarlo a las necesidades específicas de trabajo. Con el empleo de aditivos se pueden obtener concretos de mejor calidad y más económicos.

Cada día el uso de aditivos es más común en la producción de concretos, ya que en ciertas ocasiones es la única solución para mejorar las propiedades del concreto o para hacerlo más económicamente atractivo.

Su empleo puede beneficiar a las etapas de diseño, fabricación, transportación, colocación y acabado del concreto.

Antes del empleo de aditivos, es necesario conocer el funcionamiento de los mismos para poder obtener el mejor desempeño del concreto. Debe tenerse presente que un aditivo no es un medicamento que venga a componer una mezcla mal diseñada y sólo deberá emplearse cuando haya un motivo justificado para su uso.

Normalmente el efecto deseado al usar un aditivo viene acompañado de uno o más efectos secundarios, por lo que siempre se deberá evaluar que los efectos que se provoquen no rebasen al efecto buscado.

La cantidad de aditivo es de primordial importancia, dado que, si se emplean en forma indiscriminada o de manera errónea, pueden causar serios efectos perjudiciales. Esto hace que el empleo de aditivos sea un arma de doble filo, dado que si se aplica correctamente puede generar resultados sorprendentes, pero si se emplea con ignorancia, los resultados pueden ser de consecuencias desastrosas, por lo que se deben hacer los ensayos suficientes con los materiales y en condiciones similares a las de la obra, para el debido conocimiento de su comportamiento.

OBJETIVO.

Este documento proporciona lineamientos para la selección y empleo de aditivos para concreto hidráulico, así como los cuidados que se deben tener al aplicarlos.

INTRODUCCIÓN.

Los aditivos nacen por la necesidad de modificar las propiedades del concreto para adaptarlo a las necesidades específicas de trabajo. Con el empleo de aditivos se pueden obtener concretos de mejor calidad y más económicos.

Cada día el uso de aditivos es más común en la producción de concretos, ya que en ciertas ocasiones es la única solución para mejorar las propiedades del concreto o para hacerlo más económicamente atractivo.

Su empleo puede beneficiar a las etapas de diseño, fabricación, transportación, colocación y acabado del concreto.

Antes del empleo de aditivos, es necesario conocer el funcionamiento de los mismos para poder obtener el mejor desempeño del concreto. Debe tenerse presente que un aditivo no es un medicamento que venga a componer una mezcla mal diseñada y sólo deberá emplearse cuando haya un motivo justificado para su uso.

Normalmente el efecto deseado al usar un aditivo viene acompañado de uno o más efectos secundarios, por lo que siempre se deberá evaluar que los efectos que se provoquen no rebasen al efecto buscado.

La cantidad de aditivo es de primordial importancia, dado que, si se emplean en forma indiscriminada o de manera errónea, pueden causar serios efectos perjudiciales. Esto hace que el empleo de aditivos sea un arma de doble filo, dado que si se aplica correctamente puede generar resultados sorprendentes, pero si se emplea con ignorancia, los resultados pueden ser de consecuencias desastrosas, por lo que se deben hacer los ensayos suficientes con los materiales y en condiciones similares a las de la obra, para el debido conocimiento de su comportamiento.

En la actualidad existe una gran diversidad de clases de aditivos, pero entre los más importantes se encuentran los aditivos químicos que reducen la cantidad de agua y/o modifican el tiempo de fraguado, que se emplean para mejorar la trabajabilidad o la resistencia del concreto, por mencionar algunos de sus usos principales; los aditivos inclusores de aire que tienen como efecto principal el de mejorar la resistencia a los ciclos de congelación-deshielo del concreto; los minerales finamente divididos, encabezados por las puzolanas que se utilizan para aumentar la durabilidad del concreto o para sustituir al cemento y con esto, disminuir el calor de hidratación, cuyo empleo principal es en concretos masivos; y por último, los aditivos misceláneos, en donde se agrupan los aditivos de uso menos frecuente y que se emplean con fines diversos, como el de inhibir la corrosión del acero de refuerzo, generar una expansión controlada o colorear al concreto, por citar algunos ejemplos.

CAPÍTULO I.

Descripción General de Aditivos.

1. Descripción General de Aditivos.

1.1. Definición.⁽¹⁾

Un aditivo es un material distinto a los componentes básicos del concreto hidráulico (cemento, agua y agregados), que tiene el propósito fundamental de modificar convenientemente el comportamiento del concreto en estado fresco y/o de inducir o mejorar determinadas propiedades deseables en el concreto endurecido, que se añade a la revoltura inmediatamente antes o durante el mezclado, ejerciendo un control sobre su dosificación.

De acuerdo a la definición anterior, un aditivo es cualquier ingrediente que no sea el básico para la elaboración del concreto hidráulico, por lo que no se consideran aditivos las puzolanas y las escorias cuando están integradas en el cemento, tampoco los polímeros o las fibras de refuerzo porque dan origen a concretos que no se consideran convencionales.

Las puzolanas y las escorias solamente se consideran aditivos si se les maneja y administra por separado del cemento, lo cual no deja de ser mas bien una cuestión de forma, ya que cualitativamente sus efectos son los mismos que si se les administra por conducto del cemento.

1.2. Clasificación.

En función de los efectos que producen, sin importar la forma de presentación y las sustancias que contienen, los aditivos se clasifican como:

- a) Aditivos químicos reductores de agua y/o modificadores del tiempo de fraguado.⁽²⁾

- Tipo A. Aditivos reductores de agua.

- Tipo B. Aditivos retardantes de fraguado.

- Tipo C. Aditivos acelerantes.

- I) Aditivos acelerantes de fraguado.

- II) Aditivos acelerantes de resistencia.

- Tipo D. Aditivos reductores de agua y retardantes.

Tipo E. Aditivos reductores de agua y acelerantes.

I) Aditivos acelerantes de fraguado.

II) Aditivos acelerantes de resistencia.

Tipo F. Aditivos super reductores de agua.

Tipo G. Aditivos super reductores de agua y retardantes.

b) Aditivos inclusores de aire.⁽¹⁾

c) Aditivos minerales finamente divididos.⁽¹⁾

I) Puzolanas.

II) Materiales cementantes.

III) Materiales puzolánicos y cementantes.

IV) Aditivos químicamente inertes.

d) Aditivos misceláneos.⁽¹⁾

I) Aditivos químicos para reducir la expansión álcali-agregado.

II) Aditivos estabilizadores de volumen.

III) Aditivos expansores.

IV) Aditivos reductores de permeabilidad.

V) Aditivos impermeabilizantes.

VI) Aditivos repelentes de humedad.

VII) Aditivos inhibidores de corrosión.

VIII) Aditivos floculantes.

IX) Aditivos adherentes.

X) Aditivos insecticidas, germicidas y fungicidas.

XI) Aditivos auxiliares para el bombeo.

XII) Aditivos para mezclas de inyección.

XIII) Aditivos colorantes.

1.3. Criterios para el empleo de aditivos.

Las propiedades y el comportamiento del concreto, ya sea en estado fresco o endurecido, suelen ser afectados por diversos factores, tales como las características de los materiales que componen al concreto y las cantidades en que se suministran cada uno de ellos, así como las condiciones ambientales presentadas durante la

elaboración del concreto, los procesos constructivos empleados y el tipo de uso que se le dé a la estructura durante su vida útil.

Algunos de los factores se pueden controlar, ya sea proporcionando componentes idóneos para el concreto y dosificándolos convenientemente, así como utilizando el equipo, procedimientos y prácticas constructivas de eficacia comprobada y acordes a la obra que se construya. Pero aún así, no todos los factores se pueden controlar, tal es el caso de las condiciones ambientales o bien del uso para el que se requiera la estructura; en situaciones adversas de estos factores es cuando se requiere el uso de un aditivo, ya sea por economía, para ahorrar energía, o simple y sencillamente porque es el único medio factible de obtener el resultado requerido, tal es el caso de aumentar la resistencia a los ciclos de congelación-deshielo, por citar un ejemplo.

Debe tenerse siempre en cuenta, como practica recomendable, que el uso de aditivos en el concreto, consiste en usarlos como un medio complementario y no como un sustituto de otras medidas principales, tales como el uso de un cemento adecuado, una mezcla de concreto bien diseñada o procesos constructivos satisfactorios, por lo que no se puede esperar que un aditivo corrija los errores que pueden cometerse al elegir los componentes o al diseñar las mezclas de concreto, o bien, que corrija los defectos de construcción provocados por una mala inspección o supervisión, control de calidad deficiente, mal empleo del equipo o procedimientos inadecuados.⁽¹⁾

Por todo lo anteriormente dicho, antes de emplear un aditivo se debe realizar lo siguiente:⁽¹⁾

- a) Evaluar las condiciones ambientales que se presentarán durante la construcción de la obra, así como durante su vida útil.
- b) Confrontar las propiedades y el comportamiento del concreto elaborado con mezclas idóneas sin aditivos con los requerimientos impuestos por las condiciones evaluadas anteriormente.
- c) Si la confrontación anterior da como resultado que las propiedades o el comportamiento del concreto sin aditivos no es suficiente, se deberá considerar el empleo de un aditivo que proporcione los efectos requeridos en el concreto.

- d) Una vez seleccionado el aditivo, se deberá ensayar con el fin de definir la dosificación adecuada para producir el efecto requerido, comprobar la compatibilidad con el cemento y verificar que no provoque efectos secundarios indeseables en el concreto.

Es conveniente, antes de emplear cualquier aditivo, tener en cuenta las características que se obtendrán en el concreto, ya sea fresco o endurecido.

Los principales beneficios que se pretende alcanzar en el concreto son:

a) En el concreto fresco:

- Aumento de la trabajabilidad sin incrementar la relación agua/cemento (A/C) o bien, reducción del contenido de agua para la misma trabajabilidad.
- Aceleramiento o retardo del tiempo del fraguado inicial.
- Reducción de la segregación y el sangrado.
- Mejoramiento del acomodo del concreto a lugares de difícil acceso (zonas congestionadas de acero de refuerzo y/o de difícil compactación).
- Mejoramiento de la bombeabilidad y de la cohesión.⁽³⁾
- Producir expansiones ligeras.
- Reducción de la velocidad en la pérdida de revenimiento.⁽⁴⁾

b) En el concreto endurecido:

- Aumento de la resistencia a compresión, flexión o tensión.
- Aceleramiento de la tasa de desarrollo de resistencia temprana.
- Incremento de la durabilidad o resistencia a condiciones severas de exposición (ciclos de congelación-deshielo).
- Reducción de la evolución del calor durante el endurecimiento temprano.
- Mejoramiento de la resistencia del concreto al ataque de los sulfatos.
- Aumento de la resistencia al impacto y a la abrasión.
- Control de la expansión causada por la reacción de los álcalis con ciertos agregados.
- Incremento de la adherencia entre concreto viejo y nuevo.
- Incremento de la adherencia del concreto con el acero de refuerzo.
- Disminución de la permeabilidad.

- Inhibición de la corrosión del acero de refuerzo y metales inmersos.
- Disminución de los cambios volumétricos por secado en el concreto.
- Producción de concreto celular.
- Coloración del concreto.

La efectividad de un aditivo depende de factores como el tipo, la marca y la cantidad de cemento; el contenido y composición del agua; la forma, granulometría y proporcionamiento del agregado; el tiempo de mezclado, revenimiento y temperatura del concreto; la dosificación, la calidad y clase de aditivo; así como la temperatura del aire.⁽⁵⁾

La variación de estos factores produce efectos diferentes en el concreto, pudiendo ser benéficos o perjudiciales, por lo que se deben tomar en cuenta las siguientes recomendaciones y cuidados generales:

- Un aditivo sólo debe emplearse cuando exista una razón que lo justifique y después de haberse evaluado sus efectos.
- Los aditivos de un mismo tipo pueden dar resultados insuficientes o inesperados, por lo que se requiere ensayarlos en las mezclas de concreto, preferentemente con los mismos materiales que se emplearán en la obra.⁽⁶⁾
- Para que el control de calidad del concreto con aditivos sea eficiente, se deberán verificar los efectos en el concreto mediante ensayos de mezclas testigo (sin aditivo) y mezclas de prueba (con el aditivo), para un mismo concreto.
- Se deben elegir las pruebas más significativas para verificar la calidad de un aditivo, generalmente no se justifica el realizar todas, excepto para un certificado de calidad.
- Se debe tener cuidado al emplear cualquier clase de aditivo, verificando que los efectos secundarios (adversos) que provoque, no disminuya alguna característica principal requerida en el concreto.
- No se deben introducir dos clases de aditivos diferentes al mismo tiempo.⁽⁴⁾
- Se debe tener cuidado al momento de suministrar uno o más aditivos, dado que los efectos producidos en las mezclas de concreto hidráulico, dependen directamente de la dosificación suministrada y del tiempo de suministro.

- Cuando se emplean dos o más aditivos en el mismo concreto, debe evitarse que se mezclen antes de su adición al concreto; de no ser así, los efectos que pudieran presentarse deben ser comprobados mediante ensayos.⁽⁶⁾
- Cerciorarse que ninguna Norma o especificación prohíba el empleo del aditivo seleccionado.
- Verificar que se está usando el aditivo apropiado; utilizando sólo envases marcados.
- Leer la etiqueta del envase para saber si requiere condiciones especiales de almacenamiento.
- Almacenar los envases cuidando que las etiquetas no se deterioren y mantenerlos cerrados para evitar contaminaciones accidentales.
- Utilizar la dosis correcta de aditivo, dominando la tentación de añadir "un poquito más", pues esa pequeña cantidad adicional podría ser perjudicial para el concreto, lejos de mejorarlo.
- Cuando los aditivos se añaden en cantidades pequeñas, se debe ejercer un elevado grado de control en la dosificación de la mezcla. Una dosis incorrecta, es decir, poco o demasiado aditivo no dará los resultados esperados.
- Los aditivos líquidos se deben agregar con un surtidor que mida exactamente la cantidad requerida; el proveedor del aditivo puede asesorar sobre la adquisición y uso del mismo.
- Diariamente, antes de comenzar a mezclar el concreto, verificar que el surtidor esté proporcionando la dosis correcta y al terminar las labores del día, lavarlo perfectamente.
- Ya que es difícil garantizar que el aditivo se distribuya uniformemente en todo el concreto, los aditivos líquidos deben agregarse en el agua de la mezcla, antes de vaciarla en la revolvedora. Cuando esto no sea posible, como cuando se suministran a mano con un recipiente, mezclar el concreto durante un poco más de tiempo.⁽⁷⁾
- En vista de que el tiempo de adición de los aditivos químicos puede influir su efecto sobre el fraguado del concreto, es importante añadirlos en el mismo punto del ciclo de mezclado de cada carga. Generalmente se recomienda descargar el aditivo

sobre la corriente del agua de mezclado conforme entra en la mezcladora. Los distribuidores e indicadores visuales deben limpiarse con frecuencia.⁽⁶⁾

- Revisar muy bien las entregas de agregado, por las posibles variaciones de granulometría y de humedad, ya que estos cambios pueden alterar el efecto del aditivo, pudiendo ser necesario, el efectuar algunos ajustes en el contenido de agua de la mezcla.
- Los aditivos que contengan cloruros, no deberán usarse en concreto presforzado, en vista de que pueden acelerar la corrosión del acero de presfuerzo.⁽⁷⁾

Por todo lo mencionado anteriormente, el uso de un aditivo se deberá condicionar a lo siguiente:⁽⁸⁾

- a) Que no provoque efectos secundarios importantes en otras propiedades del concreto.
- b) Que un análisis de costo justifique su empleo.
- c) Que se obtenga el efecto deseado, sin que se altere sustancialmente la dosis básica.

1.4. Aspectos económicos para su uso.

El concreto debe reunir ciertas características de durabilidad, impermeabilidad, resistencia, trabajabilidad y acabado, sin el empleo de aditivos. Sin embargo, existen razones para el empleo de los mismos, entre las principales se encuentran:

- a) Reducir el costo del concreto.
- b) Obtener propiedades en el concreto de manera más efectiva que por otros medios.
- c) Asegurar la calidad del concreto durante las etapas de mezclado, transporte y colocación.
- d) Resolver ciertas eventualidades durante las operaciones de colado.

Todas estas razones, directa o indirectamente, llevan a un fin económico.⁽⁹⁾

Siempre que se piense en utilizar un aditivo, lo primero que se debe evaluar es si los beneficios esperados superan la inversión hecha en ellos, pero también se debe evaluar las pérdidas que se obtendrán de no usarlos.

Después de agregar el aditivo a una mezcla de concreto, si cambia el volumen original de la mezcla, deberá evaluarse el efecto que ejerce el aditivo sobre el volumen unitario, dado que estará desplazando algún componente básico (cemento, agua o agregado). Aquí se podrá hacer una primera evaluación sobre la aplicación del aditivo, sumando su costo adicional y restando el ahorro del material desplazado.⁽³⁾

Si el empleo del aditivo implica la aplicación y por consiguiente el costo de otro componente adicional, también deberá considerarse, así como cualquier gasto adicional por concepto de transporte, colocación, acabado, curado y protección del concreto.⁽⁹⁾

En contrapartida, se tienen ahorros significativos al aplicar métodos de construcción o de diseño menos costosos, esto compensa generalmente su empleo. Además en algunas ocasiones, cuando solamente con el uso de algún aditivo se puede solucionar un problema, su empleo justifica el costo.⁽³⁾

Se pueden presentar una infinidad de ejemplos de los beneficios obtenidos con el empleo de aditivos, como puede ser la construcción de un puente que generará una derrama económica considerable diariamente, así como un beneficio social, que con el empleo de aditivos acelerantes de resistencia, se puede abrir a la operación más rápidamente y en cuestión de horas se recupera la inversión hecha en aditivos, así como obtener una derrama económica adicional por cada instante de tiempo ganado.

Otro caso puede ser al aplicar aditivos superfluidificantes, los cuales producen una mejor trabajabilidad en el concreto, lo que resulta en una disminución de personal durante la colocación, así como el ahorro, en ocasiones, de hasta el 100% en la compactación.

En climas extremos, la utilización de aditivos inclusores de aire, prolongan la vida económica de la estructura, alargando la inversión y reduciendo los gastos de mantenimiento.

CAPÍTULO II.

Aditivos Químicos Reductores de Agua y/o Modificadores del Tiempo de Fraguado.

2. Aditivos Químicos Reductores de Agua y/o Modificadores del Tiempo de Fraguado.

2.1. Aditivos reductores de agua (Tipo A).

Generalmente más del 50% del agua que se agrega al concreto sirve solamente para lubricar la mezcla; el resto se utiliza para la hidratación del cemento. Por consiguiente, más de la mitad del agua agregada a la mezcla afecta a la contracción, la durabilidad y la resistencia del concreto. Para evitar esto, se añaden aditivos reductores de agua a la mezcla de concreto.⁽¹⁰⁾

El aditivo reductor de agua es un material utilizado para reducir al menos 5% la cantidad de agua de mezclado necesaria para producir un concreto con determinada consistencia.⁽¹⁾

Las partículas de cemento tienden a flocularse (aglomerarse), con lo cual queda agua atrapada. Esta clase de aditivos dispersan las partículas aglomeradas y liberan de la mezcla el agua atrapada.⁽¹⁰⁾

La acción básica de muchas sustancias reductoras de agua consiste en disminuir las fuerzas de atracción que existen entre las partículas de cemento mezcladas con el agua en la pasta de cemento, con lo cual se aumenta la fluidez, incrementando la trabajabilidad sin aumentar la relación agua/cemento (A/C), o se puede mantener la misma trabajabilidad reduciendo la relación A/C .⁽⁷⁾

2.1.1. Características.

Todos los aditivos reductores de agua se presentan en forma líquida,⁽⁷⁾ están compuestos por ácidos lignosulfónicos y carboxílico hidroxilados,⁽⁹⁾ y las sales de ambos, las cuales permiten reducir el contenido de agua entre 5 y 10%.⁽¹⁾ Estos actúan principalmente mejorando la dispersión de las partículas de cemento lo que, a su vez, incrementa la lubricación de la pasta de cemento.⁽⁷⁾

2.1.2. Usos.

Se utilizan principalmente para:

- a) Reducir el contenido de agua entre el 5 y 10%.
- b) Reducir la relación A/C .⁽¹¹⁾

- c) Reducir el contenido de cemento. Esto al reducir el contenido de agua, manteniendo la misma relación A/C, trabajabilidad y resistencia.⁽⁷⁾
- d) Incrementar la resistencia. Esto al reducir el contenido de agua, sin afectar la trabajabilidad y sin cambiar el contenido de cemento.⁽¹²⁾ Debido a esto, se emplean en concretos de alta resistencia.⁽⁸⁾
- e) Aumentar el revenimiento y la trabajabilidad. Esto sin incrementar el contenido de agua.⁽¹²⁾ Se utilizan en concretos de piezas muy esbeltas, muy armadas o premoldeadas y en concretos lanzados.⁽⁸⁾ Además se aumenta la trabajabilidad de mezclas de resistencia elevada, ricas en cemento, que de otra manera serían muy rígidas para colarse con la relación A/C requerida.
- f) Aumentar la cohesión y disminuir la segregación en mezclas de gran trabajabilidad. Esto al reducir el contenido de agua en mezclas gruesas (que contienen agregados angulosos o poca arena) o en mezclas con arenas deficientes de finos.⁽⁷⁾
- g) Aumentar la adherencia del concreto con el acero de refuerzo.⁽¹⁰⁾

En general, esta clase de aditivos se utiliza para el colado bajo situaciones severas, en concretos que contienen agregados que son ásperos o mal graduados,⁽¹²⁾ proporciona mayor facilidad de lanzamiento y acomodo del concreto, disminuyendo su permeabilidad.⁽⁸⁾

2.1.3. Precauciones en el empleo.

El efecto secundario más importante es que apresuran la rigidización de las mezclas de concreto en el lapso inmediato posterior al mezclado, esto aún con dosificaciones normales, provocado por una pérdida inicial de revenimiento. Se cree que lo anterior es consecuencia de la incompatibilidad de los aditivos reductores de agua con los contenidos relativos de anhídrido sulfúrico (SO_3) y de aluminato tricálcico (C_3A) de algunos cementos, por lo que se recomienda hacer pruebas para verificar el comportamiento del aditivo.⁽¹⁾

Esta clase de aditivos, a pesar de la reducción en el contenido de agua, pueden causar incrementos considerables en la contracción por secado. Además,

dependiendo de su composición química, pueden disminuir, aumentar o no tener ningún efecto en el sangrado.⁽⁹⁾

Algunos incluyen aire, aunque en algunas circunstancias esto es ventajoso, es recomendable agregarlo independientemente.⁽¹⁰⁾

Generalmente las dosis son pequeñas (entre 0.1 y 0.25 litros por cada 50 kg de cemento), por lo que se deberán introducir con un surtidor. Debe evitarse el proporcionar una sobredosis, dado que puede ocasionar retardación excesiva del fraguado, incluso no fraguar. La sobredosis no aumenta necesariamente la trabajabilidad.⁽⁷⁾ Algunos aditivos reductores de agua son más efectivos al emplearse en mezclas pobres y cementos con contenidos bajos de álcalis o de aluminato tricálcico (C_3A).⁽⁹⁾

2.2. Aditivos retardantes de fraguado (Tipo B).

Son los materiales que al adicionarse al concreto retrasan el fraguado inicial, sin modificar necesariamente el contenido de agua de la mezcla,⁽¹³⁾ de manera que el concreto permanece trabajable durante más tiempo que el normal.⁽⁷⁾

2.2.1. Características.

Se presentan generalmente en forma líquida⁽⁷⁾ y están compuestos principalmente por las siguientes sustancias orgánicas:

- a) Ácido lignosulfónico y sus sales (también trabajan como reductores de agua e inclusores de aire).
- b) Ácido hidroxicarboxílico y sus sales (también empleado como reductor de agua).
- c) Carbohidratos ($C_n(H_2O)_m$), por ejemplo la glucosa, la sacarosa, el almidón y la celulosa.

Además pueden estar formados por glicerinas, óxidos de zinc y plomo, sales de magnesio, ácidos fosfórico y fluorhídrico,⁽¹⁴⁾ lignina y ácido tartárico.⁽⁹⁾ Así como también por otros compuestos inorgánicos que presentan comportamientos erráticos o poco confiables como los compuestos de boro (bórax, ácido bórico, borato de calcio), bicarbonato de sodio y algunos fosfatos.⁽¹⁵⁾

Los aditivos retardantes son más efectivos en cementos con alto contenido de aluminato tricálcico (C_3A), porque una vez que el C_3A ha sido hidratado, ya no puede absorber al aditivo, por lo que se dispone de más aditivo retardante sobre la hidratación de los silicatos de calcio, lo que ocurre a través de una impregnación en los núcleos de los hidróxidos de calcio.⁽¹⁶⁾

2.2.2. Usos.

Cuando se emplea un aditivo retardador en el concreto el efecto fundamental que se requiere es producir un retraso controlado en el tiempo de fraguado, pero sin afectar la evolución de las resistencias inmediatas.⁽¹⁾

Los principales usos de estos aditivos son:

- a) Para contrarrestar los efectos aceleradores de las altas temperaturas (en climas calientes) y mantener trabajable al concreto durante su período de colocación.⁽¹²⁾ Esto permite la producción de concretos a temperaturas hasta de $50^{\circ}C$, siendo recomendado su empleo a temperaturas entre 30 y $40^{\circ}C$.⁽¹⁷⁾ En este sentido no se justifica su utilización a temperaturas menores de $24^{\circ}C$.⁽¹³⁾
- b) Para el transporte del concreto fresco.⁽⁸⁾ Estos aditivos permiten dar el tiempo necesario para el transporte del concreto de la planta premezcladora a la obra, o bien, para el bombeo o acarreo de concreto a grandes distancias.⁽¹⁰⁾
- c) Para evitar la formación de juntas frías. En el colado de concreto en climas cálidos, colados de gran volumen, colocaciones lentas o por capas.⁽⁸⁾ Además se emplean para evitar las grietas debidas a las deflexiones de las cimbras⁽³⁾ y reduce el riesgo de aparición de fisuras, ya que permite la dispersión del calor de hidratación por un periodo mayor.⁽⁸⁾
- d) Para retardar el fraguado inicial del concreto en condiciones de colado difíciles o extraordinarias, tales como el colado de concreto en pilas y cimientos de gran tamaño (grandes masas de concreto), la cimentación de pozos petroleros, o el bombeo de concreto o lechada a distancias considerables.⁽⁵⁾

e) Para procesos de acabados especiales.⁽¹¹⁾ La demora en el endurecimiento causada por los retardantes puede aprovecharse para obtener acabados arquitectónicos. Como por ejemplo, el acabado de agregado expuesto: el retardante se aplica en la superficie interior de la cimbra, a fin de detener el endurecimiento del cemento adyacente. Este cemento puede cepillarse a partir del momento en que se retira la cimbra, y así obtener una superficie de agregado expuesto.⁽¹⁴⁾

2.2.3. Precauciones en el empleo.

El tiempo de retardación obtenido, depende de factores tales como el tipo y la cantidad del aditivo empleado, del tipo de cemento, de la temperatura ambiente, del proceso de fabricación⁽¹²⁾ y del momento en que se agrega el aditivo al concreto durante el ciclo de mezclado. La demora en la inclusión del aditivo, hasta dos minutos después de iniciarse el mezclado, aumenta el efecto retardante,⁽¹⁶⁾ incrementa la capacidad de incluir aire y mejora las propiedades reductoras de agua.

Los retardantes más conocidos son el azúcar y sus derivados, pero provocan un efecto retardador muy enérgico, cualquier exceso provoca efectos muy amplificadas en la duración del fraguado del concreto. Por lo que debe tenerse gran cuidado con el empleo de estos aditivos, ya que si se colocan en cantidades incorrectas (sobredosificados), pueden evitar el fraguado y el endurecimiento del concreto.⁽¹⁶⁾ Nunca se deben emplear en concreto de bajo revenimiento.

El aditivo deberá ser disuelto uniformemente en toda la mezcla, porque si llegan a quedar concentraciones, se formarán bolsas plásticas que fraguarán después que el resto del concreto.⁽¹⁰⁾

Los retardantes pueden contribuir a la inclusión de aire en el concreto; provocan cierta reducción en la resistencia a edades tempranas (en los primeros 3 días),⁽⁹⁾ incrementan la contracción por secado y prolongan excesivamente el fraguado por sobredosificación.⁽¹⁾

2.3. Aditivos acelerantes (Tipo C).

Los aditivos acelerantes son productos químicos que reducen el tiempo de fraguado y/o aceleran el desarrollo de resistencia del concreto, sin modificar necesariamente la cantidad de agua de la mezcla.⁽²⁾

Se presentan dos clases de aditivos acelerantes:

- a) Aditivos acelerantes de fraguado (Tipo C I).
- b) Aditivos acelerantes de resistencia (Tipo C II).

Antes de decidir aplicar los aditivos acelerantes de resistencia, debe tenerse presente que existen otros métodos con los que se pueden obtener los mismos efectos, como pueden ser:

- a) Utilizar cemento de alta resistencia rápida, como cemento Portland Tipo III. Presenta la desventaja de que casi no se produce este cemento por lo que es de difícil disponibilidad.
- b) Disminuir la relación agua/cemento (A/C), mediante el empleo de un aditivo reductor de agua normal o un aditivo super reductor de agua.⁽¹⁾ Estos aditivos por lo general son más caros que los aditivos acelerantes, además se emplean para aumentar la resistencia del concreto y no para acelerar su adquisición. En caso de emplearse para acelerar la adquisición de resistencia del concreto, deberá evaluarse si lo hacen más rápidamente que el aditivo acelerante.
- c) Proporcionar cemento adicional (normal), generalmente de 50 a 100 kg/m³. Esto puede provocar calor excesivo, ocasionando agrietamiento y una contracción indeseable.⁽¹⁸⁾
- d) Aumentar la temperatura del concreto al mezclarlo, precalentando el agua y los agregados. Esto puede ser útil en climas fríos, pero en climas cálidos puede causar problemas de colocación.⁽¹⁾
- e) Aplicar curados a temperaturas altas. Para la aplicación de este método, se requiere de instalaciones adecuadas y cuidados específicos.⁽¹¹⁾
- f) Una combinación de los métodos anteriores.⁽³⁾

La decisión de emplear uno de los métodos anteriores o la de aplicar un aditivo acelerante dependerá del incremento que se le quiera dar a la resistencia inicial del concreto y de la comparación entre los costos que representará la utilización de cada opción.⁽¹⁾

2.3.1. Características.

Los compuestos químicos que aceleran el fraguado y la resistencia del concreto, pueden dividirse en tres grupos:⁽⁴⁾

- a) *Sales inorgánicas solubles.* Entre las que se encuentran los cloruros (el cloruro de calcio es la más usada), bromuros, fluoruros (fluosilicatos), carbonatos, nitritos, nitratos, tiosulfatos, silicatos, aluminatos e hidróxidos alcalinos. Para los aditivos acelerantes de fraguado se utilizan las sales férricas, el fluoruro de sodio, el cloruro de aluminio, el aluminato de sodio y el carbonato de potasio.
- b) *Compuestos orgánicos solubles.* Los más comunes son la trietanolamina y el formiato de calcio que se utilizan como acelerantes no corrosivos; se han encontrado con propiedades acelerantes al acetato de calcio, el propianato de calcio y al butirato de calcio; otros compuestos que con relaciones bajas A/C presentan propiedades acelerantes con cemento Portland son la urea, el ácido oxálico, el ácido láctico y diversos compuestos de cadena cerrada y compuestos de condensación de aminas y de formaldehído. Además los azúcares, como la sacarosa presentan propiedades acelerantes de fraguado (y no de resistencia) para relaciones bajas A/C de 0.22 a 0.24 y dosificaciones mayores a 0.25 % por peso de cemento.
- c) *Diversos materiales sólidos.* Se emplea el cemento con aluminato de calcio para reducir el tiempo de fraguado. Además se utiliza el sembrado del concreto de cemento Portland, con 2% por peso de cemento totalmente hidratado y finamente molido, se obtienen resistencias del 20 al 25% mayores a la compresión a los 90 días (equivalente al 2% de cloruro de calcio). Otros materiales pueden ser silicatos minerales, geles de sílice y silicatos solubles de amonio cuaternario finamente divididos (aceleran la adquisición de resistencia), carbonato de magnesio finamente dividido y carbonato de calcio (aceleran el fraguado).

Pero el acelerante más comúnmente empleado es el cloruro de calcio (CaCl_2). La Norma NMX-C-356-88 lo clasifica de acuerdo a su presentación en:⁽¹⁹⁾

- a) Tipo I (Sólido).
 - Variante A. Polvo
 - Variante B. Escamas
 - Variante C. Granular
- b) Tipo II (Líquido).

Por otro lado, la Norma ASTM D98-87 clasifica al CaCl_2 como:

- a) Tipo S (Sólido).
 - Grado 1. (Concentración mínima de 77% de CaCl_2).
 - Clase A. Escama.
 - Clase B. Granular.
 - Grado 2. (Concentración mínima de 90% de CaCl_2).
 - Clase A. Escama.
 - Clase B. Pastilla.
 - Clase C. Granular.
 - Clase D. Polvo.
 - Grado 3. (Concentración mínima de 94% de CaCl_2).
 - Clase A. Escama.
 - Clase B. Pastilla.
 - Clase C. Granular.
 - Clase D. Polvo.
- b) Tipo L (Líquido).

La concentración del CaCl_2 líquido deberá ser especificada por el comprador. Las concentraciones comunes varían de 30 a 45%.⁽²⁰⁾

En la Tabla 1 se presenta el contenido máximo de ión cloruro para proteger al acero de la corrosión, recomendado por el Reglamento ACI 318. La resistencia contra la corrosión del acero ahogado en el concreto aún se ve mejorada con el incremento en el recubrimiento de concreto sobre el acero, o bien, disminuyendo la relación A/C.⁽⁹⁾

TIPO DE MIEMBRO	Ion cloruro máximo soluble en agua (Cl-) en el concreto, por ciento del cemento en peso.
Concreto presforzado.	0.06
Concreto reforzado expuesto a cloruros durante su servicio.	0.15
Concreto reforzado que estará seco o protegido de la humedad durante su servicio.	1.00
Otras construcciones de concreto reforzado	0.30

Tabla 1. Contenido máximo de ion cloruro para protección contra la corrosión.

2.3.2. Usos.

Los aditivos acelerantes de fraguado se utilizan principalmente para:

- a) Reducción del tiempo de fraguado inicial y final.⁽³⁾
- b) El acabado temprano de las superficies.
- c) Reducción de la presión sobre las cimbras.⁽¹⁵⁾
- d) Sellado de filtraciones y para inyecciones de sello en juntas de construcción para presas de concreto.⁽²¹⁾
- e) En concretos lanzados.⁽¹⁾

Y los acelerantes de resistencia se emplean para:

- a) Reducir el período requerido de curado y tiempo de protección del concreto fresco a las heladas.⁽¹²⁾
- b) Poner a la estructura en servicio antes de que fuera posible sin el uso del aditivo.⁽¹⁵⁾
- c) Compensar los efectos de las bajas temperaturas sobre el desarrollo de la resistencia.⁽¹²⁾
- d) Remoción más temprana de cimbras⁽³⁾ y reducción del tiempo requerido para volver a utilizar los moldes en la fabricación de piezas prefabricadas.⁽¹⁾

El cloruro de calcio se emplea para el colado de concretos a temperaturas muy bajas, aumentando la velocidad de generación de calor (aunque la cantidad total no se modifica).⁽⁸⁾ Se utiliza para reducir el tiempo de fraguado (entre una tercera parte y la mitad del tiempo normal). Además mejora ligeramente la trabajabilidad, en

algunos cementos reduce el sangrado, aumenta la resistencia del concreto a la abrasión y a la erosión, especialmente a edades tempranas.⁽¹⁵⁾

El cloruro de calcio es más efectivo en mezclas ricas con relaciones A/C bajas, que con mezclas pobres.⁽¹⁶⁾

2.3.3. Precauciones en el empleo.

Los aditivos acelerantes de fraguado presentan incompatibilidad con algunos cementos, por lo que se deberá verificar su comportamiento mediante pruebas; provocan detrimento en la resistencia final del concreto; si contiene cloruros, aumentan el riesgo de corrosión de los metales ahogados en el concreto.

Los aditivos acelerantes de resistencia provocan, además de los efectos adversos de los acelerantes de fraguado, rápida pérdida de revenimiento (y de la trabajabilidad consecuentemente), reducción del tiempo de fraguado en clima cálido,⁽¹⁾ disminución de la resistencia a los sulfatos y de la resistencia del concreto a los ciclos de congelación-deshielo, incremento de la temperatura pudiendo aumentar los esfuerzos internos,⁽¹⁰⁾ e incremento de la contracción por secado.⁽¹⁾

Cuando se utilice cloruro de calcio, debe agregarse en forma de solución⁽⁵⁾ y cuando se prepare la solución con cloruro de calcio en estado sólido, debe agregarse el cloruro de calcio al agua y no el agua al cloruro de calcio, ya que provoca una nata difícil de disolver.⁽³⁾ Esta solución debe considerarse como parte del agua de mezclado al calcular la relación A/C.⁽¹⁵⁾ Si el cloruro de calcio se agrega en estado sólido al concreto no se disolverán por completo todas las partículas durante el mezclado. Los terrones no disueltos en la mezcla pueden causar calavereo o manchas oscuras en el concreto endurecido.⁽⁵⁾

La cantidad de cloruro de calcio requerida generalmente es de 1% por peso de cemento,⁽¹⁵⁾ no se deberá exceder en ningún caso el 2%.⁽⁶⁾ Con esto se evitan problemas de colado por endurecimiento rápido, el aumento de la contracción por secado y corrosión del refuerzo.⁽³⁾

El cloruro de calcio debe mantenerse en frascos cerrados herméticamente debido a que absorbe agua del aire y no deberá usarse si se hace pegajoso o aterronado.⁽¹⁵⁾

El cloruro de calcio no deberá emplearse con cementos que contienen aluminato de calcio, ya que juntos, retrasan la hidratación de los aluminatos. Ni tampoco con carbonato de potasio, ya que reducen el desarrollo de resistencia temprana y retardan el tiempo de fraguado de cementos de resistencia rápida por la acción del componente de fluoroaluminato de calcio ($C_{11}A_7 \cdot CaF_2$).⁽⁴⁾

Los aditivos que contienen cloruros no se deberán usar en los siguientes casos:

- a) En concreto presforzado.⁽⁵⁾
- b) En concreto reforzado en ambiente húmedo.⁽⁴⁾
- c) En concretos que se localicen en contacto con aguas de mar o saladas.⁽¹⁾
- d) En concretos sujetos a la reacción álcali-agregado o expuestos a suelos que contienen sulfatos.⁽⁶⁾
- e) En climas cálidos en general, ya que provoca rigidez rápida, provocando problemas en la colocación o terminado.
- f) En concretos resistentes a los sulfatos.⁽²¹⁾
- g) En concreto que contiene metales ahogados,⁽⁶⁾ como por ejemplo aluminio o metales galvanizados, sobre todo en el caso de que estos metales estén en contacto con el acero de refuerzo⁽⁹⁾ y el concreto se localice en ambiente húmedo.
- h) Cuando se esperen descargas eléctricas.
- i) En donde por cuestiones arquitectónicas, se evite el riesgo de decoloración del concreto.⁽⁵⁾
- j) En colados de concreto masivos.⁽⁹⁾

La trietanolamina acelera la hidratación del aluminato tricálcico pero retarda el silicato tricálcico. Debido a esto la trietanolamina puede actuar tanto como retardante en la hidratación del cemento que como acelerante.⁽⁴⁾

Los aditivos acelerantes no son agentes anticongelantes y no se deberá proteger al concreto de la congelación por este método.⁽⁵⁾

Con el empleo de acelerantes se requiere menos aditivo inclusor de aire, pero provoca que las burbujas de aire sean de mayor tamaño y tengan factores más elevados de espaciamiento, reduciendo el efecto benéfico de la inclusión de aire.⁽³⁾

2.4. Aditivos reductores de agua y retardantes (Tipo D).

Esta clase de aditivos son de uso más común que los retardantes simples, debido a que casi todos los aditivos retardantes tienen efectos reductores de agua.⁽¹⁶⁾

Estos aditivos combinan al mismo tiempo, la función de un aditivo retardador y la de un aditivo reductor de agua⁽⁷⁾ (mínimamente 5%)⁽⁹⁾ ya que se agregan a la mezcla de concreto para retrasar el fraguado inicial de manera controlada,⁽¹⁾ así como para reducir la cantidad necesaria de agua de mezclado,⁽²¹⁾ incrementando la resistencia del concreto en los primeros tres días, cosa que con un retardador simple no se logra.⁽¹⁾

2.4.1. Características.

Se presentan en forma líquida.⁽⁷⁾ Están compuestos de sustancias derivadas del ácido lignosulfónico o hidroxil-carboxílico, combinados con otras sustancias.⁽¹⁾

Esta clase de aditivos permiten reducir el requerimiento de agua entre el 5 y 15%, con lo cual se incrementa la resistencia.⁽²¹⁾

2.4.2. Usos.

Además de los casos mencionados para los aditivos reductores de agua y para los aditivos retardantes de fraguado, se han empleado con éxito en:⁽¹⁷⁾

- Grandes colados. Colados de muros y losas de concreto masivo en muelles para buques tanque.
- Bombeo de concreto. Se reducen las presiones de bombeo, manteniendo al mínimo la temperatura de la bomba.
- Cimbras deslizantes verticales. En la construcción de silos de concreto.

2.4.3. Precauciones.

Estos aditivos se requieren en cantidades pequeñas (0.30% del peso del cemento como máximo), por lo que se deberán proporcionar a la mezcla por medio de dosificadores mecánicos confiables, que deberán ser calibrados periódicamente.⁽²¹⁾

Debe tenerse en cuenta que los efectos obtenidos por el empleo de estos aditivos, dependerá del tipo de cemento empleado, del diseño de la mezcla y de la

temperatura ambiental, por lo que se deberán realizar pruebas antes de emplearlos, para conocer suficientemente el comportamiento del aditivo.

Algunos aditivos de esta clase provocan inclusión de aire.

2.5. Aditivos reductores de agua y acelerantes (Tipo E).

Son los aditivos que se emplean para disminuir el tiempo de fraguado y/o acelerar el desarrollo de resistencia del concreto, así como una disminución mínima del 5% de la cantidad de agua de mezcla requerida para producir concreto de una consistencia dada.⁽²⁾

2.5.1. Características.

Se presenta generalmente en forma líquida y su dosificación fluctúa entre el 1 y 3% por peso de cemento, debiéndose agregar al agua de mezclado y nunca directamente al cemento.

Están compuestos por derivados y modificaciones de ácidos carboxílicos hidroxilados, ácidos lignosulfónicos y las sales de ambos, en combinación con un aditivo acelerante.⁽⁹⁾

2.5.2. Usos.

Se emplean en los mismos casos que los acelerantes de resistencia, pero además cuando se pretenda reducción adicional en el contenido de agua. El uso de esta clase de aditivos está orientado principalmente a concretos premezclados.⁽¹⁾

2.5.3. Precauciones.

Cuando se esté empleando este tipo de aditivos y aditivos inclusores de aire, deberán añadirse a la mezcla por separado. Además, al igual que en el caso de acelerantes de resistencia, provocan rápida pérdida de revenimiento y reducción significativa del tiempo de fraguado en clima cálido. También provocan disminución de la resistencia a los sulfatos y riesgo de corrosión cuando contienen cloruros.⁽¹⁾

2.6. Aditivos super reductores de agua (Tipo F).

Estos aditivos al igual que los reductores de agua normales, disminuyen la cantidad de agua de mezcla necesaria para producir un concreto de una consistencia dada, pero con un efecto considerablemente mayor,⁽²⁾ sin producir efectos indeseables sobre el tiempo de fraguado.⁽³⁾

Con el uso de los aditivos super reductores de agua, se obtienen dos clases de concreto:

- a) *Concreto superfluidificado de alto revenimiento o concreto fluido.* Estos concretos poseen una extraordinaria fluidez, sin variación en sus propiedades una vez endurecido.⁽²²⁾ Poseen un revenimiento mayor de 19 cm (manteniendo sus propiedades cohesivas),⁽⁹⁾ un factor de fluidez de 0.96 y un factor de compactación de 0.98.⁽²³⁾ Aquí el objetivo del aditivo es lograr un concreto que posea cualidades para su fácil colocación.
- b) *Concreto superfluidificado de alta resistencia.* En estos concretos, el aditivo se emplea como reductor de agua, por lo que se disminuye la relación A/C y se logra un concreto con mejores propiedades.⁽²²⁾

2.6.1. Características.

Los aditivos super reductores de agua están compuestos por:⁽⁹⁾

- a) Condensados de formaldehído melamina-sulfonados.
- b) Condensados de formaldehído naftalina-sulfonados.
- c) Lignosulfonatos modificados.

Se añaden en dosis muy superiores a las de fluidificantes normales (0.5 a 3% del peso del cemento).⁽²²⁾ El efecto fluidificante dependerá del tipo de agregado, de su forma y de su granulometría; de la temperatura ambiental y del tipo de cemento.⁽¹⁸⁾ Se ha encontrado que estos aditivos son más efectivos a medida que se eleva la cantidad de cemento y finos del concreto.⁽⁹⁾

Sólo introducen aire, aunque ligeramente, cuando se utilizan lignosulfonatos modificados. Dicha inclusión de aire fluctúa entre 1 y 3%.⁽²²⁾

Esta clase de aditivos se puede manejar con cierta confianza, ya que se catalogan como sustancias químicas no peligrosas (no son tóxicas, inflamables ni corrosivas).⁽²³⁾

Las principales características que los aditivos super reductores de agua proporcionan al concreto son:

a) Cuando se emplea para elaborar concreto fluido:

El primer efecto que se obtiene es la modificación de las propiedades reológicas del concreto recién elaborado, incrementando la fluidez. Estos concretos son autonivelantes y autocompactantes (se acomodan por gravedad y requieren muy poca o ninguna vibración). Permiten ser bombeados sin segregación y sin pérdida de revenimiento. Estos aditivos no disminuyen la resistencia, dado que se mantiene la misma relación A/C e incluso puede aumentar debido al efecto que producen estos aditivos sobre el endurecimiento; los aditivos a base de condensados de formaldehído melamina-sulfonados y de condensados de formaldehído naftalina-sulfonados pueden incrementar la resistencia entre un 10 y 20% a los 28 días. Tampoco son afectadas la contracción y la fluencia.⁽²²⁾

b) Cuando se emplea para elaborar concreto superfluidificado de alta resistencia:

Se obtienen concretos con una relación A/C menor, reduciendo la cantidad de agua en 12% como mínimo. Con el empleo de polímeros hidróxilados se puede reducir hasta en un 30%.⁽¹⁾ Generalmente el contenido de agua se reduce entre 20 y 30%,⁽²³⁾ obteniendo grandes incrementos tanto en la resistencia inicial como final, pero especialmente a edades tempranas (se pueden obtener incrementos entre el 50 y 75% a las 24 horas). También con la reducción de agua se logran concretos durables e impermeables. La contracción se reduce al reducir el contenido de agua.⁽²²⁾

2.6.2. Usos.

Los aditivos empleados para producir concreto de alto revenimiento, se utilizan para:

a) Aumentar enormemente la trabajabilidad del concreto. Se obtienen concretos con revenimiento de 20 cm o más.

- b) Colados en zonas congestionadas con gran cantidad de acero, zonas de difícil acceso⁽²²⁾ o en secciones esbeltas.⁽⁹⁾
- c) Obtener ahorros en tiempo de ejecución (ya que se agiliza la colocación del concreto), en mano de obra (se aumenta su rendimiento) y en la compactación (dado que el concreto es autocompactable, se evitan gastos por concepto de vibración).⁽²²⁾
- d) Colados rápidos en losas de pisos y techos (en superficies horizontales).⁽¹⁸⁾
- e) Bombear concreto. Se bombea rápidamente sin segregación y sin pérdida de revenimiento.⁽²²⁾ Además se disminuye la presión en la bomba, lográndose un aumento en la distancia de bombeo horizontal y vertical.⁽⁹⁾ Con agregados ligeros se ha bombeado hasta alturas de 45 m.⁽²²⁾
- f) Colocación del concreto bajo agua, mediante el empleo de tubo tremie.⁽¹⁸⁾
- g) Acabados estéticos, obteniendo superficies uniformes.⁽²²⁾

Los aditivos empleados para producir concreto de alta resistencia, se utilizan para:

- a) Concretos de alta resistencia (con resistencias últimas a compresión arriba de 700 kg/cm^2)⁽⁹⁾; utilizados en edificios altos y puentes, donde se requieren cargas muertas bajas.
- b) La elaboración de piezas prefabricadas de concreto; debido a la obtención rápida de resistencia y endurecimiento temprano del concreto, se utiliza más veces un mismo molde en un mismo lapso de tiempo y se requiere menos tiempo de curado, lo que se traduce en una mayor producción.⁽²⁴⁾
- c) En la elaboración de elementos pretensados; al alcanzar resistencia rápida el concreto, permite transmitir pronto los esfuerzos del alambre de presfuerzo al concreto; se reducen las fisuras y desperfectos de las piezas.⁽²³⁾
- d) Ahorro en materiales (principalmente en cemento); al incrementar la resistencia del concreto, se reducen las secciones de elementos estructurales y esto a la vez, permite reducir las cargas muertas que se transmitirán a otros elementos estructurales.
- e) Reducción en el tiempo de curado.
- f) Sustituir al cloruro de calcio, para acelerar la obtención de resistencia, evitando corrosión del acero de refuerzo.⁽²²⁾

2.6.3. Precauciones en el empleo.

El efecto de estos aditivos es de corta duración (de 30 a 60 minutos aproximadamente),⁽³⁾ por lo que se deberán agregar a la mezcla inmediatamente antes del empleo del concreto. Sin embargo, estos períodos pueden prolongarse mediante la adición sucesiva del aditivo, aunque esto no es muy recomendable, ya que puede producir segregación.⁽²³⁾ Debe verificarse que no exista una especificación que prohíba dicha redosificación.

Para la determinación de la dosificación de aditivo se deben seguir las recomendaciones de los fabricantes, pero sólo como una primera aproximación, por lo que deberán hacerse pruebas que permitan obtener la dosificación adecuada.⁽²²⁾

Los concretos fluidos requieren poca o ninguna compactación. Debe evitarse la sobrecompactación del concreto, ya que puede provocar segregación y sangrado.⁽¹⁾ Debe evitarse revenimientos excesivamente altos, mayores o iguales a 25 cm, ya que pueden provocar segregación.⁽⁹⁾

En concretos fluidos, algunos aditivos incrementan la pérdida prematura de revenimiento, con un efecto más pronunciado que los reductores normales.⁽¹⁾ Además al diseñar las cimbras, se debe tener en cuenta que el concreto fluido puede ejercer una presión hidrostática completa.⁽¹⁶⁾

La acción fluidificante de estos aditivos puede variar con el tipo de cemento empleado. Son más efectivos con cementos con contenidos de C_3A menores de 5%; en cemento de escoria de alto horno se requieren dosis menores del aditivo; y en cementos aluminosos, no se produce efecto sobre la trabajabilidad.⁽²¹⁾

No se recomienda el uso de los aditivos para producir concreto de alto revenimiento cuando:

- a) Se tenga que colocar sobre superficies inclinadas (inclinaciones mayores a 3 grados con respecto a la horizontal), debido a que estos concretos son autonivelantes.⁽²²⁾
- b) Se empleen métodos lentos de colado (por ejemplo malacate o carretilla).⁽¹⁸⁾
- c) En general, no se requiera una alta fluidez del concreto.⁽²²⁾

La desventaja más grande de estos aditivos y quizá la única importante, es el costo alto, el cual deberá compensarse con los beneficios de su empleo.⁽¹⁶⁾

2.7. Aditivos super reductores de agua y retardantes (Tipo G).

Al igual que los aditivos retardantes y reductores de agua normales, se utilizan para prolongar el tiempo de fraguado y disminuir mínimamente 12%⁽⁹⁾ la cantidad de agua de mezclado requerida para producir concreto de una consistencia dada,⁽²⁾ o bien, conservando la misma relación A/C, lograr incrementar la fluidez de la mezcla de concreto.⁽¹⁾

2.7.1. Características.

Estos aditivos están compuestos por las mismas sustancias que los aditivos super reductores de agua, siendo la más importante el formaldehído sulfonado de naftalina, el cual tiene mayor efecto retardante.⁽¹⁶⁾

2.7.2. Usos.

Se emplean principalmente en climas calientes donde se requiera disminuir el efecto secundario de rápida pérdida de revenimiento que producen los aditivos super reductores de agua, manteniendo el revenimiento por un periodo más largo.⁽²⁴⁾

Además, como los aditivos super reductores de agua tienen un tiempo de acción limitado, obligan su empleo en obra, mientras que los aditivos super reductores de agua y retardantes por su efecto retardador de fraguado, permiten su uso en plantas dosificadoras.⁽⁹⁾

2.7.3. Precauciones.

Estos aditivos presentan los mismos efectos secundarios que los aditivos reductores de agua y retardantes, por lo que se deben tomar los mismos cuidados.⁽¹⁾

2.8. Especificaciones.

Las especificaciones para aditivos químicos que reducen la cantidad de agua y/o modifican el tiempo de fraguado corresponderán a la Norma NMX-C-255 vigente.

2.8.1. Requisitos generales.

Las especificaciones o requerimientos que se indican a continuación, deben entenderse con respecto al concreto de referencia e involucran variaciones normales con los resultados de la prueba.

El concreto de referencia o concreto testigo, es el que se toma como punto de comparación, no contiene al aditivo bajo prueba y cumple con los requisitos señalados en el Anexo 1.

a) *Tiempo de fraguado.* El período en que debe presentarse el fraguado, está referido al momento en el cual es alcanzado por el concreto de referencia.

Concreto con aditivo tipo:	Fraguado	
	Inicial	Final
	Período comprendido entre	Período
A	1 h antes y 1.5 h después	1 h antes y 1.5 h después
B ^A	1 h antes y 3.5 h después	No mayor de 3.5 h después
C I ^B	(1 y 3.5) h antes	No menor de 1 h antes
C II	1 h antes y 3.5 h después	No rige
D	(1 y 3.5) h después	No mayor de 3.5 h después
E I ^B	(1 y 3.5) h antes	No menor de 1 h antes
E II	1 h antes y 3.5 h después	No rige
F ^C	1 h antes y 1.5 h después	1 h antes y 1.5 h después
G ^C	(1 y 3.5) h después	No mayor de 3.5 h después

Tabla 2. Períodos de fraguado.⁽²⁾

^AEn comparación con la Norma anterior, la Norma ASTM C 494-92 define que el fraguado inicial para aditivos Tipo B, deberá quedar comprendido en un lapso de 1 h después a 3.5 h después con respecto al concreto de referencia.

^BLa Norma ASTM C 494-92 define a un sólo tipo de aditivo C y E, cuyos tiempos de fraguado corresponden a los aditivos Tipo C I y Tipo E I respectivamente.⁽¹³⁾

^CLa Norma ASTM C 1017-92 define los mismos tiempos de fraguado, cuando se empleen estos aditivos para producir concreto fluido.⁽²⁵⁾

b) *Contenido de agua, máximo por ciento.*

Concretos con aditivo tipo:	Contenido de agua, máx.
A, D y E	95%
F y G	85% ^A

Tabla 3. Contenido máximo de agua

^ALa Norma ASTM C 494-92 define para los aditivos Tipo F y G, un contenido máximo de agua de 88%.⁽¹³⁾

c) *Resistencia a la compresión y a la flexión.*

Tiempo	Concreto con aditivo tipo:								
	A	B	C ^A		D	E ^A		F ^D	G ^D
			I ^B	II		I ^C	II ^C		
1 día	-	-	-	-	-	-	-	140	125
3 días	110	90	125	125	110	125	125	125	125
7 días	110	90	100	110	110	110	110	115	115
28 días	110	90	100	110	110	110	110	110	110
6 meses	100	90	90	95	100	100	100	100	100
1 año	100	90	90	95	100	100	100	100	100

Tabla 4. Resistencia mínima a la compresión, en por ciento

^ALa Norma ASTM C 494-92 define a un sólo tipo de aditivo C y E.

^BLos valores de resistencia a la compresión recomendados (Tipo C I), corresponden a los recomendados por la Norma ASTM C 494-92 para el aditivo tipo C.

^CLos valores recomendados para aditivos Tipo E I y E II corresponden a los recomendados por la Norma ASTM C 494-92 para aditivos Tipo E.⁽¹³⁾

^DLa Norma ASTM C 1017-92 especifica una resistencia mínima a la compresión de 90% con respecto al concreto de referencia a las edades de 3, 7 y 28 días, 6 meses y 1 año, cuando se empleen estos aditivos para producir concreto fluido.⁽²⁵⁾

Tiempo	Concreto con aditivo tipo:								
	A	B	C ^A		D	E ^A		F ^C	G ^C
			I	II		I	II		
3 días	100	90	110	110	110 ^B	110	110	110	110
7 días	100	90	100	100	100	100	100	100	100
28 días	100	90	90	90	100	100	100	100	100

Tabla 5. Resistencia mínima a la flexión, en por ciento

^ALa Norma ASTM C 494-92 define a un sólo tipo de aditivo C y E. Los valores recomendados por ambas normas son iguales.

^BLa Norma ASTM C 494-92 define una resistencia a la flexión de 100% con respecto al concreto de referencia a los 3 días para aditivo Tipo D.⁽¹³⁾

^CLa Norma ASTM C 1017-92 especifica una resistencia mínima a la flexión de 90% con respecto al concreto de referencia a las edades de 3, 7 y 28 días, cuando se empleen estos aditivos para producir concreto fluido.⁽²⁵⁾

La resistencia a la compresión y a la flexión del concreto que contiene el aditivo bajo prueba a cualquier edad, debe ser mayor del 90% de la resistencia obtenida en otra prueba realizada a una edad anterior. Esto significa que, si se prueba un espécimen de concreto con el aditivo bajo prueba a los 3 días y se obtiene una resistencia de 100 kg/cm², otro elaborado con la misma mezcla y aditivo ensayado a los 7 días (siguiente fecha de prueba), deberá dar una resistencia de 90 kg/cm² como mínimo para ser aprobado. El objeto de este límite, es requerir que la resistencia a la compresión y a la flexión del concreto bajo prueba conteniendo el aditivo, no disminuya con la edad.

d) *Adherencia con el acero de refuerzo, para todos los tipos de aditivos a 28 días.*

$$\mu = 100\% \text{ mínimo}$$

e) *Requisitos alternativos de contracción máxima para todos los tipos de aditivos.*

La preparación de los especímenes de prueba y el procedimiento de lectura, se ajustan a la Norma NMX-C-173 vigente, salvo en los puntos siguientes:

La duración del curado húmedo de los especímenes, incluyendo el tiempo que permanece en el molde, es de 14 días.

El cambio de longitud (contracción de los especímenes), se toma en base a las mediciones realizadas al iniciarse el período húmedo y al final del período de secado (28 días). La aproximación de las lecturas debe ser de 0.001.

El porcentaje de la contracción por secado en el testigo, fija los límites admisibles en el concreto que lleva el aditivo bajo prueba.

Si en el testigo

$$c = \frac{L_1 - L_2}{L_1} \geq 0.030\%$$

$$c = \frac{L_1 - L_2}{L_1} < 0.030\%$$

En el concreto que lleva el aditivo

$$\frac{l_1 - l_2}{l_1} \leq 1.35 c$$

$$l_1 - l_2 \leq 0.010 L_1$$

Donde:

c = Contracción del concreto.

L₁ = Lectura inicial del testigo.

L₂ = Lectura final del testigo.

l₁ = Lectura inicial en el espécimen con aditivo.

l₂ = Lectura final en el espécimen con aditivo.

f) *Factor de durabilidad relativa para todos los tipos de aditivos.*

$$(fdr) = 80\% \text{ mínimo}$$

El requisito de factor de durabilidad relativa, es aplicable solamente cuando el aditivo se prueba en concreto con aire incluido, expuestos a ciclos de congelación y deshielo, estando húmedo. En este caso, el concreto de referencia es aquél que contiene exclusivamente un aditivo inclusor de aire que cumple con la Norma NMX-C-200 (ver anexo 4).⁽²⁾

g) *Incremento en el revenimiento.*

La Norma ASTM C 1017-92 define un revenimiento mínimo de 9 cm (3.5 pulg) para los aditivos Tipo F y G cuando se emplean para producir concreto fluido.⁽²⁵⁾

2.8.2. Requisitos de uniformidad y equivalencia.⁽²⁾

Cuando el comprador especifica la uniformidad de un lote o la equivalencia de diferentes lotes de la misma procedencia, éstas deben establecerse por medio de los siguientes requisitos:

a) *Análisis infrarrojo.*

El espectro de absorción de todas las muestras debe ser semejante.

b) *Residuo por secado.*

Aditivos líquidos: Los residuos de las muestras no deben diferir entre sí en más de 5%.

Aditivos no líquidos: Los residuos de las muestras no deben diferir entre sí en más de 4%.

c) *Masa específica (Aditivos líquidos).*

Los valores de las muestras no deben diferir entre sí en más de 10%.

d) *PH.*

La diferencia de PH entre las muestras, ya sean líquidas o sólidas no debe ser mayor que ± 0.5 .

2.8.3. Cloruro de calcio (CaCl_2).

Las especificaciones para el cloruro de calcio empleado como aditivo acelerante corresponderán a la Norma NMX-C-356 vigente.⁽¹⁹⁾ La cual define lo siguiente:

A) Composición expresada en base anhidra.

Total de cloruro de calcio	90 \pm 1 %
Diferentes a los cloruros de calcio y magnesio	8 \pm 1 %
Total de magnesio como cloruro de magnesio (MgCl_2)	0.5 %
Impurezas sin incluir MgCl_2	9.5 %

- a) Si el producto de ensaye muestra menos de 90% de contenido de cloruro de calcio (CaCl_2), se calcula la concentración máxima de impurezas permitidas en ese producto como sigue:

$$A = A_1 \cdot \frac{B}{100 - C} = A_1 \cdot \frac{B}{90}$$

Donde:

A = Impurezas en el producto ensayado (máx. % permitidas).

A_1 = Límite de la impureza en base anhidra en (máx. %).

B = Contenido de CaCl_2 , en el producto ensayado en (%).

C = Total de todas las impurezas permitidas en el producto anhidro (%).

- b) Total en por ciento de impurezas más comunes:

$$\% = 100.0 - (\% \text{ NaCl} + \% \text{ KCl} + \% \text{ MgCl}_2 + \% \text{ H}_2\text{O} + \% \text{ Ca(OH)}_2)$$

Donde:

NaCl = Cloruro de sodio.

KCl = Cloruro de potasio.

MgCl_2 = Cloruro de magnesio.

H_2O = Monóxido de hidrógeno (agua).

Ca(OH)_2 = Hidróxido de calcio.

Por otro lado la Norma ASTM D98-87⁽²⁰⁾ define los siguientes requisitos químicos:

El contenido de CaCl_2 no deberá ser menor que el $\text{CaCl}_2\%$ especificado.

- a) Si el producto ensayado muestra un contenido de CaCl_2 igual o mayor al 90.5%, el contenido de impurezas (sin incluir agua) no deberá exceder lo siguiente (composición sobre la base anhidra de CaCl_2):

Total de cloruros alcalinos (como NaCl), máx. %	8.0
Total de magnesio como MgCl_2 , Máx. %	0.5
Otras impurezas	1.0

b) Si el producto ensayado muestra un contenido de CaCl_2 menor que el 90.5%, la concentración máxima de impurezas permitidas se calculará de la siguiente manera:

$$A = A_1 \cdot \frac{B}{100 - C} = A_1 \cdot \frac{B}{90.5}$$

Nota: Los términos definidos aquí son los mismos que se definieron anteriormente para la Norma NMX-C-356-1988.

c) Otras impurezas.

$$\% = 100.0 - (\% \text{CaCl}_2 + \% \text{NaCl} + \% \text{KCl} + \% \text{MgCl}_2 + \% \text{H}_2\text{O} + \% \text{Ca}(\text{OH})_2)$$

Al mismo tiempo, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes⁽²⁶⁾ recomienda los siguientes requisitos químicos para cloruro de calcio definidos en la Tabla 6.

CONCEPTOS	CLORURO DE CALCIO	
	Normal (en escamas)	Concentrado (en escamas o granulado)
Cloruro de calcio (CaCl_2), por ciento mínimo.	77.0	94.0
Total de cloruros alcalinos, medidos en base a cloruro de sodio (NaCl), por ciento, máximo.	2.0	5.0
Magnesio total medido en base a cloruro de magnesio (MgCl_2), por ciento, máximo.	0.5	0.5
Otras impurezas (no incluyendo agua), por ciento, máximo.	1.0	1.0

Tabla 6. Requisitos químicos para cloruro de calcio.

B) Granulometría.

El cloruro de calcio (sólido) debe cumplir con los requerimientos de tamaño de partícula descrito en la Tabla 7, definidos por la Norma NMX-C-356 vigente.⁽¹⁹⁾

Cribas	Masa que pasa la criba (en %).				
	Variante A		Variante B	Variante C	
	Clase 1	Clase 2		Clase 1	Clase 2
31.5 (1 1/4)	-	-	100	-	-
9.5 (3/8)	100	100	-	100	100
4.75 (No. 4)	80 a 100	55 a 100	0 a 5	90 a 100	0 a 80
2.36 (No. 8)	-	-	-	0 a 50	-
1.18 (No. 16)	-	-	-	0 a 5	-
0.600 (No. 30)	0 a 5	0 a 35	-	-	0 a 50

Tabla 7. Granulometría.

Por otro lado la Norma ASTM D98-87⁽²⁰⁾ define los siguientes requisitos físicos:

Criba	Masa que pasa la criba (en %).									
	Grado 1. 77% mín. CaCl ₂		Grado 2. 90% mín. CaCl ₂				Grado 3. 94% mín. de CaCl ₂			
	Clase A. Escama	Clase B. Granular	Clase A. Escama	Clase B. Pastillas	Clase C. Granular	Clase D. Polvo	Clase A. Escama	Clase B. Pastillas	Clase C. Granular	Clase D. Polvo
31.5 mm (1 1/4)	-	-	-	-	100	-	-	-	100	-
9.5 mm (3/8)	100	100	100	100	-	-	100	100	-	-
4.75 mm (No. 4)	80-100	80-100	80-100	80-100	0-5	100	80-100	80-100	0-5	100
2.36 mm (No. 8)	-	-	-	-	-	80-100	-	-	-	80-100
1.18 mm (No. 16)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
850 μm (No. 20)	-	-	-	0-10	-	-	-	0-10	-	-
600 μm (No. 30)	0-5	0-5	0-5	0-5	-	0-65	0-5	0-5	-	0-65

Tabla 8. Análisis Granulométrico.

Al mismo tiempo, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes⁽²⁶⁾ recomienda los siguientes requisitos físicos para cloruro de calcio:

Malla	Por ciento que pasa
3/8" (9.51 mm)	100
Núm. 4 (4.76 mm)	80 a 100
Núm. 30 (0.595 mm)	0 a 5

Tabla 9. Requisitos granulométricos para cloruro de calcio.

CAPÍTULO III.

Aditivos Incluidos de Aire.

3. Aditivos Incluidores de Aire.

Al elaborar un concreto, queda atrapado una cantidad de aire que generalmente no sobrepasa el 2% del volumen total del concreto (excepto con altas proporciones de arena).⁽⁶⁾ Este aire introducido de manera involuntaria (en forma de burbujas de diferente tamaño y distribuidas irregularmente), afecta adversamente ciertas propiedades del concreto endurecido.

Actualmente se aplica la técnica de introducir aire al concreto durante el mezclado del mismo por medio de un aditivo incluidor de aire. La diferencia entre las dos maneras de introducir aire estriba en que el aire introducido intencionalmente se distribuye uniformemente en toda la mezcla de concreto por medio de innumerables burbujas esféricas casi microscópicas, que ayudan a mejorar la resistencia del concreto endurecido a los ciclos de congelación y deshielo, además de mejorar la trabajabilidad y reducir el sangrado en el concreto fresco.⁽¹⁾

Un aditivo incluidor de aire es aquel material usado como un ingrediente del concreto, agregado a la mezcla inmediatamente antes o durante su mezclado, con el propósito de introducirle aire,⁽²⁷⁾ generalmente para incrementar su trabajabilidad y resistencia al congelamiento.⁽⁴⁾

Además de los aditivos incluidores de aire, existe la alternativa de usar un cemento Portland incluidor de aire, el cual es de uso más simple, pero presenta el inconveniente de no poder hacer cambios en el contenido de aire que se puede requerir para producir los resultados óptimos en la mezcla de concreto.⁽¹²⁾

3.1. Características.

Los aditivos incluidores de aire se presentan generalmente en forma líquida,⁽²⁸⁾ pero existen algunos en polvo, escamas o semisólidos.⁽³⁾ Se agregan a la mezcla por medio del agua de mezclado⁽²⁸⁾ o por medio del agregado fino.⁽¹⁰⁾

Las principales sustancias que componen a los aditivos incluidores de aire son:

- a) Resinas naturales de madera, que reaccionan con la cal para formar resinato soluble. La resina puede estar previamente neutralizada con hidróxido de sodio

(NaOH) para obtener, de una resina ácida, un jabón soluble en agua (por ejemplo resina de vinsol).

- b) Grasas, aceites minerales y animales y sus ácidos grasos (por ejemplo, el sebo de res).
- c) Agentes humectantes, como son las sales de álcalis de compuestos orgánicos sulfatados (por ejemplo, Dárex y Cormix).⁽²⁹⁾

Pero el agente inclusor de aire más conocido es la resina de vinsol neutralizada, que inclusive se emplea como aditivo inclusor de aire de referencia.⁽¹⁾

Generalmente la cantidad de aire introducida al concreto es del 4 al 8%, y las dosificaciones más comunes oscilan entre 30 a 60 mL⁽⁷⁾ ó 0.15 a 0.50 kg de aditivo por cada 50 kg de cemento.⁽¹¹⁾

Para que el aire introducido proporcione los efectos deseados, además de representar un porcentaje del volumen de concreto, deberá presentarse en burbujas que cumplan con ciertas características geométricas (esfericidad, distribución de tamaños, diámetro medio y superficie específica)⁽¹⁾ y características de distribución (factor de espaciamiento).⁽³⁾ Tal es el caso que para proteger la pasta de cemento en el concreto contra los efectos de congelación-deshielo, se requiere un factor de espaciamiento de 0.20 mm o menor y una superficie específica mayor de 23.6 mm²/mm³.⁽⁴⁾ Las características de las burbujas de aire deberán verificarse mediante las pruebas especificadas en la Norma NMX-C-200 vigente (ver anexo 4),⁽¹⁾ mientras que para determinar el factor de espaciamiento, se deberá verificar microscópicamente en el laboratorio, por medio del método lineal transversal y los procedimientos modificados de conteo de punto, descritos en la Norma ASTM C 457.⁽³⁾

3.2. Usos.

Los aditivos inclusores de aire se utilizan para:

- a) *Aumentar la durabilidad del concreto a la intemperie en zonas con climas fríos* (en pavimentos, puentes, banquetas y guarniciones).⁽³⁾ En concretos parcial o totalmente saturados,⁽⁶⁾ el agua al congelarse se expande y tiende a romper al concreto, pero si contiene aire incluido, las burbujas de aire actúan como

válvulas liberadoras de presión y amortiguan el efecto expansivo, incrementando así, la resistencia a los ciclos de congelación-deshielo del concreto.⁽⁷⁾

- b) *Incrementa la resistencia al descascaramiento o desconchamiento del concreto producido por las sales descongelantes* (empleadas para derretir el hielo en pavimentos),⁽²⁸⁾ tales como cloruros de sodio y calcio.⁽⁴⁾ Además aumenta la resistencia al ataque de la mayoría de las sustancias químicas,⁽¹⁵⁾ particularmente al ataque de los sulfatos.⁽²⁸⁾
- c) *Aumentar la trabajabilidad del concreto.* Las pequeñas burbujas introducidas al concreto actúan como un lubricante, aumentando con esto la trabajabilidad de la mezcla de concreto.⁽³⁰⁾ Se facilita el manejo, colado y bombeo del concreto.⁽¹⁰⁾ La inclusión de aire permite el uso de agregado áspero o triturado (principalmente en presas de concreto),⁽⁷⁾ o bien agregado de no muy buena granulometría.⁽¹⁵⁾
- d) *Reducir el contenido de agua de mezclado.* Esto como consecuencia del aumento de la trabajabilidad del concreto, con lo cual se logra un concreto más impermeable,⁽³⁰⁾ ya que se reduce el número de canales capilares.⁽¹⁴⁾
- e) *Reducir o eliminar el sangrado.*⁽⁹⁾ Además evita con esto, la formación de bolsas de agua debajo de las partículas de agregado grueso y de piezas ahogadas (acero de refuerzo) y la acumulación de lechada o material débil en la superficie del concreto.⁽³⁾
- f) *Reducir o eliminar la segregación.*⁽⁹⁾
- g) *Hacer al concreto más cohesivo.* La mezcla es más fácil de colar y compactar.⁽²⁹⁾
- h) *Reducir el peso unitario del concreto, en la misma proporción de aire incluido.*⁽¹⁵⁾ Se reduce la densidad del concreto, aumentando con esto, el rendimiento del cemento y de los agregados, obteniendo un ahorro, representando una ventaja económica, la cual compensa el costo del aditivo inclusor de aire (el cual generalmente es barato) y la supervisión adicional.⁽²⁹⁾

Los aditivos inclusores de aire se han empleado para la fabricación de bloques de concreto, logrando bloques más estéticos (se reduce el desbastado de los bordes y esquinas), además de tener menor desgaste de los moldes. También se han usado en la fabricación de piezas de mampostería y de tubería de concreto.⁽³⁾

3.3. Precauciones en el empleo.

La inclusión de aire y la distribución de tamaños de las cavidades de aire producidas en el concreto, depende de algunos factores, los cuales deberán mantenerse lo más constante posible, para que el contenido de aire en el concreto sea uniforme. Dichos factores son los siguientes:

- a) *La naturaleza y cantidad del aditivo inclusor de aire.* Generalmente, la cantidad de aire incluido es proporcional a la cantidad de aditivo empleada.⁽³⁾ Sin embargo, hay una cantidad máxima a partir de la cual no habrá aumento en la cantidad de aire incluido.⁽²⁹⁾
- b) *La naturaleza y cantidad de los constituyentes de la mezcla de concreto.* La granulometría y forma de la partícula del agregado influyen en la cantidad de aditivo empleado. Por ejemplo, los agregados finos triturados provocan la inclusión del doble de la dosis de aditivo en el concreto, que la requerida cuando se proporcionan agregados finos naturales redondeados.⁽³⁾ También las impurezas orgánicas del agregado (que pueden ser algas) pueden aumentar o disminuir la demanda del aditivo.⁽¹⁵⁾ Nunca se debe usar "agua dura", o sea agua que se ha utilizado para lavar la olla del camión mezclador, porque requiere mayor cantidad de aditivo inclusor de aire.⁽²⁹⁾ El contenido de aire se reduce cuando se incrementan los finos en el concreto⁽¹⁵⁾ y la finura del cemento.⁽²⁹⁾ El contenido de aire se incrementa cuando se disminuye el contenido de cemento, se aumenta el contenido de arena⁽¹²⁾ o se emplean concretos con elevado grado de álcalis. Cuando se agregan aditivos reductores de agua generalmente se requiere menor dosis de aditivo inclusor de aire,⁽³¹⁾ que por lo general se reduce una tercera parte.⁽⁴⁾ Por otro lado, se requieren mayores dosis de aditivo inclusor de aire en concretos con cemento Portland de fraguado rápido (Tipo III); cemento Portland-puzolana (Tipo 1P); algunos aditivos minerales finamente divididos (puzolanas naturales, cenizas volantes y bentonitas); y pigmentos finamente divididos (como el carbón negro sin tratar).⁽⁴⁾
- c) *Tipo y duración del mezclado empleado.* Si la mezcladora se sobrecarga, tiene las hojas gastadas o el mezclado se hace a una velocidad incorrecta, el agente inclusor de aire no proporcionará el resultado esperado. Se debe evitar que se

acumule material en el tambor o en las aspas.⁽³⁾ Además si el tiempo de mezclado es insuficiente⁽¹⁰⁾ o se prolonga demasiado se reduce el contenido de aire.⁽¹⁵⁾

- d) *Consistencia.* A medida de que se incrementa el revenimiento del concreto hasta 15 cm, aumenta también el contenido de aire, ya que después de este valor el contenido de aire se vuelve inestable. Por otro lado, en mezclas de bajo revenimiento, es difícil lograr porcentajes razonables de aire incluido, ya que contienen cantidades pequeñas de agua de mezclado, además de que el aditivo se agrega en pequeñas cantidades, por lo que no se alcanza a diluir y dispersar uniformemente en toda la mezcla.⁽¹⁰⁾ Cuando se proporcionan altos contenidos de cemento, el concreto con aire incluido se hace pegajoso y de difícil acabado.⁽⁴⁾
- e) *Tipo y grado de compactación aplicada al colar el concreto.* Cuando se compacta al concreto, hay expulsión de aire. Sin embargo, las burbujas eliminadas son las de mayor tamaño, que contribuyen poco o nada en los efectos buscados con la aplicación de los agentes inclusores de aire,⁽³⁾ además, pruebas de laboratorio han mostrado que la resistencia del concreto a la congelación-deshielo no se reduce cuando se aplican cantidades moderadas de vibración.⁽⁴⁾
- f) *Temperatura.*⁽⁷⁾ Hay menos aire incluido conforme aumenta la temperatura del concreto⁽³⁾. Cuando el concreto tiene temperaturas entre 15 y 22°C, el contenido de aire varía poco, pero a temperaturas mayores de 24°C se comienzan a obtener contenidos de aire menores a los esperados, y mientras más elevada sea la temperatura del concreto, más drástica será la disminución del contenido de aire.⁽¹⁰⁾
- g) *Manejo del concreto.* Los métodos empleados para transportar al concreto después del mezclado generalmente reducen el contenido de aire, tal es el caso cuando se bombea concreto.⁽⁴⁾

Los aditivos inclusores de aire, provocan el efecto secundario de disminuir la resistencia del concreto a la compresión entre un 4 y 6% por cada 1% de aire incluido, esto para una misma relación agua/cemento (A/C).⁽¹⁵⁾ Ahora bien, si se mantiene la misma trabajabilidad y contenido de cemento (con lo que se disminuye la cantidad de

agua de mezclado), las resistencias del concreto con y sin la inclusión de aire son muy similares. Esto sucede principalmente en mezclas pobres de concreto (dosificaciones de cemento menores a 225 kg/m^3 de concreto)⁽²⁹⁾ o en mezclas con agregados de tamaño máximo pequeño.⁽³⁾

Algunos aditivos inclusores de aire no son compatibles cuando se les mezcla antes de añadirlos al concreto con algunos aditivos químicos reductores de agua y/o reguladores del fraguado, por lo que se deberán agregar por separado a la mezcla⁽³⁾ (si se mezclan antes pierden sus propiedades). Por ejemplo, el cloruro de calcio (CaCl_2) tiende a evitar la inclusión de aire, por lo que conviene agregar el aditivo inductor de aire mezclándolo con la arena, mientras que al cloruro de calcio con el agua.⁽¹⁵⁾ Es muy importante que el aditivo se disperse bien en la mezcla, por lo que se recomienda agregarse en forma de solución (y no en forma sólida),⁽³⁾ y al mismo tiempo que el agua, de preferencia mezclado con ésta anticipadamente, siempre que esto sea posible.⁽⁷⁾

El contenido de aire del concreto deberá verificarse y controlarse durante todo el tiempo de construcción, para lo cual se deberán hacer pruebas a intervalos regulares y en los casos donde se sospeche que ha ocurrido un cambio en el contenido de aire en el concreto. Para medir el contenido de aire en el concreto fresco existen tres métodos: el gravimétrico, el volumétrico y el de presión (ver anexo 6), pero actualmente el único empleado es el método de presión. Además de estos métodos también existe el medidor Chace (el cual es una adaptación del método volumétrico) que tiene la ventaja de ser pequeño, rápido y eficaz para detectar cambios súbitos,⁽³¹⁾ pero al igual que los métodos gravimétrico y volumétrico, ya no se emplea.

Una gran cantidad de pruebas y la experiencia han demostrado que cuando un concreto con contenido total de aire se encuentra dentro de los rangos recomendados, medido por cualquiera de los métodos anteriormente mencionados, tendrá el tamaño y distribución adecuados de cavidades de aire.⁽³⁾

Se presentan los valores recomendados del contenido de aire para concretos con diferentes tamaños máximos de agregados. Los valores de aire incluido se aplican a concretos expuestos a ciclos de congelación-deshielo y en climas donde no se

presenta congelación (sólo importan aspectos como la trabajabilidad y plasticidad de la mezcla) se recomiendan valores menores en 3 a 3.5%.⁽²¹⁾

Tamaño máximo de agregado		Contenido de aire recomendado (en por ciento del volumen)
mm	pulg.	
10	3/8	7 1/2 ± 1
20	3/4	6 ± 1
40	1 1/2	5 ± 1

Tabla 10. Contenido de aire recomendado para concretos con diferentes tamaños máximos de agregado.

3.4 Especificaciones.

Las especificaciones para aditivos inclusores de aire corresponden a las estipuladas en la Norma NMX-C-200 vigente, la cual define lo siguiente:

a) *Sangrado.*

El sangrado del concreto elaborado con el aditivo bajo prueba, no debe exceder al de concreto elaborado con el aditivo de referencia, en más de 2%. El sangrado se calcula como un porcentaje del contenido neto de agua de mezclado en cada concreto. El contenido neto de agua de mezclado es el que se tiene sin considerar el agua absorbida por los agregados.

b) *Tiempo de fraguado.*

Los tiempos de fraguado, inicial y final, del concreto que contiene el aditivo bajo prueba, no deben desviarse de los del concreto hecho con el aditivo de referencia, en más de ± 1 h y 15 min.

c) *Resistencia a la compresión y/o a la flexión.*

La resistencia a la compresión y/o a la flexión a cualquier edad de prueba del concreto, que contiene el aditivo bajo prueba, debe ser mayor del 90% de la resistencia obtenida a la misma edad, en los especímenes del concreto que contiene el aditivo de referencia.⁽³²⁾

La Norma ASTM C 260-95 recomienda que este requisito, en el caso de resistencia a la flexión, se aplique solamente cuando específicamente lo requiera el comprador para el uso de estructuras donde la resistencia a la flexión o los cambios volumétricos sean de crítica importancia.⁽²⁷⁾

d) *Resistencia a la congelación y al deshielo.*⁽²⁷⁾

El factor de durabilidad relativa del concreto con el aditivo bajo prueba, debe ser mayor que 80 (ochenta). Dicho factor se debe calcular como sigue:

$$FD = (FD_1) = \frac{PN}{300}$$

$$FDR = \frac{FD}{FD_1} \times 100$$

Donde:

FD = Factor de durabilidad del concreto que contiene el aditivo bajo prueba.

FD₁ = Factor de durabilidad del concreto que contiene el aditivo de referencia.

FDR = Factor de durabilidad relativa.

P = Módulo dinámico de elasticidad como porcentaje del módulo dinámico de elasticidad a cero ciclos (los valores de P deben ser 60 ó más grandes).

N = Número de ciclos a los cuales P alcanza 60%, ó 300 ciclos si P no alcanza 60% antes del final de la prueba.

e) *Cambio de longitud.*

El cambio de longitud debido al secado del concreto que contiene el aditivo bajo prueba, no debe ser mayor que el 120% del cambio de longitud en el concreto que contiene el aditivo de referencia, cuando se comparen después de 14 días de secado.

Si el cambio de longitud del concreto de referencia al final de los 14 días de secado es menor que 0.030%, el incremento en el cambio de longitud por secado del concreto que contiene el aditivo bajo prueba debe ser menor que 0.006% respecto al del concreto de referencia.

Además de las especificaciones anteriores, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes,⁽²⁶⁾ define lo siguiente:

a) Resistencia a la adherencia:

La resistencia a la adherencia a veintiocho (28) días de edad del concreto no deberá ser menor del noventa por ciento (90%) de la del concreto elaborado con el agente inclusor de aire de referencia.

b) Los agentes inclusores de aire que contengan cloruros, no deberán usarse en concreto presforzado, en vista de que pueden acelerar la corrosión del acero de presfuerzo.

c) El agente inclusor de aire que permanezca debidamente almacenado por más de seis (6) meses después de las pruebas de control correspondientes, deberá ser muestreado y probado nuevamente antes de usarlo.

CAPÍTULO IV.

Aditivos minerales finamente divididos.

4. Aditivos minerales finamente divididos.

Los materiales finamente divididos, sólo son aditivos cuando se agregan a la mezcla de concreto como componentes separados, ya sea antes o durante el mezclado. Diferenciándose de las adiciones, en las cuales se muelen o se mezclan con cemento Portland para producir cementos hidráulicos mezclados.

Los aditivos minerales finamente divididos cuando se proporcionan adecuada y económicamente en una mezcla de concreto, por lo general reducirán la proporción de cemento Portland, de la que se requeriría en otras circunstancias. Y como los aditivos minerales finamente divididos son poco costosos de producir o son productos secundarios, se les emplea para reducir el costo unitario del concreto. Además, pueden mejorar mezclas de concreto con características deficientes en algún aspecto, sin alterar las proporciones relativas de los demás componentes.

Antes de usar un aditivo mineral finamente dividido, se deberá evaluar el efecto de otros productos disponibles sobre las propiedades y economías del concreto. Deberá establecerse el costo del concreto con cada uno de los aditivos minerales finamente divididos que se puedan emplear. Asimismo, se deberán evaluar los efectos provocados en el concreto sobre otras cualidades esenciales, así como también los efectos secundarios provocados.⁽³⁾

4.1. Clasificación.

Los aditivos minerales finamente divididos se clasifican en:

- a) *Puzolanas*. Entre los aditivos minerales finamente divididos, es el grupo más importante. Las puzolanas se definen como materiales silíceos o siliceo-aluminosos, que por sí mismos poseen poco o ningún valor cementante, pero en forma finamente dividida y en presencia de humedad reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio, aún a temperaturas ordinarias para formar compuestos que poseen propiedades cementantes.⁽¹²⁾ Se emplean principalmente para mejorar la trabajabilidad, plasticidad y resistencia a los sulfatos; reducir la reactividad con los álcalis, la permeabilidad y el calor de hidratación; y para sustituir parcialmente al cemento.⁽⁹⁾

- b) *Materiales cementantes*. Son sustancias que por sí solas poseen propiedades hidráulicas cementantes (fragan y endurecen en presencia de agua). Se utilizan para sustituir parcialmente al cemento y proporcionar propiedades hidráulicas.⁽⁹⁾
- c) *Materiales puzolánicos y cementantes*. Presentan al mismo tiempo propiedades puzolánicas y cementantes, aunque estas últimas limitadas.⁽²⁸⁾
- d) *Materiales químicamente inertes*. Presentan pocas o nulas propiedades cementantes. Se emplean para mejorar la trabajabilidad del concreto.⁽⁹⁾

4.2. Características.

La mayoría de los materiales utilizados para este fin son polvos igual o más finos que el cemento Portland. Por lo tanto, influyen en las propiedades físicas de la pasta fresca de manera similar a como lo hace el cemento.⁽³⁾ Las puzolanas se manejan en obra de manera similar que el cemento, ya sea en sacos o a granel.⁽⁶⁾

A continuación se presentan los principales materiales de que están compuestos los aditivos minerales finamente divididos:

- a) *Puzolanas*. Pudiendo estar compuestos por ciertas cenizas volantes, puzolanas naturales (tierras diatomáceas, horstenos opalinos, arcillas, pizarras, tobas volcánicas y piedra pómez),⁽⁹⁾ humo de sílice (microsílica), pumicitas, cuarzo opalino,⁽⁵⁾ algunas lutitas,⁽²⁸⁾ vidrios volcánicos y algunos esquistos crudos o tratados con calor.⁽³⁾
- b) *Materiales cementantes*. Entre los que se encuentran los cementos naturales, las cales hidráulicas, los cementos de escoria (mezclas de escoria de alto horno y cal) y escoria granulada de alto horno molida.⁽³³⁾
- c) *Materiales puzolánicos y cementantes*. A este grupo pertenecen ciertas cenizas volantes (producto de la combustión de carbón sub-bituminoso o lignita)⁽²⁸⁾ y algunas escorias granuladas de alto horno molidas, que presentan propiedades tanto puzolánicas como cementantes.⁽⁹⁾
- d) *Materiales químicamente inertes*. Están formados por el mármol,⁽⁹⁾ arenas de cuarzo y las silíceas finamente divididas, piedras de cal, calizas calcíticas y dolomíticas, granito y otros polvos de roca, desperdicios de crisolito (asbesto), cal dolomítica hidratada o con elevado contenido de calcio,⁽³⁾ el talco, la bentonita, así como otros materiales.⁽²⁸⁾

El material puzolánico más importante es la ceniza volante, residuo finamente dividido (polvo semejante al cemento, de color gris a tostado) que resulta de la combustión del carbón mineral pulverizado en las plantas generadoras de electricidad. Se componen principalmente de sílice, alúmina, hierro y calcio; y en menores cantidades por magnesio, azufre, sodio, potasio y carbono.⁽⁹⁾ El exceso de alguno de sus componentes puede afectar de manera adversa alguna propiedad o característica del concreto,⁽⁵⁾ por ejemplo, un alto contenido de carbón, puede disminuir o eliminar el aire incluido.⁽¹⁰⁾

Los tamaños de las partículas de ceniza volante (que son de forma esférica sólidas o huecas) varían desde menos de una micra hasta 100 micras, con tamaño típico de partícula menor a 20 micras. Solo del 10 al 30 % de las partículas (en peso) son mayores a 45 micras. normalmente el área superficial es de 300 a 500 m²/kg, aunque hay algunas cenizas volantes que han tenido un área superficial de 200 y 700 m²/kg.

Las cenizas volantes clasificadas por la ASTM C 618 como clase F y C se emplean comúnmente como aditivos puzolánicos para el concreto. Los materiales Clase F son generalmente cenizas volantes de bajo contenido de calcio (menos de 10% de CaO), con contenidos de carbono usualmente inferiores a 5%, aunque en algunas se llegue a alcanzar el 10%. Los materiales Clase C son frecuentemente cenizas volantes de contenido elevado de calcio (10 a 30% de CaO) cuyos contenidos de carbono son menores de 2%. Algunas cenizas volantes satisfacen las clasificaciones tanto para la Clase F como para la clase C.⁽⁹⁾

Los efectos que una puzolana produce al concreto fresco dependen de su grado de finura, de la forma y de la textura superficial de sus partículas. Las cenizas volantes presentan en su mayoría partículas de forma esférica, con superficies de textura vítrea y con finura similar a la del cemento Portland. Estas características permiten que la ceniza volante, usada como aditivo, permita mejorar la manejabilidad y la cohesión de la mezcla, así como reducir la segregación y el sangrado, sin aumentar la demanda de agua de mezclado (logrando en algunas ocasiones disminuirla ligeramente), por lo que generalmente no se afecta la contracción por secado (aunque en algunas ocasiones disminuye); además no provocan la pérdida prematura de revenimiento del concreto. En contrapartida, las puzolanas naturales no provocan estos mismos efectos

generados por las cenizas volantes, por lo que en este sentido, es más ventajoso el empleo de éstas últimas.⁽¹⁾

Otra puzolana importante es el humo de sílice, también llamado microsílíce o humo de sílice condensado, el cual es un producto en forma de polvo de color gris claro a oscuro o en ocasiones gris azulado verdoso. Este producto resulta de la reducción de cuarzo muy puro con carbón mineral en un horno de arco eléctrico durante la manufactura del silíceo o de aleaciones de ferrosilíceo. El humo de sílice asciende como vapor oxidado de los hornos a 2000°C. Se enfría, se condensa y se recolecta, para posteriormente procesarlo retirándole las impurezas y controlarle su tamaño de partícula. El humo de sílice condensado esencialmente consiste en dióxido de sílice (más del 90%) en forma no cristalina. Es un material susceptible a ser volado por el aire y sus partículas tienen forma esférica. Es un material extremadamente fino, con diámetro promedio de 0.1 micra, casi 100 veces menor que las partículas promedio del cemento. Presenta un área superficial de 20 000 m²/kg. El peso volumétrico sin compactar del humo de sílice es de aproximadamente 250 a 300 kg/m³. El humo de sílice se vende en forma de polvo o líquido.

Los materiales cementantes más importantes son la escoria granulada de alto horno molida, el cemento natural y la cal hidráulica hidratada. La escoria granulada de alto horno molida se fabrica a partir de la escoria de alto horno de hierro. Es un producto no metálico compuesto principalmente por silicatos y aluminosilicatos de calcio y de otras bases que se desarrollan en la fundición simultáneamente con el hierro en los altos hornos. La escoria se funde a una temperatura de aproximadamente 1500°C, templándose al ser enfriada por inmersión en agua, para pasar a formar un material granular vítreo (parecido a la arena). Posteriormente este material se muele a menos de 45 micras (con una finura de Blaine de 400 a 600 m²/kg). La escoria para ser hidratada, se mezcla con agua y un activador (NaOH o CaOH, proporcionados ambos por el cemento Portland), fraguando de manera similar al cemento Portland. La escoria presenta diferentes propiedades si se enfría con agua o al aire libre.

El cemento natural se obtiene al calcinar calizas arcillosas justo debajo del punto de fusión para posteriormente molerse hasta obtener un polvo muy fino. La cal hidráulica

hidratada se obtiene calcinando calizas que contienen sílice y alúmina hasta un punto en el cual se encuentre presente suficiente óxido de calcio libre y silicatos de calcio sin hidratar para lograr las propiedades de hidratación e hidráulicas del material.

Entre los materiales puzolánicos y cementantes predominan algunas escorias granuladas de alto horno molidas y las cenizas volantes clasificadas en la Norma ASTM C 618 como Clase C con un contenido de óxido de calcio de aproximadamente 15 a 30% en peso. Estas cenizas volantes al exponerse en agua se hidratan y endurecen en menos de 45 minutos. El fin principal del empleo de estos materiales es la reducción en el costo del concreto al reemplazar parcialmente al cemento.

Los materiales químicamente inertes se emplean como una adición al cemento y como una sustitución parcial de la arena en el concreto para mejorar una trabajabilidad pobre causada frecuentemente por la falta de finos en la arena.⁽⁹⁾

4.3. Usos.

Los aditivos minerales finamente divididos se emplean para:

- a) *Corregir una deficiencia en el concreto.* Tal es el caso cuando se proporcionan finos a una mezcla de concreto carente de ellos, logrando así evitar problemas de trabajabilidad y de acabado. Esto se logra con el empleo de un aditivo mineral relativamente inerte.⁽³⁾ Por ejemplo, para incrementar la resistencia del concreto en mezclas de concreto deficientes de finos que pasan la malla No. 200 (75 mm), corrigiendo esta deficiencia al proporcionar los finos al agregado. Al hacer esto, no se requiere modificar el contenido total de agua, por lo que no afecta a la contracción por secado.⁽³⁴⁾
- b) *Mejorar una o más de las cualidades del concreto.* Por ejemplo para reducir el sangrado, la segregación, la expansión álcali-sílice, la permeabilidad y la generación de calor de hidratación, así como incrementar la resistencia a los sulfatos (aguas de mar, soluciones de terrenos portadores de sulfatos y aguas ácidas naturales). Cualquier puzolana reduce la permeabilidad del concreto, unas con mayor efecto que otras. En concretos masivos, con proporciones de moderadas a elevadas, hay quienes aseguran que no se puede lograr una

impermeabilidad mayor que por este medio, e incluso, con el empleo de ceniza volante la permeabilidad se puede reducir hasta en una séptima parte que la obtenida con un concreto convencional. Las puzolanas se emplean en concretos masivos para reducir la elevación de temperatura del concreto.⁽³⁾ Las puzolanas, por la naturaleza de su reacción con la cal, genera menos calor que el cemento Portland al hidratarse. Aunque la reducción de calor depende de varios factores, se puede considerar que una puzolana incorporada al concreto en sustitución de una fracción del cemento Portland, genera aproximadamente la mitad del calor que de otro modo produciría el cemento sustituido,⁽¹⁾ con lo cual ayuda a restringir las temperaturas diferenciales que originan esfuerzos térmicos que causan agrietamientos.⁽⁶⁾ Por lo que las puzolanas justifican su empleo en presas y concretos masivos.⁽³⁾ Además, una buena puzolana se recomienda en obras hidráulicas, tratamientos de aguas, en estructuras de ingeniería sanitaria y en revestimientos de túneles y canales, porque la presencia de humedad durante el servicio asegura una máxima combinación cal-puzolana.⁽⁶⁾

- c) *Hacer al concreto más económico.* Se reducen el costo de los materiales; las cenizas volantes se utilizan en la sustitución de entre un 15 y 20 % del peso del cemento Portland.⁽³⁴⁾ Además se reducen los costos de operación (por ejemplo en conceptos de bombeo y de inyección); la mano de obra se reduce al mejorar las cualidades de trabajabilidad y acabado del concreto.⁽³⁾
- d) *Para elaborar concreto de alta resistencia.* Se han empleado cenizas volantes especialmente en la producción de concreto de alta resistencia de 400 a 1000 kg/cm².⁽⁹⁾ Además se ha usado el humo de sílice en combinación con un aditivo super reductor de agua para obtener concretos de alta resistencia que van desde los 600 kg/cm² hasta valores superiores a los 1,500 kg/cm² empleados en edificios de gran altura, carreteras, pilotes y elementos prefabricados, por citar algunos ejemplos. La microsíllica es un subproducto del proceso de fundición con características de finura comparables al humo de un cigarro (100 veces más fino que el cemento). Este material reacciona con la cal libre, producto de la hidratación del cemento, formando material cementante y además la misma finura del material ayuda a rellenar los huecos y canales capilares dentro del concreto.

Debido a la gran finura que presenta este aditivo, aumenta enormemente el requerimiento de agua, por lo que es necesario emplearlo en combinación con un aditivo super reductor de agua, el cual elimina este problema.⁽³⁵⁾

- e) *Reducir la corrosión del acero.* Esto se logra al disminuir la permeabilidad al agua, aire y iones cloruro de un concreto que ha sido curado correctamente. La ceniza volante y el humo de sílice pueden reducir de manera importante la entrada de los iones cloruro.⁽⁹⁾

4.4. Precauciones en el empleo.

Los aditivos minerales finamente divididos se deberán almacenar en bodegas, cajones o silos, de tal forma que queden protegidos de la humedad y de la contaminación. Deberá asegurarse, cuando haya depósitos contiguos de diferentes materiales almacenados, que no existan filtraciones o fugas de materiales.

La dosificación de los aditivos minerales finamente divididos deberá hacerse por peso, y en el caso de proporcionarse a granel, deberá pesarse primero al cemento, colocando posteriormente al aditivo junto con éste, para pesarse en forma acumulada.

Deberá tenerse cuidado al momento de introducir el aditivo a la mezcladora y evitar la pérdida del mismo, ya que algunos presentan área superficial muy elevada y pueden ser de bajo peso específico, por lo que son fáciles de soplar por el viento.

Estos aditivos deberán introducirse a la mezcladora al mismo tiempo que los demás componentes de la mezcla; nunca cuando la mezcladora se encuentra mojada en su interior y no se hayan introducido los demás materiales (porque el aditivo se pegaría a los lados, aletas y aspas de la mezcladora), tampoco deberá agregarse a la mezcladora junto con el agua de mezclado, dado que estos aditivos en presencia de ésta, tienden a agruparse.

Siempre deberá seleccionarse un aditivo que tenga características físicas favorables, de tal manera que contenga características que haga que la pasta contenga una proporción máxima de materiales sólidos y una proporción mínima de agua. Para esto se requiere que las partículas no tengan formas desfavorables y que el área superficial no sea demasiado elevada (porque incrementa el consumo de agua).

Debe tenerse en cuenta que una forma favorable de partícula y una finura satisfactoria del aditivo mineral, son cualidades necesarias para lograr un contenido bajo de agua. Existen puzolanas con características contrarias a esto, o sea, partículas gruesas y de forma desfavorable como los vidrios volcánicos triturados, los cuales requieren mayor consumo de agua para un revenimiento dado, lo cual puede resultar en una segregación y sangrado excesivo.

Algunos aditivos minerales finamente divididos se emplean en cantidades tan pequeñas, que su volumen puede no tomarse en cuenta sin riesgo alguno en el proporcionamiento de la mezcla. Pero cuando se utilizan en grandes cantidades como en el caso de las puzolanas o de los materiales cementantes, se deberá tomar en cuenta su volumen para el diseño de la mezcla. Ya que estos aditivos presentan una finura similar o mayor a la del cemento Portland, deberá considerársele como parte del aglomerante al determinar los porcentajes de agregados finos y gruesos.

Los aditivos minerales finamente divididos, afectan la resistencia a la compresión del concreto, dependiendo de las propiedades del aditivo empleado y de las características de la mezcla en la cual se va a emplear el aditivo. Generalmente mejoran las resistencias de las mezclas pobres y reducen las resistencias de las mezclas ricas. En el caso de emplear puzolanas para reemplazar cemento sobre la base de peso equivalente (de igual a igual),⁽³⁾ se pueden reducir resistencias del concreto a corto y mediano plazo (durante los primeros 3 meses), aunque ésta se recupera posteriormente (por lo que las resistencias de diseño se deberán especificar a una edad mayor a los 28 días). Esto se debe a que las puzolanas reaccionan con la cal que el concreto libera al hidratarse, para formar compuestos resistentes; esto significa que, para que estos compuestos se formen, es necesario primero que el cemento se hidrate y libere cal, por lo que la puzolana aporta resistencia al concreto después de que el cemento ya lo ha hecho.⁽¹⁾ Para contrarrestar el efecto de adquisición de resistencia lenta de las puzolanas, se recomiendan curados más largos y a temperaturas favorables.⁽⁵⁾

Cualquier aditivo puzolánico evita la expansión excesiva que resulta de la acción álcali-sílice, siempre y cuando se proporcione en cantidades suficientes. Sin embargo,

cuando se proporciona en cantidades demasiado pequeñas, los resultados pueden ser contraproducentes, o sea, se incrementa este efecto indeseable.⁽³⁾ Esto es un motivo para aplicar a las puzolanas como aditivos y no como parte del cemento Portland puzolana, ya que como aditivo se puede ajustar la cantidad de puzolana a la que resulte conveniente con las pruebas de laboratorio, y como parte del cemento no (ya viene dosificado). Siempre que se pretenda reducir la reacción álcali-sílice, específicamente por este medio, será necesario verificar la efectividad del aditivo por medio de pruebas de laboratorio.⁽¹⁾

Los aditivos minerales finamente divididos provocan mayores dosis de aditivos inclusores de aire en el concreto para un contenido de aire dado, con respecto a un concreto que no contiene al aditivo mineral finamente dividido.⁽³⁾ Además disminuyen la resistencia al descascaramiento por productos químicos descongelantes. La cantidad requerida de aditivo inductor de aire para obtener un cierto contenido de aire es función de la finura, del contenido de carbono, del contenido de álcalis, del contenido de materia orgánica, de la pérdida por ignición y de la presencia de impurezas en las cenizas volantes. Los incrementos en el contenido de álcalis disminuyen las dosificaciones de agente inductor de aire, mientras que los incrementos en los demás factores mencionados elevan los requisitos de dosificación.⁽⁹⁾ Estas dosis pueden variar de manera considerable entre diferentes fuentes y tipos de aditivos minerales finamente divididos.⁽³⁾ Generalmente todas las puzolanas reducen el contenido de aire en el concreto, especialmente si ésta es ceniza volante.⁽¹²⁾ Para lograr que los concretos que contienen aditivos minerales finamente divididos presenten la misma resistencia ante los ciclos de congelación-deshielo que los concretos fabricados con cemento Portland como único cementante se deberá asegurar que ambos concretos tengan la misma resistencia a la compresión; que ambos concretos tengan un sistema equivalente y adecuado de vacíos de aire; y que ambos concretos hayan sido curados adecuadamente.⁽⁹⁾

Los materiales cementantes y puzolánicos afectan el requisito de agua del concreto y por consiguiente, el contenido de cemento. Además por sus propiedades algunas veces se les considera como parte del material cementante.

Las puzolanas empleadas como aditivos en el concreto, ayudan a mejorar la resistencia a los sulfatos, pero cuando se apliquen específicamente para este fin, deberá verificarse su efecto por medio de pruebas de laboratorio.⁽¹⁾ Cuando se emplean en cementos Portland resistentes a los sulfatos, generalmente no ayudan a incrementar esta resistencia. Además si las puzolanas contienen compuestos de aluminio químicamente activos pueden incluso reducir la resistencia a los sulfatos en el concreto.⁽³⁾

Algunas puzolanas disminuyen el calor de hidratación del orden del 40% del presentado por el cemento, mientras que el humo de sílice puede o no reducir el calor de hidratación. Sin embargo, el calor de hidratación se eleva con la presencia de aditivos super reductores de agua hasta una cantidad mayor de la que se obtendría con el cemento Portland normal.

El uso de cenizas volantes, puzolanas naturales y escorias granuladas de alto horno molidas, generalmente provoca retardos en los tiempos de fraguado del concreto. Esto dependerá del contenido de cemento, del requisito de agua, del tipo de aditivo mineral finamente dividido y de la temperatura del concreto.⁽⁹⁾

4.5. Especificaciones.

La Norma NMX-C-146-1983 establece las especificaciones que debe cumplir la puzolana natural cruda o calcinada y la ceniza volante para emplearse como aditivo mineral finamente dividido en concreto con cemento Portland, clasificándolas de la siguiente manera:

- a) *Clase N.* Puzolanas naturales, crudas o calcinadas, tales como tierras diatomáceas: hortenos opalinos, esquistos, tobas, cenizas volcánicas o pumicitas que pueden no ser procesadas por calcinación y varios materiales tales como algunas arcillas y esquistos que requieran calcinación para impartirles propiedades satisfactorias.
- b) *Clase V.* Cenizas volantes normalmente producidas por la combustión de antracita, lignitos o carbones bituminosos o sub-bituminosos que cumplan con los requisitos aplicables para esta clase.⁽³⁶⁾

Por su parte la Norma ASTM C 618-96 clasifica a las puzolanas natural cruda o calcinada y cenizas volantes en:

- a) *Clase N.* Puzolanas naturales, crudas o calcinadas, que cumplen con los requisitos señalados para esta clase (Tabla 13), tales como tierras diatomáceas; hortenos opalinos y pizarras; tobas y cenizas volcánicas o pumicitas que pueden o no, ser procesadas por calcinación; y varios materiales tales como algunas arcillas y tobas que requieran calcinación para impartirles propiedades satisfactorias.
- b) *Clase F.* Cenizas volantes normalmente producidas por la combustión de antracita o carbones bituminosos que cumplan con los requisitos aplicables para esta clase. Esta clase de ceniza volante tiene propiedades puzolánicas.
- c) *Clase C.* Cenizas volantes normalmente producidas de lignita o carbón subbituminoso que cumplan con los requisitos aplicables para esta clase. Esta clase de ceniza volante, adicionada para obtener propiedades puzolánicas, también tiene algunas propiedades cementantes. Algunas cenizas volantes Clase C contienen cantidades de cal más altas que el 10%.⁽³⁷⁾

4.5.1. Requisitos Químicos.

La Norma NMX-C-146-1983 indica que las cenizas volantes y las puzolanas naturales deberán cumplir con los requisitos químicos de la Tabla 11. Además, en caso de que se requiera, deberán cumplirse los requisitos químicos opcionales definidos en la Tabla 12.⁽³⁶⁾

CONCEPTOS	CLASE DE ADITIVO MINERAL	
	N	V
Sílice (SiO ₂) + Alúmina (Al ₂ O ₃) + Óxido férrico (Fe ₂ O ₃), mín. %.	70.0	60.0
Anhídrido sulfúrico (SO ₃), máx. %.	4.0	5.0
Contenido de humedad, máx. %.	3.0	3.0
Pérdida por ignición, máx. %.	10.0	10.0

Tabla 11. Requisitos químicos.

CONCEPTOS	CLASE DE ADITIVO MINERAL	
	N	V
Magnesia (MgO), máx. %.	5.0	5.0
Alcalis disponibles como óxido de sodio (Na ₂ O), máx. %. ^A	2.60	2.00

Tabla 12. Requisitos químicos opcionales.

^AEs aplicable únicamente, cuando se requiera por el comprador, para aditivos minerales que vayan a emplearse en concreto que contenga agregado reactivo y cemento que contenga una limitación en el contenido de álcalis no mayor de 0.6 % expresados como Na₂O (óxido de sodio).

Por su parte la Norma ASTM C 618-96 establece los siguientes requisitos químicos en la Tabla 13; y en caso que se requiera, los requisitos químicos opcionales definidos en la Tabla 14.⁽³⁷⁾

CONCEPTOS	CLASE DE ADITIVO MINERAL		
	N	F	C
Dióxido de silicio (SiO ₂) + óxido de aluminio (Al ₂ O ₃) + Óxido de fierro (Fe ₂ O ₃), mín. %.	70.0	70.0	50.0
Anhídrido sulfúrico (SO ₃), máx. %.	4.0	5.0	5.0
Contenido de humedad, máx. %.	3.0	3.0	3.0
Pérdida por ignición, máx. %.	10.0	6.0 ^A	6.0

Tabla 13. Requisitos químicos.

^AEl uso de puzolana Clase F contiene arriba del 12% de pérdida por ignición puede ser aprobada ya sea por el uso de registros confiables o por resultados de pruebas de laboratorio, que se encuentren disponibles.

CONCEPTOS	CLASE DE ADITIVO MINERAL		
	N	F	C
Alcalis disponibles como óxido de sodio (Na ₂ O), máx. %. ^A	1.5	1.5	1.5

Tabla 14. Requisitos químicos opcionales.

^AEs aplicable únicamente, cuando se requiera por el comprador, para aditivos minerales que vayan a emplearse en concreto que contenga agregado reactivo y cemento que contengan una limitación en el contenido de álcalis.

En cuanto a los materiales cementantes, la Norma ASTM C 989-95 especifica para las escorias granuladas de alto horno un máximo de 2.5% de azufre (S) y un máximo de 4.0% de trióxido de azufre (SO₃).⁽³⁶⁾

4.5.2. Requisitos Físicos.

La Norma NMX-C-146-1983 indica que las cenizas volantes y las puzolanas naturales deberán cumplir con los requisitos físicos de la Tabla 15. Además, en caso de que se requiera, deberán cumplirse los requisitos físicos opcionales definidos en la Tabla 16.⁽³⁶⁾

CONCEPTOS	CLASE DE ADITIVO MINERAL	
	N	V
Finura. Cantidad retenida cuando se criba por vía húmeda, sobre la malla F 0.045 mm, máx. % ^A	20	20
Índice de actividad puzolánica. ^B Con cal, a 7 días mínimo, kPa.	5000	5000
Con cemento Portland, a 28 días mín. % del control.	75	75
Requerimiento de agua, máx. % del control.	115	110
Sanidad. ^C Expansión o contracción en autoclave, máx. %	0.8	0.8
Requisitos de uniformidad. La masa específica y la finura de muestras individuales no deben variar del promedio establecido por 10 pruebas precedentes, o por todas las pruebas precedentes, si el número es menor que 10, por más de:		
Masa específica, variaciones máx. % del promedio.	5	5
Por ciento retenido en la malla F 0.045 mm, variación máx., unidades de % del promedio.	5	5

Tabla 15. Requisitos físicos.

^ADebe tenerse cuidado de evitar la retención de grumos para materiales extremadamente finos.

^BNi el índice de actividad puzolánica con la cal, ni el índice de actividad puzolánica con cemento Portland deben considerarse como una medida de la resistencia a la compresión del concreto que contenga el aditivo mineral. El índice de actividad puzolánica con cemento Portland se determina por una prueba acelerada, para calcular la contribución que se espera del aditivo mineral, para el

desarrollo de la resistencia del concreto. La masa del aditivo mineral especificada para la prueba, determina el índice de actividad puzolánica con cemento Portland y no se considera ser la proporción recomendada para el concreto que se va a usar en la obra.

^CSi el aditivo mineral constituye más del 20 % del material cementante en el diseño de la mezcla del proyecto, las probetas para la expansión en autoclave deben contener el mismo porcentaje. Una expansión excesiva en el autoclave es muy significativa cuando la relación de agua a aditivo mineral y cemento sea baja, por ejemplo: en mezclas para bloques.

CONCEPTOS	CLASE DE ADITIVO MINERAL	
	N	V
Factor múltiple. Calculado como el producto de la pérdida por ignición y la finura, cantidad retenida cuando se criba por vía húmeda sobre la malla F 0.045 mm, Máx. %	-	255
Aumento de la contracción por secado de las barras de mortero a 28 días, máx %. ^A	0.03	0.03
Requisitos de uniformidad: Cuando se especifica concreto con aire incluido, el agente inclusor de aire requerido para producir un contenido de 18.0 % en volumen de mortero, no debe variar del promedio establecido por las 10 pruebas precedentes o por todas las precedentes si es menor que 10 en más de, %.	20	20
Reactividad con los álcalis del cemento. ^B Reducción de la expansión del mortero a 14 días, mín. %	75	75
Expansión del mortero a 14 días, máx. %	0.020	0.020

Tabla 16. Requisitos físicos opcionales.

^AEsta prueba se debe hacer cuando el comprador lo requiera.

^BEsta limitación no es necesaria requerirla a menos que la ceniza volante o la puzolana se vayan a usar con un agregado que se haya comprobado ser reactivo con los álcalis del cemento. Si no se conoce el cemento que se va a usar en la obra o no se puede conseguir, la prueba de reducción de la expansión del mortero puede hacerse con cualquier cemento rico en álcalis. Cuando el cemento que se va a usar en la obra es conocido y fácil de obtener, la prueba de expansión del mortero debe preferirse a la prueba de reducción de expansión del mortero. La prueba de expansión del mortero debe hacerse con todos los cementos que se vayan a usar en la obra.

Por su parte la Norma ASTM C 618-96 establece los siguientes requisitos físicos en la Tabla 17; y en caso que se requiera, los requisitos físicos opcionales definidos en la Tabla 18.⁽³⁷⁾

CONCEPTOS	CLASE DE ADITIVO MINERAL		
	N	F	C
Finura. Cantidad retenida cuando se criba por vía húmeda, sobre la malla 45 μm (No. 325), máx. % ^A	34	34	34
Indice de actividad puzolánica: ^B Con cemento Portland, a 7 días, mín., % del control.	75 ^D	75 ^D	75 ^D
Con cemento Portland, a 28 días mín., % del control.	75 ^D	75 ^D	75 ^D
Requerimiento de agua, máx. % del control.	115	105	105
Sanidad. ^C Expansión o contracción en autoclave, máx. %	0.8	0.8	0.8
Requisitos de uniformidad. La densidad y la finura de muestras individuales no deben variar del promedio establecido por 10 pruebas precedentes, o por todas las pruebas precedentes, si el número es menor que 10, por más de:			
Masa específica, variación del promedio, máx. %	5	5	5
Por ciento retenido en la malla 45 μm , variación máx., puntos porcentuales del promedio.	5	5	5

Tabla 17. Requisitos físicos.

^ADebe tenerse cuidado de evitar la retención de grumos para materiales extremadamente finos.

^BEl índice de actividad puzolánica con cemento Portland no debe considerarse como una medida de la resistencia a la compresión del concreto que contenga el aditivo mineral. El índice de actividad puzolánica con cemento Portland se determina por una prueba acelerada, para calcular la contribución que se espera del aditivo mineral, para el desarrollo de la resistencia del concreto. La masa del aditivo mineral especificada para la prueba, determina el índice de actividad puzolánica con cemento Portland y no se considera ser la proporción recomendada para el concreto que se va a usar en la obra. La cantidad óptima de aditivo mineral para algún proyecto específico es determinado por las propiedades requeridas del concreto y otros constituyentes del mismo, y deberá ser determinada por pruebas. El índice de actividad puzolánica con cemento Portland es una medida de la reactividad con un cemento dado y puede variar dependiendo tanto de la fuente del aditivo mineral como del cemento.

^CSi el aditivo mineral constituye más del 20 % de la masa del material cementante en el diseño de la mezcla del proyecto, las probetas para la expansión en autoclave deben contener el mismo porcentaje. Una expansión excesiva en el autoclave es muy significativa cuando la relación de agua a aditivo mineral y cemento sea baja, por ejemplo: en mezclas para bloques o concretos lanzados.

^DEl índice de actividad puzolánica encontrado a 7 o 28 días indicará el cumplimiento de esta especificación

CONCEPTOS	CLASE DE ADITIVO MINERAL		
	N	F	C
<p>Factor múltiple.</p> <p>Calculado como el producto de la pérdida por ignición y finura, cantidad retenida cuando se criba por vía húmeda sobre la malla 45 μm (No. 325), máx. % ^A</p> <p>Aumento de la contracción por secado de las barras de mortero a 28 días, máx. diferencia en por ciento sobre la de control. ^B</p>	-	255	-
<p>Requisitos de uniformidad:</p> <p>Cuando se especifica concreto con aire incluido, la cantidad de agente inclusor de aire requerida para producir un contenido de 18.0 % en volumen de mortero, no debe variar del promedio establecido por las 10 pruebas precedentes o por todas las pruebas precedentes si es menor que 10, en más de, %.</p>	0.03	0.03	0.03
<p>Efectividad en el control de la reacción álcali-silice. ^C</p> <p>Expansión de la mezcla de prueba como porcentaje de cemento de control de bajo álcali, a 14 días, máx %.</p>	20	20	20
	100	100	100

Tabla 18. Requisitos físicos opcionales.

^AAplicable solamente para aditivo mineral Clase F de los límites por pérdida por ignición predominantes para la Clase C.

^BDeterminación del cumplimiento o no de los requisitos del aumento de la contracción por secado, será hecho solamente cuando lo requiera el comprador.

^CLos aditivos minerales encontrados para este requisito, son considerados como efectivos en la evaluación tanto para el control de la reacción álcali-agregado como en el uso de cemento de control de bajo contenido de álcali. Sin embargo, el aditivo mineral deberá ser considerado efectivo solamente cuando sea usado en porcentajes de la masa del material cementante total igual o mayor que el usado en las pruebas y cuando el contenido de álcalis del cemento empleado con el aditivo mineral no exceda el usado en las pruebas en más de 0.05%. Ver el apéndice XI del método de prueba ASTM C 311.

En el caso de escorias granuladas de alto horno, la Norma ASTM C 989-95 especifica un contenido máximo de aire de 12% en morteros; una cantidad máxima de 20% de finos retenidos, cribados por vía húmeda en la malla 45 μm (No. 325); y los requisitos físicos de la Tabla 19. ⁽³⁸⁾

Índice de actividad de escoria. (mínimo en por ciento)	Promedio de las últimas cinco muestras consecutivas	Alguna muestra individual
Índice a los 7 días:		
Grado 80	-	-
Grado 100	75	75
Grado 120	95	95
Índice a los 28 días:		
Grado 80	75	75
Grado 100	95	95
Grado 120	115	115

Tabla 19. Requisitos físicos de escorias granuladas de alto horno.

CAPÍTULO V.

Aditivos Misceláneos.

5. Aditivos Misceláneos.

En aditivos misceláneos se incluyen una gran variedad de aditivos de uso poco común, útiles en casos muy especiales, o de los que sus efectos no han sido determinados correctamente y en consecuencia no están debidamente reglamentados.⁽¹⁾

5.1. Aditivos químicos para reducir la expansión álcali-agregado.

Este tipo de aditivos se emplean para reducir a magnitudes no dañinas, la expansión generada por la reacción álcali-agregado en el concreto endurecido.⁽¹⁾

Se utilizan como materiales de estos aditivos, las sales solubles de bario y de litio, así como las sales proteínicas contenidas en algunos aditivos inclusores de aire, reductores de agua y retardantes de fraguado.

Antes del empleo de estos aditivos, debe tenerse presente que algunas sustancias son muy costosas, por ejemplo las sales de litio.⁽³⁾ Además, de éstas sales y de las sales de bario, de las que se han obtenido reducciones sobresalientes,⁽⁹⁾ no se tiene información de los efectos secundarios que provocan, debido a su falta de aplicación.

Cuando se apliquen sustancias para reducir la expansión álcali-agregado, pero que pertenezcan a otro grupo principal de aditivos, como en el caso de aditivos inclusores de aire o reductores de agua y retardantes, deberán considerarse los efectos secundarios que correspondan al tipo de aditivo aplicado.

Por todo lo anterior, debe tenerse presente que existen otros métodos más prácticos que también permiten la protección del concreto contra la expansión álcali-agregado, como:

- a) Evitar el empleo de agregados que sean reactivos con los álcalis.⁽⁹⁾
- b) Empleo de cemento Portland con bajo contenido de álcalis y/o limitar la cantidad de álcalis por m³ de concreto.⁽¹⁾
- c) Empleo de una puzolana de calidad adecuada (ceniza volante, humo de sílice) o escoria de alto horno, ya sea como parte de cemento Portland-puzolana, o como aditivo mineral finamente dividido.⁽⁹⁾

5.2. Aditivos estabilizadores de volumen.

O también llamados de expansión regulada, son los materiales que al adicionarse a una mezcla de mortero producen una expansión controlada de lenta evolución, por reacciones químicas durante la hidratación del cemento o por oxidación de fierro granulado, esto para rellenos de contracción compensada con o sin confinamiento.

Estos aditivos, a diferencia de los aditivos expansores por formación gas, generan una expansión más moderada y regulable, que resulta útil donde se necesitan efectos precisos, como por ejemplo, cuando se requiere compensar la contracción por secado del concreto.

Cabe señalar que, para producir una contracción compensada en el concreto, existen otras opciones semejantes al empleo de estos aditivos, tal es el caso del uso de cementos expansivos, pero tienen el inconveniente de no producirse en México, aunque su uso sea frecuente en los Estados Unidos; también se pueden utilizar morteros sin contracción predosificados en seco, pero no se les puede catalogar como aditivos, ya que están compuestos por cemento, arena y al aditivo mismo.⁽¹⁾

Los principales materiales de que se conforman los morteros de expansión regulada se agrupan en:⁽¹⁾

- a) *Fierro granulado o finamente dividido combinado con agentes oxidantes* (morteros metálicos). Consisten en polvos o limaduras de fierro, al que se adicionan sustancias que aceleran su oxidación con lo que se produce un incremento moderado de volumen, para compensar la contracción que es de esperar como resultado del fraguado, la pérdida de agua por evaporación y otros factores afines. En la actualidad sólo este tipo de materiales se hallan disponibles como aditivos propiamente dichos.
- b) *Diversos compuestos de carácter sulfo-calcio-aluminoso* (morteros no metálicos), que también se utilizan en la fabricación de los cementos expansivos.

Los morteros sin contracción o de expansión regulada generalmente están limitados a proyectos pequeños, en donde se requiere alcanzar diversos grados de expansión.⁽³⁾ Se utilizan principalmente en rellenos de precisión para asiento de maquinaria y equipo

diversos; en rellenos de empaque para pernos de anclaje; para el junteo y sujeción de elementos de concreto precolado; en reparaciones menores de estructuras de concreto.

No deben sobredosificarse, ni exponerse continuamente a la humedad, así como dejar la mezcla en condiciones de expansión libre, dado que esto genera expansiones mayores a las requeridas.⁽¹⁾

En el colado sin confinamiento del concreto, la expansión deberá ocurrir después de que el concreto obtenga la resistencia necesaria para soportar las fuerzas de tensión y en colados con confinamiento, el concreto deberá tener la resistencia suficiente para resistir los esfuerzos a compresión. De no cumplirse estas dos condiciones, el concreto sufrirá daños, pudiendo llegar a su desintegración.⁽³⁾

Especificaciones.

A continuación se proporcionan las especificaciones que deben cumplir los materiales propuestos para emplearse como aditivos estabilizadores de volumen al agregarse a mezclas de concreto o mortero, definidas en la Norma NMX-C-117⁽³⁹⁾ vigente. Estas especificaciones deben entenderse con relación al mortero de referencia.

Mortero de referencia es aquel que se toma como punto de comparación, elaborado sin el aditivo estabilizador, y mortero de prueba aquel que sí lo contiene, ambos elaborados de acuerdo con los requisitos señalados en la Norma NMX-C-90 vigente.

A) Físicas.

a) Requisitos del mortero de prueba.

Los cambios volumétricos del mortero de prueba, medidos a los 3, 7 y 28 días deben ser los siguientes:

- i) Contracción máxima = 0.0%
- ii) Expansión máxima = 0.4%

b) Requisitos del mortero de prueba con respecto al mortero de referencia.

i) Tiempo de fraguado:

Inicial = No más de 1 h antes y no más de 1 h después.

Final = No más de 2 h después.

ii) Resistencia a la compresión, mínima en por ciento.

3 días = 100

7 días = 110

28 días = 110

B) Químicas.

El agente oxidante que contenga al aditivo, no debe reaccionar desfavorablemente con la mezcla de mortero o de concreto, ni ser corrosivo con el acero de refuerzo, ni con los aceros con los que está en contacto.

5.3. Aditivos expansores por formación de gas.

Son los materiales que al adicionarse al concreto reaccionan con el cemento para generar gas, produciendo un aumento en el volumen de la mezcla antes del fraguado.

Entre los materiales empleados como aditivo expansor por formación de gas se encuentran el aluminio en polvo finamente dividido (que libera hidrógeno), el peróxido de hidrógeno (el cual libera oxígeno) y ciertas formas de carbón activado (que liberan aire absorbido);⁽³⁾ También se han utilizado jabón de resina y goma vegetal o animal, saponina y proteínas hidrolizadas.⁽⁹⁾

De los materiales anteriores, el aluminio en polvo es el más empleado. Éste reacciona con el hidróxido de calcio (producto del fraguado del cemento), generando hidrógeno distribuido en forma de diminutas burbujas, las cuales tienden a subir a través de la masa de concreto fresco (debido a que el hidrógeno es un gas muy ligero), produciendo una expansión con una estructura alveolada.⁽¹⁾

El efecto expansor del aluminio en polvo depende de diversos factores. Entre los más importantes se encuentran:

- a) El tipo de cemento.
- b) La finura y la forma de la partícula de aluminio.
- c) La relación agua-cemento (A/C).
- d) La temperatura ambiental (se requiere doble dosis de aluminio a 4°C que a 21°C).⁽³⁾
- e) La presión atmosférica del sitio.⁽¹⁾

Debido a esto, se recomienda realizar las pruebas correspondientes para verificar que la dosificación empleada produzca el efecto buscado.

Estos aditivos se añaden al concreto con la finalidad de que éste conserve más estrechamente el volumen en que fue colado,⁽³⁾ minimizando los efectos de la contracción por secado. Se emplean para producir concreto celular y para rellenos en condiciones de confinamiento, por ejemplo para inyección en roca o reparaciones hechas con cimbra de confinamiento.

En climas fríos puede ser necesario acelerar la velocidad de generación de gas mediante la adición de materiales alcalinos como el hidróxido de sodio, la cal hidratada o el fosfato trisódico.

Dadas la ligereza del polvo de aluminio y las pequeñas cantidades en que se suministra (se dosifica entre 0.006 y 0.020% del peso del cemento), deberá tenerse cuidado de no caer en sobredosificaciones, además de proporcionar ciertas condiciones de confinamiento al concreto, ya que de lo contrario, estos aditivos provocan expansión excesiva y pérdida radical de resistencia. Debido a esto, sólo se recomienda el uso de estos aditivos en trabajos de empaque o de relleno que no sean de precisión, o bien en trabajos que sólo permitan una expansión limitada de la mezcla de concreto en el sitio de colocación. Deberá proporcionarse una adecuada homogeneización del aditivo en la mezcla de concreto, para lo cual se recomienda mezclarlo previamente en seco con el cemento o arena, o bien mezclar al aluminio en polvo con un aditivo dispersante o reductor de agua.

Los aditivos expansores por formación de gas, presentan el inconveniente de que los efectos expansivos que provocan, no son fáciles de regular, además de que los concretos en que son aplicados son susceptibles de contraerse por secado.⁽¹⁾

Especificaciones.

A continuación se proporcionan las especificaciones que deben cumplir los materiales propuestos para emplearse como aditivos expansores al agregarse a mezclas de concreto o mortero, definidas en la Norma NMX-C-140⁽⁴⁰⁾ vigente. Estas especificaciones deben entenderse con relación al mortero de referencia.

Debe entenderse como mortero de referencia aquel que se toma como punto de comparación, elaborado sin el aditivo expansor, y mortero de prueba aquel que sí lo contiene, ambos elaborados de acuerdo con los requisitos señalados en la Norma NMX-C-90 vigente.

A) Físicas.

a) Tiempo de fraguado (véase nota 2).

Inicial = No más de 1 h antes y no más de 2 h después.

Final = No más de 4 h después.

b) Resistencia a la compresión, mínima en por ciento (véase nota 2).

7 días = 80

28 días = 80

c) Contracción por secado, máxima en por ciento (véase notas 1 y 2).

Cuando esta característica sea decisiva en la calificación de los efectos de un aditivo expansor en una obra determinada, la contracción por secado en el mortero de prueba que contiene al aditivo, debe ser igual o menor, que la contracción experimentada en las mismas condiciones por el mortero de referencia.

Nota 1. Se considera como contracción por secado de los especímenes las diferencias entre las alturas medidas a las 24 h de edad y las mismas mediciones efectuadas a los 28 días de edad.

Nota 2. En el mortero de prueba, el aditivo debe dosificarse en una proporción tal, que produzca una expansión por lo menos igual a la necesaria para compensar la contracción por secado de dicho mortero, y que no exceda esta expansión de 1% a las 24 h de edad, de acuerdo con los lineamientos establecidos en la Norma NMX-C-90 vigente.

d) Expansión uniforme y controlable.

La expansión producida por los aditivos debe ser uniforme y controlable en el mortero de prueba, antes del fraguado final, la expansión individual a las 24 h de edad en cada uno de los especímenes de prueba, no debe diferir más del 10% del valor de la expansión promedio total de los especímenes probados.

B) Químicas.

El gas que genere el aditivo expansor no debe reaccionar desfavorablemente, ni debe ser corrosivo con la mezcla de lechada, mortero, concreto o con el acero de refuerzo.

5.4. Aditivos reductores de permeabilidad.

Ningún concreto es impermeable, pero se le considera lo suficiente, cuando se elabora con baja relación A/C , es homogéneo, compacto y no presenta fisuras durante su fraguado.

Debido a la inconsistencia de resultados en las pruebas de permeabilidad y por la falta de normatividad, no existe consenso acerca de la efectividad de los diversos materiales empleados como aditivos reductores de permeabilidad del concreto.

Para lograr la reducción de permeabilidad del concreto, generalmente se utilizan aditivos reductores de agua para disminuir la relación A/C , o bien se usa microsílíce u otra puzolana, porque aumenta la hidratación del concreto y/o da lugar a la formación de material cementante adicional que reduce la porosidad de la pasta de cemento hidratada. En el caso de utilizar una puzolana y de que ésta incremente la demanda de agua, deberá aplicarse conjuntamente con un aditivo reductor de agua, porque de no ser así, el efecto puede ser contraproducente

Los efectos secundarios que pueden esperarse por el uso de estos aditivos, corresponderán al grupo principal al cual corresponde el aditivo empleado.

De nada servirá la aplicación de un aditivo reductor de permeabilidad en un concreto que termina por agrietarse. Por lo que se deberá tomar como medida, el prevenir los agrietamientos.⁽¹⁾

5.5. Aditivos Impermeabilizantes.

La Norma NMX-C-199 define a los aditivos impermeabilizantes como aquellos que reducen la tasa de penetración del agua dentro del concreto seco y/o que reducen la transmisión de ésta, a través de un concreto no saturado, del lado mojado al lado seco.⁽⁴¹⁾

Una de las mejores formas de reducir la permeabilidad en el concreto es aumentando el contenido de cemento y el periodo de curado húmedo, además de reducir la relación A/C a menos de 0.5. Por lo que la mayoría de los aditivos impermeabilizantes reducen la relación A/C con lo que logran reducir la velocidad a la cual se transmite agua a presión a través del concreto.

Entre los materiales que componen estos aditivos se encuentran el humo de sílice, cenizas volantes, escorias sólidas, puzolanas naturales, reductores de agua y el látex.⁽⁹⁾

5.6. Aditivos repelentes de humedad.

Son los aditivos que se utilizan para retrasar la absorción de agua en contacto con una superficie de concreto endurecido (no expuesta a presión hidrostática) o sea, solamente disminuye la velocidad de penetración de agua por absorción capilar.

Antes de tomar la decisión del empleo del aditivo, debe tenerse en cuenta que existen otros métodos empleados para lograr el mismo fin, entre los cuales se tienen:

- a) La aplicación de un recubrimiento en las superficies expuestas. Se coloca una barrera de protección en la superficie del concreto endurecido. Existen las opciones de ser resistente al agua con presión hidrostática (impermeabilizaciones) o las barreras resistentes a la humedad. La última opción es la más económica debido a que tienen poco espesor y los requisitos de preparación son mínimos. Entre los productos empleados se encuentran las pinturas a base de cemento Portland, látex, hule clorado, alquitrán de hulla, epóxido, poliuretano, etc.
- b) El uso de un cemento especialmente tratado, en la mezcla de concreto fresco.
- c) El empleo de películas preformadas, tales como las hojas de polietileno colocadas bajo losas en contacto con el suelo.

Entre los materiales empleados como aditivos repelentes a la humedad (y que no son impermeabilizantes integrales), se encuentran:

- a) *Jabones*. Comprenden sales de ácidos grasos, usualmente estearato u oleato de calcio o de amonio. El contenido de jabón puede llegar hasta un 20% y el resto es

cloruro de calcio o cal. El jabón no se debe agregar en más del 0.2% del peso del cemento. El jabón provoca inclusión de aire durante el mezclado.

- b) *Estearato de butilo*. Éste se comporta mejor que el jabón para repeler al agua. No provoca la inclusión de aire y no tiene efectos secundarios sobre la resistencia. Se añade en forma de emulsión en dosificaciones de 1% del peso del cemento.
- c) *Ciertos productos del petróleo*. Por ejemplo aceites minerales y las emulsiones de asfalto. El aceite mineral pesado es efectivo para hacer al concreto repelente al agua y para reducir su permeabilidad. Debe ser un producto fluido del petróleo y tener una viscosidad de SAE 60 (sin aceites grasos ni vegetales). Cuando se dosifica al 5% del peso del cemento, es efectivo bajo presión, además de que la resistencia se ve afectada sólo ligeramente.
- d) *Materiales diversos*. Estos materiales afectan a la resistencia del concreto y además no son verdaderamente efectivos. Entre estos se encuentran el sulfato de bario; silicatos de calcio y de magnesio; sílice y naftaleno finamente divididos; sílice coloidal y fluosilicatos; cal y jalea de petróleo; materiales celulósicos y cera; sílice y aluminio; alquitrán rebajado con benzeno; silicato de sodio.

Algunos productos incluyen aire y reducen la resistencia. Además no siempre son efectivos, es decir, no producen el efecto para el cual fueron empleados, ya que no corrigen los defectos de construcción, agrietamientos o el uso de un concreto de propiedades pobres, que son las causas más comunes del paso del agua a través del concreto. Por lo tanto, siempre que un concreto se fabrique con una mezcla bien diseñada, se coloque, compacte y cure correctamente, con una supervisión eficientemente, se obtendrá un concreto impermeable.⁽¹⁾

5.7. Aditivos inhibidores de corrosión del acero de refuerzo.

El concreto proporciona protección al acero de refuerzo contra la corrosión debido a su naturaleza altamente alcalina. El ambiente de elevado pH (normalmente mayor de 12.5) ocasiona que se forme una película protectora de óxido no corrosiva y pasiva en el acero. Sin embargo, la carbonatación o la presencia de iones cloruro provenientes de productos descongelantes o del agua de mar puede destruir o penetrar la película. Una vez que esto ha ocurrido, se forma una celda eléctrica a lo largo del acero o entre

las barras de acero y comienza el proceso electroquímico de la corrosión. Algunas áreas de acero a lo largo de la barra se convierten en el ánodo de descarga de corriente de la celda eléctrica y allí se va en solución el hierro. Las áreas de acero que reciben la corriente son los cátodos donde se forman los iones hidróxido. El hierro junto con los iones hidróxido forman hidróxido de hierro (FeOH), el cual posteriormente se oxida para formar herrumbre u óxido de hierro. La formación de herrumbre es un proceso expansivo (el herrumbre se expande hasta 4 veces su volumen original), lo que induce esfuerzos internos y el eventual descascaramiento del concreto que recubre al acero de refuerzo. También el área transversal del acero puede quedar reducida de manera importante. Una vez que ha comenzado, la velocidad de corrosión del acero se ve afectada por la resistividad eléctrica del concreto, el contenido de humedad y la velocidad a la que emigra el oxígeno a través del concreto para alcanzar al acero. Los iones cloruro también pueden penetrar la película pasiva en el refuerzo al combinarse con los iones de hierro para formar un complejo cloruro de hierro soluble, que conduce al hierro dentro del concreto para quedar oxidado posteriormente y generar herrumbre.⁽⁹⁾

Para evitar lo anterior se recomienda lo siguiente:

- a) Densificar las mezclas de concreto.
- b) Cubrir al acero de refuerzo con algún material que impida su contacto con cloruros y/o humedad.
- c) Cerrar los poros o grietas de la parte superficial del concreto.

Los aditivos anticorrosivos se emplean para minimizar el efecto de intemperismo sobre las estructuras de concreto reforzado, inhibiendo el ingreso de cloruros y de la humedad, además de formar una delgada capa protectora en el acero de refuerzo.⁽³⁵⁾

Lo anterior se logra por la reducción de la permeabilidad del concreto, mediante lo siguiente:⁽¹⁾

- a) Al disminuir la relación A/C con el uso de un super reductor de agua.
- b) Disminución de la porosidad del concreto con el uso de microsilíce, teniendo en cuenta que por su finura, se incrementa la demanda de agua y deberá utilizarse un aditivo super reductor de agua para contrarrestar este efecto.
- c) Diversas sustancias químicas empleadas como inhibidores de corrosión.⁽⁴¹⁾

Un material que se ha empleado para inhibir la corrosión del acero de refuerzo es el benzoato de sodio, el cual no se puede considerar propiamente como aditivo, ya que se aplica en forma de lechada para pintar al acero de refuerzo.

Entre los materiales estudiados para aplicarse como aditivos inhibidores de la corrosión se han estudiado a los cromatos, fosfatos, hipofosfatos, álkalis, nitritos y fluoruros. Algunos de estos grupos de químicos que se consideran efectivos, producen efectos secundarios sobre propiedades físicas del concreto, tal como una reducción significativa de la resistencia a la compresión. Recientemente el nitrito de calcio se ha reportado como un efectivo inhibidor de la corrosión, pero aún se sigue estudiando.

Se han empleado aditivos impermeabilizantes del concreto para inhibir la corrosión, específicamente silicones, pero se han encontrado inefectivos para este fin.⁽⁴²⁾

5.8. Aditivos floculantes.

Se utilizan para alterar algunas propiedades del material recién mezclado. Se han utilizado polielectrólitos sintéticos como aditivos floculantes. Estos materiales reducen la capacidad de flujo del sangrado e incrementan la cohesión, lo cual provoca el incremento de la resistencia del concreto fresco.⁽⁴¹⁾

5.9. Aditivos adhesivos integrales.

Los aditivos adhesivos integrales se utilizan con el fin de aumentar la adherencia entre el concreto viejo y el que se va a colar. Aunque existen prácticas bien definidas para lograr esto sin el empleo del aditivo, hay ocasiones donde las características de la reparación y las condiciones de exposición y servicio son adversas a dicha adhesión. En estos casos, es necesario proveer de medios adicionales para incrementar la adherencia entre concretos.⁽¹⁾

Además del empleo de un aditivo adhesivo integral, existe otro procedimiento, el cual consiste en aplicar sobre la superficie del concreto endurecido, un adhesivo de contacto inmediatamente antes de que se coloque el concreto nuevo. En este método, que corresponde a los agentes para unir (ya que los aditivos son ingredientes del concreto), se aplican resinas epóxicas que reaccionan en presencia de agua y

productos a base de látex de los cuales existen dos tipos, los que se aplican en condiciones de trabajo seco y los que se aplican para condiciones de trabajo de humedad. Existen buenas experiencias de aplicar como adhesivo de contacto, un mortero no metálico sin contracción, de consistencia plástica, aplicado con brocha sobre la superficie del concreto endurecido previamente preparada (recortada, escarificada y acondicionada).⁽¹⁾ Los agentes para unir se utilizan comúnmente en trabajos de reparación y de restauración.⁽⁹⁾

Los aditivos adherentes se componen esencialmente de emulsiones de agua de varios materiales orgánicos que se mezclan con el cemento (hule sintético, cloruro de polivinilo, acetato de polivinilo, ciertos acrílicos, copolímeros de butadieno estireno y otros polímeros).⁽⁹⁾

Los fabricantes recomiendan dosificaciones entre 5 y 20% por peso de cemento,⁽⁹⁾ lo que produce una consistencia pegajosa al concreto fresco. Esto se debe a inclusión de aire y a la naturaleza inherente del aditivo.⁽³⁾

Se utilizan en presas de concreto, tanto para la construcción como para el mantenimiento, al reparar los defectos constructivos o deterioros de las estructuras de concreto.⁽¹⁾

Se puede tener el efecto secundario de quedar aire atrapado en la mezcla y pérdida de resistencia a la compresión al endurecer,⁽¹⁾ la cual dependerá del material empleado; sin embargo el incremento en la adherencia, en la resistencia a la flexión y en la resistencia al ingreso de iones cloruro,⁽⁹⁾ compensa con creces la posible desventaja de la reducción de resistencia a la compresión.⁽³⁾

Además algunos productos pierden adherencia⁽¹⁾ y se ablandan en presencia de agua. En estos casos se emplearán sólo para trabajos en condiciones secas.⁽³⁾ Los tipos no reemulsionables son resistentes al agua, están mejor adaptados para su aplicación en exteriores y se aplican en lugares donde existe humedad. El resultado final obtenido con un aditivo adhesivo integral dependerá en gran medida de la superficie en que se aplique. La superficie del concreto viejo, deberá estar seca, limpia, firme y libre de materiales extraños como pintura, grasa y polvo.⁽⁹⁾

5.10. Aditivos insecticidas, germicidas y fungicidas.

Los aditivos insecticidas, germicidas y fungicidas son aquellos que se utilizan para impartir dichas propiedades en el concreto, o sea, inhibir y controlar el desarrollo de insectos, bacterias y hongos en pisos y muros de concreto, lo que no siempre es totalmente efectivo.⁽³⁾

Entre los materiales que han resultado más efectivos se encuentran:⁽⁹⁾

- a) Fenoles polihalogenados.
- b) Emulsiones de dieldrin.
- c) Compuestos de cobre.

Se emplean en porcentajes que varían entre el 0.1 y 10% por peso de cemento, según la concentración y composición del producto. Porcentajes mayores al 3% pueden tener efecto adverso sobre la resistencia del concreto. La efectividad de estos materiales es de naturaleza temporal, y depende del tipo de desgaste y de los procedimientos de limpieza practicados.

5.11. Aditivos auxiliares para el bombeo.

Son aquellos aditivos cuya única función es mejorar la bombeabilidad del concreto. Normalmente no se les emplea en concreto que no vaya a bombearse o en concreto fácilmente bombeable.⁽³⁾ Los aditivos auxiliares para el bombeo no pueden corregir todas las mezclas de concreto no bombeables, por lo que su aplicación se destina a mejorar la bombeabilidad de concretos marginalmente bombeables.⁽⁹⁾

Estos aditivos trabajan bajo el principio de incrementar la cohesividad y la viscosidad de las mezclas de concreto para facilitar su bombeo.⁽¹⁾ Esto con la finalidad de inhibir el sangrado de agua de la pasta de cemento. El objetivo es evitar la desecación de la pasta bajo la presión de bombeo, la cual tiene dos efectos adversos acumulativos: reduce la movilidad del concreto y agota el líquido lubricante.

Los materiales que se emplean como aditivos auxiliares para el bombeo son:

- a) Polímeros orgánicos, naturales y sintéticos, solubles en agua, los cuales incrementan la viscosidad del agua (derivados de celulosa, por ejemplo metil, etil,

hidroxietil y otras gomas de celulosa; óxidos de polietileno; polímeros acrílicos; poliacrilamidas; polímeros de carboxivinilo; gomas naturales solubles en agua; almidones; alcohol polivinílico).

- b) Floculantes orgánicos (copolímeros de estireno con carboxilo; otros polielectrólitos sintéticos; gomas naturales solubles en agua).
- c) Emulsiones de diversos materiales orgánicos (parafina, alquitrán, asfalto, polímeros acrílicos y otros polímeros).
- d) Materiales inorgánicos de gran área superficial (bentonitas y bentonitas orgánicas modificadas; sílices pirogénicos; asbesto molido y asbesto molido recubierto de sílice; fibras cortas de asbesto y otros materiales fibrosos).
- e) Materiales inorgánicos finamente divididos que complementan el cemento en la pasta de cemento (ceniza volante, diversos materiales puzolánicos, crudos o calcinados; cal hidratada; carbonato de calcio, naturales o precipitados, diversos polvos de rocas).

Los materiales anteriores pueden cambiar drásticamente el efecto que producen, dependiendo de su dosificación, del tipo de cemento, de la temperatura y del tiempo de mezclado.

Además de los materiales antes mencionados, algunas sustancias contenidas en otros aditivos como los inclusores de aire, reductores de agua o retardantes del fraguado, ayudan al bombeo del concreto, como por ejemplo derivados del ácido carboxílico hidroxilado, lignosulfonatos y sus derivados, sulfonados de naftaleno condensado con formaldehído y polímeros de melamina ⁽³⁾

Debe evitarse en lo posible el uso de esta clase de aditivos, dado que tienen una gran cantidad de efectos secundarios, los cuales dependen de la naturaleza de la sustancia adicionada al concreto.⁽¹⁾ Por ejemplo, algunos incrementan la demanda de agua, reducen la resistencia a la compresión, retardan el tiempo de fraguado o introducen aire al concreto. Estos efectos secundarios pueden corregirse ajustando las proporciones de la mezcla o con la adición de algún otro aditivo que compense los efectos no deseados.⁽⁹⁾

5.12. Aditivos para mezclas de inyección.

Se utilizan en trabajos de inyección mediante el uso de técnicas especializadas donde se requiere que las mezclas sean fluidas, que no presenten asentamiento y contracción; y debido a la gran variedad de condiciones en que se realizan estos trabajos, es necesario el empleo de diversos aditivos para adaptar la mezcla a las condiciones requeridas de trabajo.

Por ejemplo, en trabajos de inyección en roca, se emplean conjuntamente un aditivo reductor de agua y un aditivo expansor por formación de gas, para propiciar el efecto de relleno con cierta presión; en concretos para la cementación de pozos petroleros y geotérmicos, se emplea un aditivo retardante que permita resistir las altas temperaturas y presiones; en concretos muy fluidos se emplea bentonita, puzolana u otra sustancia para mantener en suspensión estable los componentes sólidos antes, durante y después de la colocación.⁽¹⁾ Pero también se emplean materiales como geles, arcillas, almidón pregelatinizado y metil celulosa para evitar la rápida pérdida de agua en la lechada. Las arcillas de bentonita pueden usarse también para reducir la densidad de la lechada. Materiales como barita y limaduras de hierro se utilizan para incrementar la densidad. Las gomas naturales pueden usarse como espesadores, para evitar el asentamiento de los constituyentes pesados de la lechada.⁽³⁾

Los aditivos empleados para mezclas de inyección, que se clasifiquen en otros grupos, como los aditivos retardantes o las puzolanas, se deberán atender las recomendaciones y cuidados que se dan en sus respectivos grupos.⁽¹⁾

5.13. Aditivos colorantes.

Los aditivos colorantes se emplean en el concreto para proporcionarle color, ya sea por razones estéticas o de seguridad. Actualmente los proyectistas consideran al concreto más atractivo proporcionando acabados con color integral. El concreto con color rojo se emplea alrededor de las líneas subterráneas eléctricas o de gas para advertir la presencia de éstas.⁽⁹⁾

El aditivo colorante para acabados de concreto con color integral, deberá producir un color permanente, uniforme y libre de rayas de principio a fin.⁽⁴³⁾

Están compuestos por pigmentos sintéticos y naturales.⁽¹⁾ Los pigmentos sintéticos proporcionan estabilidad y resistencia a la decoloración, aumento de la resistencia del concreto y mejoramiento de las características de colocación y acabado. Por otro lado, los pigmentos naturales, no mejoran las características del concreto, ya que elevan la demanda de agua provocando disminución en la resistencia a la compresión, además no se humedecen de manera uniforme, provocando que no se dispersen de manera adecuada durante el mezclado.⁽⁴¹⁾

Los pigmentos naturales generalmente no producen colores tan intensos como los pigmentos sintéticos, además de no ser tan puros y finamente molidos. Algunos pigmentos que se utilizan para colorear al concreto son menos efectivos que otros. Además es difícil lograr colores intensos azules o verdes.⁽³⁾

El negro de humo sin modificar reduce sustancialmente el contenido de aire. La mayoría de negros de humo que se utilizan como colorantes para concreto contiene un aditivo para compensar su efecto en el contenido de aire.⁽⁹⁾

Los pigmentos principales de que están formados estos aditivos se presentan en la Tabla 20.

Tonos de color.	Pigmento.
Grises hasta llegar al negro	Óxido negro de hierro, negro mineral, negro carbón.
Azul	Azul ultramarino, azul ftalocianino.
Rojo brillante a rojo oscuro	Óxido rojo de hierro.
Café	Óxido café de hierro, sombra cruda o quemada.
Marfil, crema o ante	Óxido amarillo de hierro.
Verde	Óxido de cromo, verde ftalocianino.
Blanco	Bióxido de titanio.

Tabla 20. Pigmentos empleados como aditivos colorantes.

Generalmente se dosifican en cantidades menores al 10% del peso de cemento.⁽¹³⁾ Aunque se recomienda no exceder el 6%, porque en cantidades menores a ésta, no producen efectos secundarios significativos sobre el concreto y en cantidades

mayores, pueden incrementar la demanda de agua, con lo cual se podría disminuir la resistencia del concreto.⁽³⁾

Además del tipo de agente colorante y de la dosificación en que se suministran, existen otros factores que afectan el color del concreto, entre los cuales se encuentran:⁽⁴³⁾

- a) La variación de color en el cemento o en los agregados (especialmente en los finos).
- b) Las variaciones en la relación A/C.
- c) Las técnicas para la colocación, consolidación, acabado y textura del concreto.
- d) Los métodos de curado.
- e) Los tiempos de colocación, acabado y curado.

Los aditivos colorantes deben cumplir con los siguientes requisitos generales:⁽³⁾

- a) Firmeza de color a la luz solar.
- b) Estabilidad química en presencia de alcalinidad producida por la reacción del cemento.
- c) Estabilidad del color cuando se le expone al autoclave.
- d) Ausencia de efectos adversos en el tiempo de fraguado o el desarrollo de resistencia del concreto.

Para hacer posible el cumplimiento de los requisitos anteriores se recomienda lo siguiente:

- a) Que el aditivo colorante empleado, sea de alta calidad.
- b) Que haya cooperación por parte del proyectista, contratista, proveedor del aditivo y en su caso, del abastecedor de concreto premezclado.
- c) El empleo de buenas técnicas para el concreto.
- d) La vigilancia estricta del control de calidad.

La Norma ASTM C 979-82⁽⁴⁴⁾ define las siguientes especificaciones para pigmentos empleados para dar color integral al concreto:

- a) Absorbancia de agua. El pigmento deberá ser absorbente de agua, de acuerdo al inciso 1 del anexo 11.

- b) Resistencia a los álcalis. El pigmento tratado con hidróxido de sodio no deberá mostrar cambios significativos de color cuando se pruebe de acuerdo al inciso 2 del anexo 11.
- c) Total de sulfatos. Calculados como trióxido de azufre (SO_3), no deberán exceder del 5% del peso de la muestra del pigmento original cuando se pruebe de acuerdo al inciso 3 del anexo 11.
- d) Solubilidad en agua. El total de materia soluble en agua no deberá exceder de 2% del peso de la muestra del pigmento original de acuerdo al inciso 4 del anexo 11.
- e) Curado en estabilidad atmosférica. La diferencia en la magnitud de color entre especímenes de concreto pigmentados, curados en aire seco, y aquellos curados a una humedad relativamente alta cuando se prueban de acuerdo al inciso 5 del anexo 11, no deberá ser más grande que la diferencia en magnitud de color entre dos especímenes no pigmentados, curados bajo las mismas condiciones.
- f) Resistencia a la luz. Las porciones de los especímenes expuestas no deberán mostrar diferencias significativas en color con respecto a las porciones no expuestas cuando se prueban de acuerdo con el inciso 6 del anexo 11. Mientras que un pigmento no pasa esta prueba, no deberá ser considerado resistente a la luz, un pigmento que pase ésta prueba se sujetará a desteñimiento cuando se exponga a la intemperie.

g) Efectos sobre el concreto.

Cuando se compare con la mezcla de control, el concreto pigmentado a la dosis máxima prescrita deberá tener una resistencia a la compresión no menor del 90% y una relación agua-cemento (A/C) no más grande del 110% que la mezcla de control cuando se prepare y se pruebe de acuerdo al inciso 7 del anexo 11.

El pigmento cuando se adicione a la mezcla de concreto a su dosificación máxima prescrita, no deberá acelerar el fraguado inicial o final en más de una hora ni retardar el fraguado inicial o final en más de una hora y media, al compararse con la mezcla de control no coloreado cuando se pruebe de acuerdo con el inciso 7 del anexo 11.

Usando la misma cantidad de aditivo inclusor de aire, los pigmentos, cuando son añadidos a la mezcla de concreto a su máxima dosificación prescrita, no deberá cambiar el contenido de aire en más de 1%, al compararse con la mezcla de control no coloreada cuando se pruebe de acuerdo al inciso 7 del anexo 11.

- h) Igualación del color del envío. El color del pigmento producido no deberá ser significativamente diferente al color del pigmento estándar suministrado por el fabricante, cuando estos sean probados de acuerdo al inciso 8 del anexo 11. Los nuevos especímenes de concreto que contengan la mezcla estándar de un pigmento en particular se deberán preparar cada vez que un nuevo envío se evalúe. Esto es necesario para eliminar las variaciones de color causadas por algún otro ingrediente del mortero, preparación del espécimen o por el curado.

A continuación se dan las siguientes recomendaciones y cuidados generales para lograr acabados satisfactorios de concreto con color integral:⁽⁴¹⁾

- Verifique que el aditivo colorante seleccionado cumpla con la Norma ASTM C 979.
- No deberá emplearse cloruro de calcio (que puede provocar moteado) o cualquier aditivo que pudiera ser incompatible con el agente colorante. Además no se deben emplear agregados reactivos con la mezcla.
- Verifique que un agente de curado de color igualado esté disponible con el color especificado. Los agentes de curado pueden mejorar la intensidad y uniformidad de color del concreto.
- Un mes antes de la colocación del concreto, haga muestras o maquetas representativas con los mismos trabajadores, materiales (incluyendo al aditivo seleccionado) y técnicas que se emplearán en obra. Haga una muestra o maqueta para cada color especificado y protéjalas adecuadamente.
- Tome en cuenta las condiciones de intemperie y ambientales. Evite colados de concretos cuando existe la posibilidad de lluvia o durante periodos de calor y frío excesivos.
- Verifique que no cambiarán durante el proyecto la marca y el tipo de cemento, la fuente de agregado y el agente de coloración.

- Verifique que haya el equipo requerido y el personal suficiente para el acabado del concreto.
- No se agregue agua a la mezcla, después de haber descargado una porción de la carga.
- Deposite al concreto lo más cerca posible de su posición final.
- Emplee sólo equipo de acabado que esté en buenas condiciones.
- No agregue agua a la superficie de concreto, no la sobrepule ni atrape agua de sangrado por dar el acabado demasiado pronto.
- Mantenga los mismos procedimientos de acabado durante toda la obra y acabe todas las superficies en la misma dirección.
- No exceda los tiempos razonables para dar el acabado al concreto.
- Evite emplear cubiertas húmedas, hojas plásticas o papel a prueba de agua para el curado, ya que pueden provocar moteado y color no uniforme.
- Proteja al concreto coloreado, del tránsito de la construcción y del daño de por otras actividades hasta la terminación de la obra.

CAPÍTULO VI.

Control de Calidad.

6. Control de Calidad.

6.1. Muestreo.

El muestreo de aditivos para concreto deberá hacerse bajo la dirección de un representante del comprador, realizándose conforme a lo estipulado en las normas NMX-C-45⁽⁴⁵⁾ y NMX-C-179⁽⁴⁶⁾ vigentes.

Se deberá tomar una muestra de aditivo en cualquiera de los siguientes tres casos:⁽⁴⁷⁾

- a) *Cuando la autoridad responsable de la obra en construcción autorice el empleo de una cierta clase de aditivo y se hayan propuesto dos o más productos comerciales de esa misma clase.* El personal del laboratorio deberá muestrear directamente del almacenamiento del fabricante o proveedor, de tal forma que obtenga una muestra representativa de cada producto.
- b) *Durante el proceso de consumo del aditivo en obra.* Este aditivo, que fue aprobado previamente por el laboratorio, deberá muestrearse con personal del mismo; en el sitio de embarque, debiéndose obtener muestras representativas de los diferentes lotes que se remitan a la obra, para verificar la uniformidad en las características del producto con relación a las obtenidas durante la verificación original de calidad y que determinaron su aprobación. El muestreo de cada lote deberá realizarse con un mínimo de siete días de anticipación a la fecha de envío a la obra.
- c) *Después de que un aditivo haya permanecido almacenado por un período mayor de seis meses y se requiera usar.* Se deberán obtener muestras representativas de cada lote por el personal del laboratorio de la obra. Deberán hacerse todas las pruebas de calidad especificadas para la clase de aditivo correspondiente.

6.1.1. Clases de muestras.

Una muestra es una parte del producto terminado que es representativo del mismo, pudiendo ser:

- a) *Muestra individual.* También llamada muestra simple, es aquella que se obtiene de un solo lote, en una sola operación.⁽⁴⁸⁾
- b) *Muestra compuesta.* Es la que se obtiene mezclando un mínimo de tres muestras individuales.

6.1.2. Tamaño de la muestra.

En la actualidad existe una gran variedad de aditivos y a cada clase de ellos se les aplica una cierta cantidad de pruebas, haciendo con esto imposible definir un tamaño único de muestra para todas las clases de aditivos, por lo que la muestra deberá ser de una magnitud tal, que sea suficiente para realizar las pruebas que están especificadas en las normas correspondientes para el aditivo en cuestión y además la muestra deberá ser representativa del lote.⁽⁴⁵⁾

Mas adelante, se dan recomendaciones de tamaños de muestras, en función del tamaño del lote o del tipo de aditivo a muestrear.

6.1.3. Clasificación del muestreo.

El muestreo de aditivos para concreto, tanto para aditivos líquidos o no líquidos, se clasifica en:

- a) *Muestras de calidad.* Son las muestras individuales o compuestas, tomadas de un número suficiente de puntos, para lograr que la muestra compuesta final sea representativa del lote.⁽⁴⁵⁾ Estas muestras se toman con el propósito de evaluar la calidad de una fuente o lote de aditivo que será requerido, para verificarle todos los requisitos aplicables definidos en la especificación correspondiente.⁽¹³⁾
- b) *Muestras de uniformidad y equivalencia.* Son aquellas que se obtienen para evaluar la uniformidad de un solo lote o la equivalencia de varios lotes.

6.1.4. Procedimiento de muestreo.

A) Para aditivos líquidos.

Los aditivos líquidos, siempre que sea posible, se deberán agitar vigorosamente o se deberán recircular inmediatamente antes de su muestreo. Cuando los aditivos se entreguen en carros tanque, la muestra deberá tomarse del tubo de purga de la bomba de descarga. Las muestras individuales deben tomarse a intervalos iguales de tiempo, de tal forma que proporcione una muestra integrada de aproximadamente 200 litros, a la cual deberá hacerse un segundo muestreo, como a continuación se indica.

Cuando los aditivos líquidos estén envasados en recipientes mayores de 210 litros de capacidad, se deberán agitar vigorosamente para homogeneizarlos y las muestras individuales se deberán tomar del tercio inferior, medio y superior del recipiente, preferentemente de la parte central de cada uno de ellos. Esta operación deberá hacerse con un muestreador que permita tomar las muestras de las partes señaladas sin contaminación de las otras.

Cuando los recipientes sean de capacidad igual o menor de 210 litros, se deberán tomar muestras individuales de diferentes recipientes escogidos al azar. El número de envases por muestrear no debe ser menor que la raíz cuadrada del número total de envases. Cuando el lote de entrega sea menor a cien unidades, se tomará la décima parte del número de unidades para conformar la muestra.⁽⁴⁵⁾

En el caso de que las muestras se obtengan para determinar inicialmente la calidad de un producto comercial, la Comisión Federal de Electricidad recomienda obtener como mínimo una muestra simple por cada 1000 L de aditivo y no menos de 3 muestras simples para representar todo el lote. La muestra simple deberá ser de alrededor de 0.5 L.⁽⁴⁷⁾ En el caso particular de aditivos inclusores de aire, la Norma ASTM C 260-95 recomienda tomar muestras de al menos 0.9 L para lotes no mayores de 9500 L.⁽²⁷⁾ Todas las muestras simples de un mismo lote deberán ser combinadas íntimamente para formar una compuesta⁽⁴⁸⁾ de aproximadamente 4 L.⁽¹³⁾ En el caso de muestras que se obtengan para comprobar la uniformidad en las características de un aditivo que se halle en proceso de aplicación, recomienda muestras simples de 1 L en lotes de hasta 2000 L. Para lotes mayores se aplicará el criterio de muestreo establecido para la determinación inicial de calidad, además de que cada muestra compuesta no deberá representar lotes mayores de 10 000 L, en cuyo caso, se dividirá en lotes parciales que no sobrepasen esta cantidad, tomándoles una muestra compuesta a cada uno de ellos.⁽⁴⁷⁾

En el caso particular de muestreo de cloruro de calcio en forma líquida, se deberán seleccionar mínimamente 3 recipientes para muestrear por medio de un dispositivo apropiado, que asegure que la muestra es representativa del

contenido del recipiente. Se deberán tomar todas las precauciones necesarias para evitar que la muestra sea expuesta a la humedad atmosférica e inmediatamente se deberá mezclar enérgicamente las muestras individuales, hasta formar una sola y colocarla en un recipiente de vidrio sellado o de plástico apropiado.⁽¹⁹⁾

B) Aditivos sólidos.

Polvos.⁽⁴⁵⁾

Los aditivos en polvo deberán muestrearse en su envase comercial y la muestra deberá tomarse con un tubo muestreador como el descrito en la Norma NMX-C-130 vigente.⁽⁴⁸⁾ Para determinar el número de muestras, se deberá tomar un criterio similar al caso anterior (para aditivos líquidos).

Granulares.⁽⁴⁵⁾

Para los aditivos en forma granular, sólo se tomarán muestras compuestas, las cuales deberán ser representativas de todo el lote de fabricación.

Cloruro de Calcio.⁽¹⁹⁾

Para el muestreo de cloruro de calcio en forma sólida, se deberá tomar al azar 3 muestras representativas, conforme a los criterios antes mencionados, pero siguiendo las siguientes recomendaciones:

- a) A cada recipiente se le raspa o retira la capa superficial superior (aproximadamente 25 mm); se toma aproximadamente 0.5 kg de la muestra, por medio de un tubo muestreador u otro método que asegure que el material contenido en el recipiente sea representativo; el espesor de la zona de muestreo nunca debe ser menor de 150 mm, medido a partir de la superficie de raspado.
- b) Deberán tomarse las precauciones necesarias durante la operación de muestreo, para evitar una exposición indebida de la muestra a la humedad atmosférica.
- c) Inmediatamente al muestreo, se deberán mezclar vigorosamente las muestras individuales, para formar con ellas una muestra representativa del material, que se coloca en un recipiente de plástico apropiado o en un recipiente de vidrio sellado.

Puzolanas y Cenizas Volantes, empleadas como aditivo mineral.⁽⁴⁴⁾

En el caso particular de puzolanas naturales o cenizas volantes, las muestras podrán ser individuales o compuestas, según se requiera. Las muestras individuales no deberán representar lotes mayores de 400 ton y deberán de ser de 2 kg como mínimo cuando vayan a formar una compuesta. En el caso de que a una muestra individual se le vayan hacer todas las pruebas requeridas, su masa deberá de ser de por lo menos 4 kg.

Estos aditivos pueden muestrearse por cualquiera de las siguientes formas:

- a) Del transportador que alimenta al almacén a granel. Se toman muestras individuales de 2 kg o más por cada 400 ton que pasan por el transportador. Esto puede hacerse tomando la muestra en una sola operación (Método de Grab), o bien en varias operaciones a intervalos regulares (Método Compuesto). En el caso de querer obtener una muestra compuesta, se deberán combinar masas aproximadamente iguales del aditivo mineral tomadas a intervalos regulares (se puede emplear un muestreador automático).
- b) Del almacén a puntos de descarga. Se deja salir suficiente aditivo mineral de las aberturas de descarga para obtener muestras representativas del producto, determinados por la aparición en los puntos de descarga de indicadores colocados sobre la superficie del aditivo mineral directamente encima de estas aberturas antes de que se comience la descarga del mineral. Al igual que en el inciso anterior, se toman muestras de 2 kg o más por cada 400 ton del aditivo por el Método de Grab o por el Método Compuesto.
- c) Del almacén, a granel por medio de tubos muestreadores. Este método se emplea cuando no es posible aplicar los dos métodos descritos en los dos incisos anteriores y cuando el espesor del aditivo mineral no excede a 3 m. El muestreo deberá realizarse por medio de tubos muestreadores insertados verticalmente a través de todo el espesor del material. Las muestras deberán tomarse sobre puntos bien distribuidos sobre el área de almacenamiento.

- d) En carros y plataformas. Se deberán combinar las muestras de varios carros o plataformas, formando una muestra compuesta que represente a un lote no mayor de 400 ton. En el caso de ser cargamentos a granel, se deberán tomar muestras representativas sobre puntos bien distribuidos.

La Comisión Federal de Electricidad⁽⁴⁷⁾ recomienda obtener, en el caso de muestras de aditivos no líquidos, para determinar inicialmente la calidad de un producto comercial, no menos de una muestra simple por cada tonelada de aditivo y además no menos de 3 muestras simples para representar todo el lote. La muestra simple deberá ser de alrededor de 0.5 kg, y si la muestra compuesta sobrepasa los 2 kg, deberá reducirse por cuarteo a esta cantidad. En el caso de muestras que se obtengan para comprobar la uniformidad en las características de un aditivo en proceso de uso, recomienda muestras simples de 1 kg de aditivo en lotes de hasta 2 ton. Para lotes mayores se aplicará el criterio de muestreo establecido para la determinación inicial de calidad, además de que cada muestra compuesta no deberá representar lotes mayores de 10 ton, en cuyo caso se dividirán en lotes parciales que no sobrepasen esta cantidad, tomándoles una muestra compuesta a cada uno de ellos.

C) Aditivos de consistencia cremosa o pastosa.

Se deberán tomar muestras individuales inmediatamente después del homogeneizado del aditivo, tomadas de diferentes recipientes elegidos al azar, de tal forma que representen todo el lote de fabricación. Se deberá tomar un criterio similar a los casos anteriores para determinar el número de muestras.

6.1.5. Preparación de la muestra.

En muestras de aditivos líquidos o de consistencia cremosa o pastosa, se deberán mezclar las muestras individuales y posteriormente agitarse para su homogeneización, en un recipiente tal, que no haya pérdida de material.

En muestras en polvo y granulados, se deberán preparar por el método de cuarteo, de tal forma que sea perfectamente homogénea. En el caso de muestras en polvo, las muestras individuales se vacían a una charola seca y limpia, y empleando el método de cuarteo, se forma la muestra compuesta representativa del lote.⁽⁴⁵⁾

6.1.6. Empaque y remisión de muestras.⁽⁴⁷⁾

Las muestras simples representativas de lotes de hasta 2000 L ó 2 ton, según se trate de aditivos líquidos o no líquidos respectivamente, o bien, las muestras compuestas reducidas por cuarteo al tamaño adecuado, deberán empacarse e identificarse para su traslado al laboratorio para verificar sus características y propiedades.

Todas las muestras de aditivos deberán envasarse en recipientes constituidos de un material que no sea atacable por el aditivo, que garantice hermeticidad y sea seguro durante el transporte.

Cada muestra deberá identificarse plenamente, para lo cual es necesario que lleven adjuntamente, la siguiente relación de datos como mínimo:

- Clase y marca comercial del producto.
- Fabricante o proveedor.
- Lugar y fecha de muestreo.
- Tamaño y forma de presentación del lote muestreado.
- Identificación del lote y fecha de fabricación.
- Número de muestras simples y compuestas obtenidas.
- Objeto del muestreo.
- Obra en que se haya propuesto el producto.

El fabricante o proveedor del aditivo es quien proporcionará por escrito las instrucciones necesarias para la utilización del producto, las cuales se observarán en las pruebas para verificar su calidad.

Las muestras que se reciban en el laboratorio podrán ser identificadas por un número o clave, con el cual se les designará durante todo el proceso de verificación de calidad, hasta la presentación de resultados, en que volverá a hacerse referencia a su origen.

6.2. Almacenamiento.

Los aditivos deberán ser almacenados de una manera tal que se permita fácil acceso para una adecuada inspección e identificación de cada embarque, dentro de una

construcción adecuada, aislada del medio ambiente, que proteja al aditivo de la humedad y el congelamiento.⁽¹³⁾ Siempre se deberán seguir las recomendaciones del fabricante para el almacenamiento del aditivo, y cuando éste tenga más de seis meses almacenado, deberá probarse nuevamente antes de su empleo.⁽⁴⁾

Los aditivos fabricados en forma líquida deben almacenarse en tambores o tanques herméticos, protegidos de la congelación. La agitación de estos materiales durante su uso debe hacerse de acuerdo con las indicaciones dadas por el fabricante.

Con frecuencia es también conveniente licuar aditivos fabricados en forma de polvo para disolverse. Cuando esto se hace, los tambores o tanques de almacenaje, desde los cuales se suministrarán los aditivos, deben estar provistos de equipo de agitación o mezclado, para mantener los sólidos en suspensión.

Los requisitos para el almacenaje de aditivos en polvo deben ser los mismos que para el almacenaje de materiales cementantes.

Las puzolanas y otros materiales cementantes deben manejarse, trasladarse, y almacenarse de la misma manera que el cemento.⁽⁴⁹⁾

6.3. Pruebas de verificación a los aditivos.

Los aditivos generalmente se comportan en forma semejante, pero en diferente grado y en algunas ocasiones con resultados insuficientes o inesperados. Esto se debe a la gran variedad en la condición química de todos los ingredientes del concreto, principalmente en el cemento.⁽⁶⁾

Antes de emplear un aditivo de determinada marca, clase o tipo, es necesario conocer o inferir su comportamiento, para lo cual se puede utilizar cualquiera de las siguientes fuentes de información:⁽³⁾

- a) *Pruebas de laboratorio.* Empleadas para evaluar los efectos provocados por el aditivo.
- b) *Resultados anteriores obtenidos en otras obras con el mismo aditivo o uno similar.* El aditivo con el cual se cuenta con la información, debió haber tenido un buen control técnico y debió haberse usado preferentemente con los mismos materiales y condiciones de obra.

c) *Literatura e información técnica del fabricante del aditivo.*

De los tres métodos anteriores, el único recomendable y seguro es el primero, la elaboración de mezclas de prueba, ya que la mejor manera de controlar que un aditivo actúe para el fin deseado, es ensayarlo en el concreto, con los materiales que se usarán en obra y medir cuidadosamente las propiedades de mayor interés en mezclas similares con y sin las dosificaciones recomendadas del aditivo propuesto, pero con revenimiento y contenidos de aire similares. Los otros dos métodos sólo se recomiendan como medios de información complementaria o cuando por cualquier razón, los aditivos no hayan podido probarse adecuadamente.⁽⁶⁾

En resumen, los aditivos se deben probar por cualquiera de las siguientes razones:⁽³⁾

- a) Para verificar el cumplimiento de las especificaciones de compra.
- b) Para evaluar los efectos que el aditivo provoca sobre las propiedades del concreto. Esto, para los materiales, condiciones ambientales y procesos constructivos previstos o esperados en obra.
- c) Para determinar la uniformidad del producto dentro del lote.
- d) Para demostrar la equivalencia de un aditivo entre varios lotes.

Las pruebas empleadas para la aprobación del aditivo se llaman pruebas preliminares, las cuales sirven para comprobar su calidad, dosificación y compatibilidad con el cemento y los agregados, las características de las mezclas de concreto en que se utilizan y las condiciones específicas de obra en cuestión.

Estas pruebas suelen emplearse con tres finalidades diferentes, para lo cual se clasifican en:

- a) Pruebas de selección.
- b) Pruebas de certificación de calidad
- c) Pruebas de comportamiento en obra

6.3.1. Pruebas de selección.

En la actualidad existe en el mercado una variedad de productos de diferente marca para una misma clase o tipo de aditivo, es decir, para que ejerza un mismo efecto sobre el concreto.

Debido a esto, se emplean las pruebas selectivas que consisten en la ejecución de ensayos comparativos entre dos o más aditivos del mismo tipo para seleccionar el que resulte más adecuado económica y técnicamente posible, para una aplicación específica.⁽¹⁾

Este tipo de pruebas conducen a verificar una característica básica del aditivo, relacionada con los supuestos efectos que produce. Los aditivos cuyos resultados no satisfagan los requisitos mínimos de estas pruebas serán rechazados, mientras que los que si satisfagan los requisitos mínimos estarán aptos para someterlos a las siguientes pruebas de verificación de calidad.⁽⁴⁷⁾

Estas pruebas se realizan en el laboratorio con muestras de los aditivos postulados y preferentemente con los materiales que se emplearán en la obra. En caso de que no se cuente con los materiales de obra o aún no estén bien definidos, podrá usarse cualquier cemento que cumpla con las especificaciones de la obra y agregados que posean una buena calidad y sean semejantes en características físicas a los que se esperan usar.

Para comparar los efectos de los aditivos propuestos, se debe emplear una sola mezcla de concreto diseñada para cumplir con las características y propiedades requeridas en las especificaciones del trabajo previsto. Dicha mezcla debe ensayarse primero sin el uso de aditivos (mezcla testigo). Posteriormente se deberá ensayar individualmente, la misma mezcla con cada uno de los aditivos en estudio, de modo que se mantengan constantes las características fundamentales de las mezclas que serán motivo de comparación

Los aditivos empleados para este tipo de pruebas, serán dosificados e incorporados de la forma en que lo recomienden el fabricante o proveedor.

Para definir los ensayos que deben realizarse y de ellos obtener los resultados que permitan hacer un juicio técnico es necesario consultar las especificaciones de calidad aplicables al tipo de aditivo que se esté empleando. Dicha selección de ensayos deberá estar basada en elegir aquellos cuyos resultados se relacionen directamente con el efecto fundamentalmente necesario, esto con objeto de no llevar

a cabo todos los ensayos, ya que es una etapa de precalificación de los aditivos. Si no existen especificaciones de uso común que sancionen la calidad del tipo de aditivo requerido, es permisible utilizar especificaciones menos conocidas, o bien, aplicar ensayos procedentes de otras especificaciones similares, siempre y cuando estos ensayos se realicen conforme a métodos de prueba normalizados y su ejecución se lleve a cabo de manera invariable en todas las mezclas comparadas.

La evaluación técnica de los aditivos ensayados se realiza primeramente juzgando los resultados obtenidos en las mezclas de prueba, comparándolos entre sí y seleccionando el que resulte más favorable. En segundo lugar, se comparan los resultados de la mezcla "testigo" (sin aditivo) con los resultados de las mezclas de prueba con el efecto más favorable (que corresponde al mejor aditivo), para establecer si el aditivo cumple con los requisitos de las especificaciones de calidad del tipo de aditivo ensayado, o en su defecto satisface las necesidades técnicas del trabajo por realizar.

Para hacer una evaluación económica, debe establecerse el costo que representa el uso de cada aditivo por unidad de volumen de concreto. Para tal fin, debe utilizarse el precio unitario de cada aditivo y la cantidad de aditivo que requiere incorporarse por metro cúbico de concreto, de acuerdo con la dosificación recomendada por el fabricante o proveedor.

Con base a las dos evaluaciones anteriores, puede hacerse una tercera evaluación del tipo costo-beneficio, que permita decidir finalmente la selección del aditivo.⁽¹⁾

6.3.2 Pruebas de certificación de calidad.⁽¹⁾

Estas pruebas se efectúan con el propósito de comprobar que el lote dispuesto, del cual se está suministrando el aditivo, llena los requisitos de calidad aplicables a su tipo. Dicho lote debe ser plenamente identificable por el fabricante o proveedor y deberá estar disponible para su certificación de calidad por el constructor, antes de ser enviados a la obra.

En condiciones especiales se puede exigir un certificado de calidad expedido por el fabricante o proveedor, en el cual se garanticen los resultados de las pruebas

efectuadas al lote en cuestión. De cualquier modo que sea, todo lote de aditivo debe contar con un certificado de calidad, como condición necesaria para ser utilizado.

Para la elaboración de las mezclas de concreto para la ejecución de estos ensayos de certificación, debe emplearse preferentemente el cemento y los agregados que se utilizarán en obra, o en caso de no contar con ellos, el cemento y los agregados utilizados en las pruebas de selección, o bien otros similares en características y calidad.

Para certificar la calidad de un aditivo, los ensayos que deben realizarse pueden definirse considerando los siguientes aspectos:

- En función de las especificaciones que les son aplicables.
- Del lapso máximo disponible para la emisión del certificado.
- El tiempo mínimo requerido para la ejecución del ensayo y la obtención de los resultados.

Al menos que en la certificación del aditivo correspondan dentro de un programa de aseguramiento de calidad para la obra, no se justifica la realización de todos los ensayos contemplados en las especificaciones. Lo común es seleccionar los ensayos más representativos del comportamiento del aditivo, de los cuales se obtienen resultados a corto plazo, o bien, se definen algunas características físicas y químicas del producto que sean fácil y rápidamente determinables, cuyos datos proporcionen información confiable acerca de la calidad del aditivo, mediante la aplicación de relaciones empíricas previamente establecidas.

6.3.3. Pruebas de comportamiento en obra.⁽¹⁾

Estas pruebas se realizan, por el hecho de que los ensayos realizados en laboratorio para certificar la calidad de los aditivos, se realizan en condiciones ambientales establecidas en los métodos de prueba y con las dosis recomendadas por el fabricante o proveedor, y esto no significa que se obtendrán los mismos efectos al ser utilizados en condiciones de obra, debido principalmente a los cambios que se operan en el medio ambiente (temperatura, humedad y presión atmosférica) y en los componentes del concreto (cemento, agua y agregados).

Este tipo de pruebas consiste en elaborar en obra, la mezcla de concreto diseñada en laboratorio, con la dosis de aditivo empleada en las pruebas de certificación de calidad, con objeto de verificar la magnitud del efecto requerido, en las nuevas condiciones ambientales y con los materiales de obra, mediante la ejecución del ensaye que sea aplicable.

Se compara el resultado obtenido con el valor requerido en dicho efecto, para definir si la dosis de aditivo empleada fue la requerida. En caso contrario, deben efectuarse nuevos ensayos modificando la dosificación del aditivo en el sentido adecuado, hasta determinar la dosificación que permita lograr el efecto deseado para satisfacer las necesidades de trabajo en obra.

CAPÍTULO VII.

Conclusiones.

7. Conclusiones.

La aplicación de aditivos en el concreto, tiene el propósito fundamental de modificar convenientemente el comportamiento del concreto en estado fresco y/o de inducir o mejorar determinadas propiedades deseables en el concreto endurecido.

Siempre que se utilicen, deberán emplearse como un medio complementario y no como un sustituto de alguna medida principal o como medio de corrección de las etapas de planeación, diseño o construcción de una estructura de concreto. Por lo que un aditivo sólo debe emplearse cuando exista una razón que lo justifique.

Los aditivos de un mismo tipo pueden dar resultados insuficientes o inesperados, por lo que se requiere ensayarlos en las mezclas de concreto, preferentemente con los mismos materiales que se usarán en la obra, para poder conocer el funcionamiento de los mismos. Por lo que un aditivo sólo deberá emplearse después de haber evaluado los efectos que produce.

normalmente el efecto deseado al usar un aditivo viene acompañado de uno o más efectos secundarios, por lo que al evaluar al aditivo, se deberá verificar que los efectos secundarios que provoque, no superen al efecto buscado y no disminuya alguna característica principal requerida en el concreto.

Para que el control de calidad de aditivos sea el correcto, se deberán verificar los efectos en el concreto mediante ensayos de mezclas testigo (sin aditivo) y mezclas de prueba (con el aditivo) para un mismo concreto (excepto para los aditivos inclusores de aire, ya que en la mezcla testigo, contienen al aditivo de referencia). Además se deberán elegir las pruebas más significativas para verificar su calidad, ya que generalmente no se justifica el realizar todas, excepto para un certificado de calidad.

Se debe tener cuidado al momento de suministrar uno o más aditivos, dado que los efectos producidos en las mezclas de concreto, dependen directamente de la dosificación suministrada y del tiempo de suministro. Por lo que, cuando se empleen dos o más aditivos en el mismo concreto, debe evitarse que se mezclen antes de su adición al concreto o que se introduzcan al mismo tiempo; de no ser así, los efectos que pudieran presentarse deben ser comprobados mediante ensayos.

La cantidad de aditivo es de primordial importancia, dado que, si se emplean en forma indiscriminada o de manera errónea, pueden causar serios efectos perjudiciales. Esto hace que el empleo de aditivos sea un arma de doble filo, dado que si se aplica correctamente puede generar resultados sorprendentes, pero si se emplea con ignorancia, los resultados pueden ser de consecuencias desastrosas. Cuando los aditivos se añaden en cantidades pequeñas, se debe ejercer un elevado grado de control en la dosificación de la mezcla, ya que una dosis incorrecta, no dará los efectos esperados.

Generalmente la efectividad de cualquier aditivo depende de diversos factores, tales como la dosificación de cada componente de la mezcla de concreto; del tipo de cemento; la composición del agua; la forma y granulometría del agregado; del tiempo de suministro, calidad y tipo de aditivo; duración del mezclado, revenimiento y temperatura del concreto; las condiciones ambientales al momento de la elaboración del concreto; así como el proceso constructivo empleado. Por lo que, para que un aditivo proporcione los mismos efectos, se deberán mantener a los factores anteriores, lo más constante posible.

Siempre se deberá verificar que alguna especificación no prohíba el uso del aditivo en la obra, como podría ser el caso de los aditivos que contienen cloruros, los cuales no deben usarse en concreto presforzado, en vista de que pueden acelerar la corrosión del acero de presfuerzo.

REFERENCIAS.

1. Comisión Federal de Electricidad (CFE), **Manual de Tecnología del Concreto**, Sección I, Ed. Limusa, México, D. F., pp. 186-247, 1994.
2. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI), Dirección General de normas (DGN), **Norma NMX-C-255-1988**. Industria de la Construcción. Aditivos químicos que reducen la cantidad de agua y/o modifican el tiempo de fraguado del concreto.
3. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C., **Aditivos para Concreto**, 1ª reimpresión, México, D. F., 1983.
4. ACI Committee 212, **ACI Manual of Concrete Practice**, Chemical Admixtures for Concrete (ACI 212.3R-91), Part 1, Editorial Production Staff, Estados Unidos, 1998.
5. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C., **Producción de Grandes Volúmenes de Concreto**, Editorial Limusa, México, D. F., 1983.
6. McMillan F. R. y Tuthill Lewis H., **Cartilla del Concreto (ACI - SP1)**, Ed. Limusa, Fondo Editorial IMCYC, 1ª reimpresión, pp. 42-45, México, D. F., 1990.
7. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, **El Concreto en la Obra**, Ed. Limusa, pp. 64-69, México, D. F., 1992.
8. Asociación Venezolana de la Industria del Concreto Premezclado, Seminario del concreto. Inspección y Control, **Cuando Usar Aditivos**, Concretemos, Año 2, No. 4, Caracas, Venezuela, Enero-marzo, 1993.
9. Kosmatka, Steven H. y Panarese, William C., **Diseño y Control de Mezclas de Concreto**, Fondo Editorial IMCYC, pp. 67-81, México D. F., 1992.
10. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C., **Problemas en el Concreto: Causas y Soluciones**, Ed. McGraw-Hill, Inc, pp. 31-50, México, D.F., 1985.
11. Concrete Basics, Part I, **Admixtures**, Seminar 04-01, Word of Concrete, pp. 2.25-2.30, 1994.
12. Popovics Sandor, **¿Qué debe saber un Ingeniero respecto a la naturaleza de los aditivos?**, Revista IMCYC, Vol. 8, No. 48, pp. 58-67, Enero-febrero 1971.

13. American Society for Testing and Materials, **Annual Book of ASTM Standards**, Designation C 494-92 (Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete), Editorial Staff, Estados Unidos, 1996.
14. López Baillo, J. F., **Los Hormigones Premezclados y los Aditivos**, Revista de Obras Públicas, No. 3092, España, Diciembre 1972.
15. Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), **Manual de Inspección del Concreto**, Tomo I, pp. 432-437, México, D. F., 1984.
16. Neville, A. M., **Tecnología del Concreto**, Tomo I, Fondo Editorial IMCYC, Ed. Limusa, 3ª reimpresión, pp. 140-147, México, D.F., 1988.
17. Mc Currich L. H. y Lammiman S. A., **Experiencias con Aditivos Retardantes**, Revista IMCYC, Vol. 17, No. 105, pp. 23-29, Enero 1980.
18. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C., **Aditivos Superfluidificantes para Concreto**, Fondo Editorial IMCYC, Ed. Limusa, 1ª edición, México, D. F., 1990.
19. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI), Dirección General de normas (DGN), **Norma NMX-C-356-1988**. Industria de la Construcción. Aditivos para concreto. Cloruro de calcio.
20. American Society for Testing and Materials, **Annual Book of ASTM Standards**, Designation D 98-87 (Standard Specification for Calcium Chloride), Editorial Staff, Estados Unidos, 1996.
21. Concretos Apasco, **Manual del concreto**, pp. 141-144, México, D. F., 1996.
22. Grassa Garrido José María, **Concreto con Superfluidificantes**, Revista IMCYC, Vol. 22, No. 162, pp. 45-58, Madrid, España, Octubre 1984.
23. Hewlett Peter y Rixom Roger, **Concreto Superfluidificado**, Revista IMCYC, Vol. XV, No. 86, pp. 9-17, Londres, Inglaterra, Mayo-junio 1977.
24. Hester Weston T., **Aditivos de Alta Capacidad Reductores de Agua**. Revista IMCYC, Vol. 17, No. 101, pp. 32-44, E.U.A., Septiembre 1979.
25. American Society for Testing and Materials, **Annual Book of ASTM Standards**, Designation C 1017-92 (Standard Specification for Chemical Admixtures for Use in Producing Flowing Concrete), Editorial Staff, Estados Unidos, 1996.
26. Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), **normas de Calidad de los Materiales: Carreteras y Autopistas**, Libro 4.01.01, pp. 48-59, México, D. F., 1986.

27. American Society for Testing and Materials, **Annual Book of ASTM Standards**, Designation C 260-95 (Standard Specification for Air-Entraining Admixtures for Concrete), Editorial Staff, Estados Unidos, 1996.
28. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, **Manual de Diseño y Construcción de Pilas y Pilotes**, pp. 12-18, 2ª reimpresión, México, D. F., 1983.
29. Neville, A. M., **Tecnología del Concreto**, Tomo III, Fondo Editorial IMCYC, Ed. Limusa, 2ª reimpresión, pp. 61-77, México, D. F., 1989.
30. Hernández Rubio Juan A., **Efectos de los Aditivos en el Hormigón Utilizado en la Construcción de Grandes Presas. Influencia Sobre el Calor de Hidratación del Cemento**. Revista de obras Públicas, No. 3075, pp. 523-526, España, Julio 1971.
31. Constru-Noticias, **Aditivos para concreto. Factores que afectan la cantidad de aire incluido**, No. 133, pp. 39-42, Febrero de 1975.
32. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI), Dirección General de normas (DGN), **Norma NMX-C-200-1978**. Aditivos inclusores de aire para concreto.
33. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C., **Colocación del Concreto por Métodos de Bombeo**, Ed. Limusa, pp. 40-41, México, D. F.
34. Holland Terence, **Aplicaciones y especificaciones de los aditivos para concreto**, Semana Internacional del Concreto, Fondo Editorial IMCYC, Septiembre de 1995.
35. Ingeniería Civil, **Aditivos para Concreto de Alto Desempeño**, No. 307, pp. 38-39, Noviembre de 1994.
36. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI), Dirección General de normas (DGN), **Norma NMX-C-146-1983** Industria de la Construcción. Aditivos para concreto. Puzolana natural cruda o calcinada y ceniza volante para usarse como aditivo mineral en concreto de cemento Portland.
37. American Society for Testing and Materials, **Annual Book of ASTM Standards**, Designation C 618-96 (Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete), Editorial Staff, Estados Unidos, 1996.
38. American Society for Testing and Materials, **Annual Book of ASTM Standards**, Designation C 989-95 (Standard Specification for Ground Granulated Blast-Furnace Slag for Use in Concrete), Editorial Staff, Estados Unidos, 1996.

39. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI), Dirección General de normas (DGN), **Norma NMX-C-117-1978**. Industria de la Construcción. Aditivos estabilizadores de volumen para concreto.
40. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI), Dirección General de normas (DGN), **Norma NMX-C-140-1978**. Industria de la Construcción. Aditivos expansores del concreto
41. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI), Dirección General de normas (DGN), **Norma NMX-C-199-1986**. Industria de la Construcción. Aditivos para concreto y materiales complementarios. Terminología y clasificación.
42. ACI Committee 222, **ACI Manual of Concrete Practice**, Corrosion of Metals in Concrete (ACI 222.R-89), Part 1, Editorial Production Staff, Estados Unidos, 1998.
43. Revista Construcción y Tecnología, **Control de Calidad en Acabados de Concreto con Color Integral**, Fondo Editorial IMCYC, Volúmen X, Número 116, pp. 36-38, México D. F., Enero de 1998.
44. American Society for Testing and Materials, **Annual Book of ASTM Standards**, Designation C 979-82 (Standard Specification for Pigments for Integrally Colored Concrete), Editorial Staff, Estados Unidos, 1996.
45. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI), Dirección General de normas (DGN), **Norma NMX-C-45-1983** Industria de la Construcción. Aditivos para concreto. Muestreo.
46. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI), Dirección General de normas (DGN), **Norma NMX-C-179-1983** Industria de la Construcción. Ceniza volante o puzolana natural para usarse como aditivo mineral en concreto de cemento Portland. Muestreo y pruebas.
47. Comisión Federal de Electricidad (CFE). **Manual de Obras Civiles**, Tecnología del Concreto, Sección E
48. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI), Dirección General de normas (DGN), **Norma NMX-C-130-1968** Muestreo de Cementantes Hidráulicos.
49. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C., **Práctica Recomendable para la Medición, Mezclado, Transporte y Colocación del Concreto**, Fondo Editorial IMCYC, Ed. Limusa, 5ª reimpresión, México, D. F., 1986.

ANEXOS.

Métodos de Prueba.

Anexo 1.

Método de prueba para aditivos químicos que reducen la cantidad de agua y/o modifican el tiempo de fraguado del concreto.

(En base a la Norma NMX-C-255-1988).

Métodos de prueba.

Las pruebas que a continuación se indican están basadas en estipulaciones arbitrarias que permiten la normalización de las pruebas en los laboratorios y no se pretende que reproduzcan las condiciones reales de trabajo.

1. Proporcionamiento de las mezclas de concreto.

1.1. Contenido de cemento.

El contenido de cemento para las mezclas debe ser de $310 \pm 5 \text{ kg/m}^3$ en concreto.

El cemento de la mezcla debe reunir los requisitos de la Norma NMX-C-1 vigente, para cemento Portland tipo I ó II.

1.2. Contenidos de agregados.

1.2.1. La primera mezcla de prueba debe contener agregado grueso en la proporción señalada en la Tabla 21 para el tamaño máximo del agregado y el módulo de finura de la arena que va a usarse.

Esos volúmenes se han seleccionado de relaciones empíricas que producen concretos con grados de manejabilidad conveniente para la construcción reforzada usual. Para concretos menos manejables tales como los que se requieren en la construcción de pavimentos de concreto, estos valores pueden incrementarse en un 10%. Para concretos más manejables, como los que se requieren cuando el colado va a realizarse con bomba, debe reducirse en un 10%.

Tamaño máximo del agregado (mm)	Volumen de agregados por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura de arena (*)			
	Módulo de finura de la arena			
	2.40	2.60	2.80	3.00
10	0.50	0.48	0.46	0.44
13	0.59	0.57	0.55	0.53
20	0.66	0.64	0.62	0.60
25	0.71	0.69	0.67	0.65
40	0.75	0.73	0.71	0.69
50	0.78	0.76	0.74	0.72
75	0.81	0.79	0.77	0.75
150	0.87	0.85	0.83	0.81

Tabla 21. Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto.

(*) Los volúmenes están basados en agregados en condición seca compactada con varilla, como se describe en la Norma NMX-C-73 vigente (método de prueba de masa volumétrica de agregados para concreto).

1.2.2. Los agregados finos y gruesos deben cumplir con los requisitos de la Norma NMX-C-111 vigente (Especificaciones de agregados para concreto), excepto que la granulometría debe cumplir con los requisitos señalados en las Tablas 22 y 23.

Cribas	Abertura en mm	% que pasa
G 4.75	4.76	100
M 1.16	1.19	65 a 75
M 0.300	0.297	12 a 20
M 0.150	0.149	2 a 5

Tabla 22. Granulometría de agregado fino

Cribas	Abertura en mm	% que pasa
G 25.0	25.4	100
G 19.0	19.0	75
G 12.5	12.7	50
G 9.50	9.50	25
G 4.75	4.76	0

Tabla 23. Granulometría de agregado grueso.

1.3. Contenido de aire.

1.3.1. Mezclas sin aire incluido.

El contenido de aire para calcular el proporcionamiento de estas mezclas, debe ser de 1.5% como se señala en la Tabla 24 (para tamaño máximo = 25 mm). En ambas mezclas, en la mezcla con el aditivo bajo prueba y en la mezcla testigo, el contenido de aire debe ser menor de 3% y la diferencia entre los contenidos de aire debe ser menor de 0.5%. Si es necesario agregar el aditivo inclusor de aire especificado en el inciso 1.3.3, no debe hacerse pruebas de resistencia a la congelación y deshielo a la mezcla testigo.

1.3.2. Mezclas con aire incluido.

El contenido de aire para calcular el proporcionamiento de estas mezclas debe ser de 5.5%. En la mezcla con el aditivo bajo prueba y en la mezcla testigo, debe ser de 3.5% a 7.0%, excepto en las pruebas de congelación y deshielo donde el contenido de aire debe ser de 5.0% a 7.0%; en ambos casos la diferencia del contenido de aire de las mezclas testigo, con un aditivo bajo prueba, debe ser menor de 0.5% (ver Tabla 25).

1.3.3. Aditivo inclusor de aire.

El aditivo inclusor de aire que se use en las mezclas de concreto, debe ser un material que cumpla con las especificaciones de la Norma NMX-C-200 vigente (aditivos inclusores de aire).

1.4. Contenido de agua.

El contenido de agua debe ajustarse para obtener revenimiento de 6.5 ± 1.5 cm. La trabajabilidad de la mezcla de concreto debe ser apropiada para la consolidación manual con varilla y la mezcla debe tener el mínimo de agua posible. Estas condiciones se alcanzan con el ajuste final de la relación entre el agregado fino y el agregado total, en la cantidad total de agregados o en ambos, a condición de mantener el rendimiento volumétrico y el revenimiento dentro de los límites requeridos.

1.5. Materiales de pruebas para usos específicos.

Para probar un aditivo químico, que va a emplearse en un trabajo específico, el cemento, puzolana, agregados y aditivo inclusor de aire, deben ser representativos de los propuestos para usarse en el trabajo.

La adición del aditivo químico debe hacerse durante el mezclado y esto, de la misma manera como se hace en la obra, tanto en lo que se refiere al tiempo como en su forma.

Las mezclas de concreto se proporcionan para tener el contenido de cemento especificado en el trabajo. Si el tamaño máximo del agregado grueso es mayor de 25.4 mm, se criba el concreto sobre una criba de 25.4 mm antes de fabricar los especímenes de prueba.

2. Preparación de los especímenes de prueba.

En la Tabla 26 se indica el número de pruebas para el concreto fresco y el endurecido, así como las edades a que deben realizarse y la condición del concreto que ha de fabricarse. Los especímenes deben proceder por lo menos de 3 revolturas separadas; su elaboración ha de realizarse, de manera que en un día se haga cuando menos uno para cada condición del concreto, excepto para las pruebas de resistencia a la congelación y deshielo, para las cuales, deben hacerse por lo menos 2 por cada condición del concreto.

2.1. Inspección visual de los especímenes.

La inspección visual de cada grupo de especímenes, que representan una prueba determinada o una edad de prueba dada, incluyendo tanto a mezclas de concreto fresco como de especímenes de concreto endurecido; esta ha de realizarse antes, durante y después de la prueba. Los especímenes y los resultados que denoten algún error deberán rechazarse, además de que deberán repetirse los especímenes y pruebas suprimidos.

2.2. Procedimiento de elaboración de especímenes.

La preparación de los especímenes para las pruebas de resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y resistencia a la congelación y deshielo debe cumplir con los

requisitos indicados en la Norma NMX-C-159 vigente (Elaboración y curado en el laboratorio de especímenes).

3. Procedimiento.

El aditivo debe ser incorporado al concreto de acuerdo con las indicaciones del fabricante, los efectos del aditivo químico sobre el tiempo de fraguado y sobre el consumo de agua del concreto pueden variar según la etapa en que se añadan a la mezcladora y según la secuencia del mezclado.

4. Determinaciones en las mezclas de concreto fresco.

4.1. Revenimiento.

Debe utilizarse el método indicado en la Norma NMX-C-156 vigente (Determinación del revenimiento).

4.2. Contenido de aire.

Debe utilizarse el método indicado en la Norma NMX-C-157 vigente (Determinación del contenido de aire del concreto fresco por el método de presión).

4.3. Tiempo de fraguado.

Debe utilizarse el método indicado en la Norma NMX-C-177 vigente (Determinación del tiempo de fraguado de mezclas de concreto, mediante la resistencia a la penetración).

4.4. Contenido de agua.

Debe reportarse la relación agua/cemento (A/C) del concreto con una aproximación de 0.001 como sigue:

El contenido neto de agua en las revolturas, debe determinarse como la masa de agua en exceso que se encuentra presente en forma de agua absorbida por los agregados. La masa de agua por metro cúbico y el volumen del concreto en la revoltura se determinan como se describe en la Norma NMX-C-162 vigente (Determinación del peso unitario, cálculo del rendimiento y contenido de aire del concreto fresco por el método gravimétrico).

La relación A/C se determina dividiendo la masa de agua entre la masa neta del cemento en la revoltura.

4.4.1. El contenido relativo de agua en el concreto que contiene el aditivo bajo prueba, debe calcularse como un porcentaje del contenido de agua del concreto testigo como sigue:

El contenido de agua promedio de todas las revolturas de concreto que contiene el aditivo bajo prueba, se divide entre el promedio del contenido de agua de todas las revolturas del concreto testigo y el cociente se multiplica por cien.

Revenimiento en cm	Agua de mezclado en kg/m ³ de concreto						
	Tamaño máximo del agregado en mm						
	10	13	20	25	40	50	75
3 a 5	205	200	185	180	160	155	145
8 a 10	225	215	200	195	175	170	160
15 a 18	240	230	210	205	185	180	170
Cantidad aproximada de aire atrapado	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3

Tabla 24. Requisitos aproximados de agua de la mezcla para concreto sin aire incluido y contenido de aire atrapado para diferentes revenimientos y tamaños del agregado.

Revenimiento en cm	Agua de mezclado en kg/m ³ de concreto						
	Tamaño máximo del agregado en mm						
	10	13	20	25	40	50	75
3 a 5	180	195	165	160	145	140	135
8 a 10	200	190	180	175	165	155	150
15 a 18	215	205	190	185	170	165	150
Cantidad aproximada de aire atrapado	8	7	6	5	4.5	4	3.5

Tabla 25. Requisitos aproximados de agua de la mezcla para concreto con aire incluido y contenido de aire atrapado para diferentes revenimientos y tamaños del agregado.

Prueba	Características del concreto	Condición del concreto	Edad de prueba	Número de especímenes
Contenido de agua	Fresco	Testigo	-	2
		Con aditivo		2
Revenimiento	Fresco	Testigo	-	2
		Con aditivo		2
Contenido de aire	Fresco	Testigo	-	2
		Con aditivo		2
Tiempo de fraguado	Fresco	Testigo	-	2
		Con aditivo		2
Resistencia a la compresión	Endurecido	Testigo	3, 7 y 28 días, 6 meses, 1 año, para las dos condiciones	15
		Con aditivo		15
Resistencia a la flexión	Endurecido	Testigo	3, 7 y 28 días para las dos condiciones	9
		Con aditivo		9
Resistencia a la congelación y deshielo	Endurecido	Testigo	14 días para las dos condiciones	6
		Con inclusor de aire con aditivo		6
Variación de longitud	Endurecido	Testigo	28 días para las dos condiciones	3
		Con aditivo		3

Tabla 26. Tipo y número mínimo de especímenes y pruebas.

5. Determinación de las mezclas de concreto endurecido.

5.1. Resistencia a la compresión.

Debe utilizarse el método indicado en la Norma NMX-C-83 vigente (Determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de concretos) y se reporta como porcentaje, empleando la fórmula siguiente:

$$R_c = \frac{R_p}{R_t} \cdot 100$$

Donde:

R_c = Porcentaje de la resistencia a la compresión del concreto con aditivo con respecto a la del concreto testigo.

Rp = Resistencia a la compresión promedio de los especímenes con aditivo bajo prueba a una edad de prueba dada.

Rt = Resistencia a la compresión promedio de los especímenes sin aditivo (concreto testigo), a la misma edad de Rp.

5.2. Resistencia a la flexión.

Debe utilizarse el método indicado en la Norma NMX-C-191 vigente (Determinación de la resistencia a la flexión del concreto usando una viga simple con carga en los tercios del claro). Deberá reportarse como el porcentaje empleado en la fórmula siguiente:

$$R_f = \frac{R_p}{R_t} \cdot 100$$

Donde:

Rf = Porcentaje de la resistencia a la flexión del concreto con aditivo, con respecto a la del concreto testigo.

Rp = Resistencia a la flexión, promedio de los especímenes con aditivos bajo prueba, a una edad de prueba dada.

Rt = Resistencia a la flexión, promedio de los especímenes sin aditivo (concreto testigo), a la misma edad de Rp.

5.3. Resistencia a la congelación y deshielo.

Debe utilizarse el método indicado en la Norma NMX-C-205 vigente (Determinación de la resistencia del concreto a la congelación y deshielo).

5.4. Variación de la longitud.

Debe utilizarse el método indicado en la Norma NMX-C-173 vigente (Determinación de la variación de longitud de las probetas de mortero de cemento y de concreto endurecido).

6. Pruebas de uniformidad y equivalencia.

Deben utilizarse los métodos de la Norma NMX-C-14 vigente (Determinación de la uniformidad y equivalencia de aditivos químicos).

Anexo 2.

Método de prueba para la determinación de la uniformidad y equivalencia de aditivos químicos.

(En base a la Norma NMX-C-14-1981).

Objetivo y campo de aplicación.

Esta Norma establece los procedimientos de prueba para determinar la uniformidad y equivalencia de los aditivos químicos que reducen la cantidad de agua y/o modifican el tiempo de fraguado del concreto.

Pruebas de uniformidad y equivalencia.

Para fines de esta Norma se entiende por pruebas de uniformidad y equivalencia, las que se hacen a los aditivos para determinar si son semejantes en cuanto a su composición y propiedades. La uniformidad se refiere a muestras pertenecientes a un solo lote; la equivalencia se refiere a muestras pertenecientes a diferentes lotes.

Procedimiento.

1. Análisis infrarrojo.

Este procedimiento de prueba tiene por objeto comparar cualitativamente la composición de muestras diferentes; los resultados no deben de interpretarse cuantitativamente.

1.1. Aditivos líquidos.

Determine la concentración de sólidos disueltos por el método correspondiente (ver incisos 2 y 3). Tome una alícuota de la muestra del aditivo líquido, diluya con agua destilada hasta obtener una concentración de sólidos disueltos de 0.015 g/mL (g/cm^3) aproximadamente; por ejemplo: una alícuota de 5 mL (5 cm^3) diluida a 200 mL. Mida con una pipeta 5 mL de esta solución y viértala en la caja de petri que contenga 2.5 g de bromuro de potasio de grado adecuado para usarse en análisis infrarrojo, y 5 mL de agua destilada. Agite y mezcle hasta su disolución. Coloque en

la estufa (Nota 1) y deje secar durante $17 \pm 1/4$ h a $105 \pm 3^\circ\text{C}$. Enfríe y pase el residuo seco a un mortero moliéndolo a polvo fino. Trabaje rápidamente para evitar un aumento de la humedad. Tome 0.1 g de polvo y 0.4 g de bromuro de potasio del grado antes mencionado. Mezcle en un amalgamador eléctrico durante 30 s, usando bolas y cápsula de acero inoxidable. Proceda luego de acuerdo con el párrafo 1.3.

1.2. Aditivos no líquidos.

Muela 10 g a polvo fino en un mortero; pase la muestra a una caja de Petri. Colóquela en la estufa (Nota 1) y séquela durante $17 \pm 1/4$ h a $105 \pm 3^\circ\text{C}$. Tome 0.005 g aproximadamente del polvo seco y 0.995 g de bromuro de potasio de grado adecuado para análisis infrarrojo. Mezcle en un amalgamador eléctrico durante 30 s, usando bolas y cápsula de acero inoxidable. Proceda de acuerdo con el párrafo 1.3.

Nota 1. La estufa debe ser del tipo circulación forzada o debe estar provista para tener libre acceso de aire. Es esencial el control preciso de temperatura y el tiempo de secado, de tal forma que no varíe, de muestra a muestra, el grado de volatilización de cualquier otro material distinto al agua.

1.3. Preparación del disco.

Prepare un disco para análisis infrarrojo; tome 0.300 g de la mezcla preparada según los párrafos 1.1 ó 1.2 y llévela a un cubo adecuado. Si se usa un cubo en el cual se pueda hacer vacío, se aplica éste durante 2 min antes de comprimirla. Continúe aplicando el vacío y comprima la mezcla por aproximadamente 3 min, obteniendo un disco de aproximadamente 1 mm de grueso. Saque el disco del cubo, insértelo en el espectrofotómetro infrarrojo y obtenga su espectro de absorción.

Nota 2. Es importante que se use el mismo procedimiento en todas las pruebas para que sea comparativo y debe efectuarse, de preferencia, por el mismo analista. Los cambios mayores en el espectro infrarrojo pueden resultar de:

- a) Diferencias en el contenido de agua debido a variaciones en el secado.
- b) Aumento de agua por materiales higroscópicos.
- c) Reacción entre el bromuro de potasio y algún otro compuesto presente.
- d) Diferencias en el tiempo entre formación del disco y su uso. También el umbral para detección de los componentes individuales por absorción

infrarroja varía ampliamente, dependiendo de la identidad y concentración de las sustancias acompañantes. Por ejemplo, cantidades significativas de sacáridos pueden estar presentes en un aditivo a base de lignosulfonatos sin que su presencia sea indicada por este método.

2. Residuo por secado (Aditivos líquidos).

2.1. Coloque 25 a 30 g de arena Ottawa estándar (mallas 20 a 30) en un pesafiltro de vidrio de forma baja (60 mm de diámetro interior y 30 mm de altura aproximadamente), provisto con tapa. Coloque el pesafiltro y su tapa, con ésta quitada, en una estufa (Nota 1) y seque durante $17 \pm 1/4$ h a $105 \pm 3^\circ\text{C}$ (Nota 3). Coloque la tapa al pesafiltro, lleve a un desecador, enfríe a temperatura ambiente y determine su masa con aproximación de 0.001 g. Quite la tapa y con una pipeta, distribuya uniformemente 4 mL del aditivo líquido sobre la arena. Inmediatamente coloque la tapa para evitar pérdida por evaporación y determine su masa con aproximación de 0.001 g. Quite la tapa y coloque ambos, pesafiltro y tapa, en la estufa (Nota 1). Seque durante $17 \pm 1/4$ h a $105 \pm 3^\circ\text{C}$. Al final del período de secado tape el pesafiltro, llévelo a un desecador, enfríelo a temperatura ambiente y determine su masa con aproximación de 0.001 g.

2.2. Cálculos.

2.2.1. Se registran las masas siguientes:

W1 = Masa del pesafiltro con tapa, arena y muestra antes del secado.

W2 = Masa del pesafiltro con tapa y arena.

W3 = $W1 - W2$ = masa de la muestra.

W4 = Masa del pesafiltro con tapa, arena y residuo seco.

W5 = $W4 - W2$ = Masa del residuo seco.

Nota 3. Para los laboratorios que efectúan esta prueba como rutina, pueden mantener en desecadores el pesafiltro con la arena previamente secos de tal manera que estén disponibles para usarse inmediatamente cuando una muestra deba probarse.

2.2.2. Se calcula el residuo usando la fórmula siguiente:

$$\text{Residuo por secado (\% en masa)} = \frac{W5}{W3} \cdot 100$$

3. Residuo por secado (aditivos no líquidos).

3.1. Coloque 3 g aproximadamente del aditivo no líquido en un pesafiltro con tapa, seco y tarado (similar al descrito en el párrafo 2.1). Determine la masa del pesafiltro con tapa y contenido, con aproximación de 0.001 g. Quite la tapa y coloque inmediatamente el pesafiltro y la tapa en la estufa (Nota 1). Seque durante $17 \pm 1/4$ h a $105 \pm 3^\circ\text{C}$, al final del período de secado tape el pesafiltro, lleve al desecador, enfríe a la temperatura ambiente y determine su masa con aproximación de 0.001 g.

3.2. Cálculos.

3.2.1. Registre las masas siguientes:

W1 = Masa del pesafiltro tarado con tapa y muestra antes del secado.

W2 = Masa del pesafiltro vacío con tapa.

W3 = W1 - W2 = masa de la muestra.

W4 = Masa del pesafiltro tarado con tapa y muestra después del secado.

W5 = W4 - W2 = Masa del residuo seco.

3.2.2. Calcule el residuo seco usando la fórmula siguiente:

$$\text{Residuo por secado (\% en masa)} = \frac{W5}{W3} \cdot 100$$

4. Masa específica (aditivo líquido).

4.1. Determine la masa específica a $25 \pm 1^\circ\text{C}$ del aditivo líquido usando hidrómetros que cumplan con la especificación ASTM-E-100:

Hidrómetro (No.)	Intervalos.
112H-62	1.05 a 1.10
113H-62	1.10 a 1.15
114H-62	1.15 a 1.20
115H-62	1.20 a 1.25
116H-62	1.25 a 1.30
117H-62	1.30 a 1.35

Los hidrómetros de los números 112H hasta 117H cubrirán el intervalo para muchas determinaciones. Se requiere también una probeta graduada de 250 mL y un baño de agua capaz de mantener la temperatura $25 \pm 1^\circ\text{C}$.

4.2. Coloque la muestra en la probeta graduada de 250 mL y sumerja el hidrómetro de tal manera que flote libremente y no toque los lados de la probeta. Coloque la probeta con la muestra y el hidrómetro en el baño a temperatura constante hasta que la temperatura de la probeta, hidrómetro y muestra sea uniforme a $25 \pm 1^\circ\text{C}$. Una vez alcanzada la temperatura apropiada, antes de sumergir el hidrómetro, se deberá dejar pasar 10 min para alcanzar el equilibrio. Si la muestra hace espuma, la lectura del hidrómetro debe continuarse hasta que se obtengan lecturas constantes. Lea el hidrómetro en la base del menisco con aproximación de 0.005.

Nota 4. Si se forma espuma durante la transferencia del aditivo a la probeta, debe dejarse suficiente tiempo para que la espuma se disipe o se eleve a la superficie, o ambos, ésta debe removerse antes de sumergir el hidrómetro. Evite la incrustación del aditivo sobre el bulbo del hidrómetro, debido a la evaporación, durante el ajuste de temperatura.

5. Potencial de iones de hidrógeno (pH). Aditivos líquidos.

Determine mediante un potenciómetro medidor de pH adecuado, equipado con un sistema de electrodos y vidrio-calomel (electrodo de referencia). Se hace la lectura del pH directamente con el aparato, de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

6. Potencial de iones de hidrógeno (pH). Aditivos no líquidos.

Tome 3 g aproximadamente del aditivo secado al aire, o la cantidad equivalente aproximada del aditivo húmedo. Coloque en un vaso de precipitado de 100 mL. Añada 50 mL de agua destilada y agítelo ocasionalmente en un lapso de 30 min. Lea el pH en el aparato, usando soluciones reguladoras de referencia más apropiadas, de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

Anexo 3.

Método de prueba del cloruro de calcio.

(En base a la Norma NMX-C-356-1988).

Objeto y campo de aplicación.

Esta Norma establece las especificaciones que debe cumplir el cloruro de calcio grado técnico, utilizado en el acondicionamiento de caminos y en la aceleración del fraguado de concreto. La presentación del cloruro de calcio puede ser sólida o líquida.

Métodos de prueba.

Para verificar las especificaciones que debe cumplir el cloruro de calcio, se realizan los métodos de prueba que a continuación se anotan:

1. Granulometría (por análisis de cribas).

Se criban 2 ± 0.1 kg de cloruro de calcio, utilizando las cribas G 31.5 (1 1/4"), G 9.5 (3/8"), G 4.75 (No. 4), M 2.36 (No. 8), M 1.18 (No. 16) y M 0.600 (No. 30).

El cribado debe realizarse utilizando la superposición de las cribas anteriormente mencionadas, en un tiempo del orden de un minuto, tal como se marcan los métodos de cribado de la Norma NMX-C-77 vigente.

Los resultados se reportan en base a lo señalado en la Tabla 7 (requisitos de granulometría del cloruro de calcio sólido).

La determinación de la masa corresponde a lo separado por cada criba; deberá realizarse con la mayor premura debido a la naturaleza higroscópica del cloruro de calcio.

2. Análisis químico.

2.1. Materiales y reactivos.

- Material común de laboratorio químico.
- Nitrato de plata (AgNO_3) 0.1 N.
- Acido nítrico (HNO_3) 0.1 N.
- Solución indicadora de diclorofluoresceína (solución acuosa de la sal disódica de la diclorofluoresceína al 0.1%).

2.2. Procedimiento.

En una botella de masa conocida se coloca una muestra de aproximadamente 20 ± 0.1 g, la cual se disuelve en agua destilada. Se agrega suficiente ácido nítrico (HNO_3) para aclarar y se diluye a 1000 mL (1000 cm^3) en un matraz volumétrico, mezclando esto vigorosamente. A una alícuota de 10 mL se le agregan de 5 a 7 gotas de diclorofluoresceína (solución acuosa de la sal disódica de diclorofluoresceína al 0.1%) como indicador, esta mezcla se titula con solución de nitrato de plata (AgNO_3 0.1%) hasta que se torne de color rosa. Se pueden utilizar otros indicadores apropiados.

Se calcula el contenido de cloruro de calcio (CaCl_2) como sigue:

$$\% \text{CaCl}_2 = \text{mL AgNO}_3 \cdot 2.77$$

Si el porcentaje de cloruro de calcio que se determina por este método, no cumple con las especificaciones señaladas en el inciso 2.8.3.A del capítulo 2 (composición expresada en base anhidra), o si aparece un precipitado suave de hidróxido de magnesio al filtrar un 10% de la solución, agréguese hidróxido de amonio, entonces la muestra debe analizarse con el método siguiente.

3. Este procedimiento se utiliza para la determinación de cloruro de calcio, cloruro de magnesio, cloruro de potasio, cloruro de sodio e hidróxido de calcio.

3.1. Pureza de reactivos.

La pureza de los reactivos debe ser grado analítico a menos que se indique otra cosa.

3.2. Precauciones.

El cloruro de calcio no presenta ningún peligro. El cianuro de potasio es extremadamente peligroso y debe ser manejado con gran cuidado. Las soluciones que contengan cianuro deben mezclarse con ácidos. El ácido clorhídrico concentrado y el hidróxido de sodio son químicos peligrosos, los cuales producen serias quemaduras al contacto. Si ocurre alguna exposición, el área afectada debe lavarse de inmediato con abundante agua y se solicitará tratamiento médico.

3.3. Aparatos.

Espectrofotómetro de absorción atómica.

3.4. Métodos de prueba.

3.4.1. Determinación de cloruro de calcio.

Este método determina el cloruro de calcio en el rango de 70 a 100%.

El calcio en solución alcalina se titula con solución etilendiamintetracética (EDTA) y calceína II modificada como indicador.

El vire (cambio de color) es de verde a púrpura.

El azul de alfa hidroxinaftol es también un indicador apropiado; en este caso el cambio de color será de rojo a azul.

El estroncio y otros cationes no se acomplejan con el cianuro a pH=10, los cuales consumirán el EDTA y afectará la precisión de este método.

3.4.2. Materiales y reactivos.

- Bureta de 50 mL.
- Botella de vidrio a masa constante con tapón esmerilado de 100 mL.
- Solución estándar de cloruro de calcio (1 mL = 0.00832 g de CaCl_2).

Preparar 7.5 g de carbonato de sodio estándar (NaCO_3) colocándolo en un vaso de precipitado de 600 mL; cubrirlo con un vidrio de reloj y agregar lentamente con agitación 15 mL de ácido clorhídrico concentrado (HCl), la adición se efectúa al insertar una pipeta entre el vidrio de reloj y el borde del vaso. Cuando se complete la dilución del carbonato, ebulir con suavidad hasta expulsar el bióxido de carbono. Enfriar y transferir a un matraz volumétrico de 1 L y aforar.

- Solución estándar de EDTA (0.1 M).

Se disuelve 37.22 g de EDTA en agua destilada. Se transfiere a un matraz volumétrico de 1 L. Aforar y mezclar. Se estandariza como sigue:

Transferir una alícuota de 50 mL de la solución estándar de cloruro de calcio (1 mL = 0.00832 g de CaCl_2) a un matraz erlenmeyer de 500 mL; diluir hasta

200 mL con agua destilada. Se procede como en el inciso 3.5.5; calcular el CaCl_2 equivalente de la solución de EDTA como sigue:

$$\text{Eq. CaCl}_2 \text{ g/mL} = \frac{0.416}{A}$$

Donde:

A = mL de solución EDTA necesarias para la titulación de CaCl_2 .

0.416 = Factor químico.

- Ácido clorhídrico (1:3).
Mezclar un volumen de ácido clorhídrico concentrado y 3 volúmenes de agua.
- Solución de hidroxilamina-ácido clorhídrico ($\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$) al 10%.
Disolver 10 g de hidroxilamina en 90 mL de agua destilada.
- Azul de alfa hidroxinaftol (indicador).
- Calceína modificada (indicador).
- Cianuro de potasio (KCN).
- Solución de hidróxido de sodio (80 g/1000 mL).
Disolver 80 g de hidróxido de sodio (NaOH) en 300 mL de agua caliente.
Enfriar y llevar a un volumen final de 1000 mL.
- Azúcar granulada.

3.4.3. Procedimiento.

Se colocan 100 g de la muestra en un matraz volumétrico de 1000 mL, se lavan con agua y se agregan después 10 mL de ácido clorhídrico (HCl, 1:3), se agita para disolver la muestra. Se enfría a temperatura ambiente y se lleva a un volumen final de 1000 mL (solución "A") Se toma una alícuota de 25 mL de esta solución y se colocan en un matraz volumétrico de 500 mL, llevándose a dicho volumen (solución "B"). A continuación, se toma una alícuota de 20 mL de la solución "B" y se coloca en un matraz volumétrico de 500 mL llevándose a dicho volumen (solución "C").

Se toma una alícuota de 100 mL de la solución "B" o "C", se diluye con agua destilada a 200 mL. Agregar en el siguiente orden: 10 mL de hidroxilamina en solución, 3 g de azúcar (agitar hasta disolver), 40 mL de solución de NaOH, 0.1 g

de KCN y alrededor de 0.2 g de calceína. Titular con EDTA 0.1 M en solución hasta vire de verde a púrpura.

Nota 1. Si se utiliza el indicador azul de alfa hidroxinaftol, se agregan 0.4 g y la solución titulada vira a azul al punto final.

3.4.4. Cálculos.

Se calcula la concentración de cloruro de calcio como sigue:

$$\% \text{CaCl}_2 = 100 \cdot \frac{A \cdot B}{C} - D$$

Donde:

A = EDTA en solución requerida para la titulación (mL).

B = Cloruro de calcio (CaCl_2) equivalente de la solución de EDTA (g/mL).

C = Masa de la muestra en la alícuota utilizada.

D = Porcentaje de hidróxido de calcio (CaOH_2) expresado como cloruro de calcio (véase factor en 3.6.4).

3.4.5. Informe.

Reportar el porcentaje de cloruro de calcio (CaCl_2) con un decimal de aproximación. Duplicar las determinaciones hasta que la diferencia no sea mayor de 0.3% (el nivel de confianza es de 95%).

3.5. Cloruro de magnesio, potasio y sodio.

3.5.1. Objetivo.

Este método cubre la determinación de los cloruros de magnesio, potasio y sodio en los rangos normalmente encontrados en el cloruro de calcio tipo I y II.

3.5.2. Principio.

Una solución de la muestra es aspirada en la flama de aire-acetileno de un aparato de absorción atómica. La absorción de una línea de resonancia del espectro de cada catión es medida y comparada con la respuesta que da el aparato con soluciones de calibración de los mismos elementos. Las líneas recomendadas son:

Mg - 2852, K - 7664, Na - 5889

El rango de concentración puede ser seleccionado hasta que corresponda con el rango óptimo del empleado en el aparato.

Rangos de concentración muy altos o muy bajos pueden ser requeridos por instrumentos y con diferentes fuentes luminosas.

Nota 2. Los elementos presentes normalmente en el CaCl_2 no interfieren en esta determinación.

3.5.3. Aparatos.

Espectrofotómetro de absorción atómica.

3.5.4. Materiales y reactivos.

- Solución de cloruro de calcio (CaCl_2) (véase 3.4.2).
- Acido clorhídrico (1:3) (véase 3.4.2).
- Solución estándar de cloruro de magnesio (MgCl_2 : 1 mL = 0.050 mg de MgCl_2).

Disolver 0.128 g de magnesio metálico al 99.9% en 50 mL de HCl (1:3) en un vaso de precipitados de 250 mL cubierto.

Calentar suavemente si es necesario para completar la disolución. Enfriar y transferir a un matraz volumétrico de 1000 mL. Aforar con agua destilada y mezclar. Tomar con pipeta de 10 mL de esta solución y pasar a un matraz volumétrico de 100 mL; aforar y mezclar.

- Solución estándar de KCl (1 mL = 0.300 mg KCl).

Disolver 0.300 g de KCl en agua y aforar a 1000 mL en un matraz volumétrico.

- Solución estándar de NaCl (1 mL = 0.100 mg de NaCl).

Disolver 1.0 g de NaCl en agua y aforar a 1000 mL en un matraz volumétrico.

Transferir con pipeta 10 mL de esta solución a un matraz volumétrico de 100 mL; aforar con agua y mezclar.

3.5.5. Procedimiento.

Tomar una alícuota de 10 mL de la solución preparada para tipo I (véase 3.4.2) o tipo II en un matraz volumétrico de 100 mL, aforar y mezclar.

En 5 matraces volumétricos de 100 mL, colocar en orden 2, 4, 6, 8 y 10 mL de cada solución estándar y 5 mL de CaCl_2 . Aforar con agua y mezclar.

Preparar una solución de calibración "cero"; colocar 5 mL de solución de CaCl_2 en un matraz volumétrico de 100 mL y aforar con agua.

Colocar los parámetros del instrumento a los valores recomendados por el fabricante. Seleccionar la longitud de onda apropiada para el elemento a ser determinado y si es apropiado, ajustar para obtener la respuesta máxima. Optimizar la alimentación de combustible y aire con ajustes en el quemador, mientras se aspira una solución de calibración. Cuando el instrumento se ha operado lo suficiente para lograr estabilidad, se ajusta la lectura a 0% de absorbancia (% A) ó 100% de transmitancia (% T) con agua. Aspirar y registrar las lecturas de las muestras estándar con una breve aspiración de agua entre cada una de ellas. Repita el proceso alternando la muestra con el estándar, ajustando al cero, entre corridas si es necesario.

3.5.6. Cálculos.

Se realiza un promedio de la solución de calibración con las lecturas hechas (expresado en unidades de absorbancia). Se prepara una curva de calibración, graficando los valores corregidos de absorbancia para las soluciones de calibración contra los microgramos del compuesto, en la solución muestra de la curva de calibración.

Calcular el porcentaje del compuesto como sigue:

$$\% \text{ Compuesto} = \frac{A}{B \cdot 10^4}$$

Donde:

A = Microgramos del compuesto en 100 mL de la solución muestra.

B = Gramos de la muestra en 100 mL de la solución muestra.

El porcentaje de KCl se expresa como el porcentaje de NaCl = % KCl · 0.7839.

El porcentaje de cloruros alcalinos como NaCl = % NaCl + % KCl.

3.5.7. Informe.

Informar el porcentaje de $MgCl_2$ con aproximación de 0.01%. Se realizan duplicados para verificar que el promedio es aceptable dentro del 0.01% (con un nivel de confianza de 95%).

Informar el porcentaje de KCl con aproximación de 0.01%. Se hacen duplicados para verificar que el promedio de los dos está dentro del 0.12% (con nivel de confianza del 95%).

Informar el porcentaje de NaCl con aproximación de 0.01%. Se hacen duplicados para verificar que el promedio de los dos está dentro del 0.05%, (con nivel de confianza del 95%).

Informar el porcentaje de cloruros alcalinos con aproximación de 0.01%. Se hacen duplicados para verificar que el promedio está dentro del 0.12% (con nivel de confianza del 95%).

3.6. Hidróxido de Calcio $Ca(OH)_2$.

El método determina el hidróxido de calcio en el rango de 0.01 a 1.0%.

3.6.1. Principio.

La muestra se disuelve en agua y se titula con ácido clorhídrico con fenolftaleína hasta el punto final.

3.6.2. Reactivos.

- Ácido clorhídrico estándar (0.1 N).

Medir 8.3 mL de HCl concentrado (densidad = 1.19) en una probeta y transferir a un matraz volumétrico de 1000 mL, aforar con agua y mezclar. Almacenar en un recipiente de vidrio bien cerrado; estandarizar con carbonato de sodio primario ($NaCO_3$) que se seca previamente a 250 °C por 4 h. Titular hasta el cambio de color, debido a que el rojo de metilo no se agrega en el calentamiento. Calcular la normalidad de HCl como sigue:

$$A = \frac{B}{0.053 \cdot C}$$

Donde:

A = Normalidad de HCl.

B = Gramos de NaCO₃ empleados.

C = Mililitros de HCl consumidos.

0.053 = Factor químico.

- Solución indicadora de fenolftaleína (10 g/1000 mL).

Disolver 1 g de fenolftaleína en 100 mL de etanol (95%).

3.6.3. Procedimiento.

Disolver 10.0 g de la muestra en 25 mL de agua en un matraz erlenmeyer; agitar y disolver. Enfriar y agregar una gota de fenolftaleína y titular con HCl (0.1 N) hasta que el color rosa brillante desaparezca o se opaque.

3.6.4. Cálculos.

Calcular el porcentaje de Ca(OH)₂, "C", como sigue:

$$C = \frac{0.037 \cdot M \cdot H}{G} \cdot 100$$

Donde:

M = Mililitros de HCl requeridos para la titulación de la muestra.

H = Normalidad del HCl.

G = Gramos de la muestra.

0.037 = Factor químico.

Convertir "C" a porcentaje de CaCl₂ (C') como sigue:

$$C' = 1.4978 \cdot P$$

Donde:

P = Porcentaje de hidróxido de calcio.

1.4978 = Factor químico.

3.6.5. Informe.

Informar el porcentaje de Ca(OH)₂ con aproximación de 0.01%. Se hacen duplicados para verificar que el promedio está dentro del 0.01% (el nivel de confianza es de 95%).

Anexo 4.

Método de prueba para aditivos inclusores de aire.

(En base a la Norma NMX-C-200-1978).

Objetivo y campo de aplicación.

Esta Norma establece las especificaciones que deben cumplir los materiales propuestos para usarse como aditivos inclusores de aire al añadirse a mezclas de concreto.

Definiciones.

a) Concreto de referencia o concreto testigo.

Es aquel que se toma como punto de comparación y que contiene el aditivo de referencia, elaborado de acuerdo con los párrafos 1.3 y 1.5

b) Aditivo inclusor de aire.

Es un producto sintético o natural, que cuando se añade al concreto antes o durante su mezclado, desarrolla dentro del mismo un sistema disperso de burbujas de aire, de volumen especificado.

Método de prueba.

Estas pruebas se basan en estipulaciones arbitrarias que permiten la normalización de la prueba en los laboratorios y no se pretende que reproduzcan las condiciones reales de trabajo.

1. Proporcionamiento de las mezclas de concreto.

1.1. Contenido de cemento.

El contenido de cemento para las mezclas debe ser de $310 \pm 5 \text{ kg/m}^3$ de concreto.

El cemento debe reunir los requisitos de la Norma NMX-C-1 vigente (cemento Portland).

1.2. Contenido de agregados.

La primera mezcla de prueba debe contener agregado grueso en la proporción señalada en la Tabla 14 para el tamaño máximo del agregado y el módulo de finura de la arena que se va a usar.

Los agregados finos y gruesos deben cumplir con los requisitos de la Norma NMX-C-111 vigente (Agregados para concreto), excepto que la granulometría debe cumplir con los requisitos señalados en las Tablas 15 y 16.

1.3. Aditivo de referencia.

El aditivo de referencia que se use en la mezcla de concreto testigo debe ser resina Vinsol neutralizada.

La neutralización puede llevarse a cabo tratando 100 partes de la resina con 9 a 15 partes en peso de NaOH 1 N. La relación de agua al resinato (resina + NaOH) no debe exceder de 12 ± 1 en peso.

1.4. Materiales para pruebas para usos específicos.

Cuando se desee probar un aditivo inclusor de aire para usarse en un trabajo específico, el cemento y los agregados deben ser representativos de los productos para usarse en dicha obra, y las mezclas de concreto deben diseñarse con el contenido de cemento especificado en la obra. Si el tamaño máximo del agregado grueso es mayor de 25 mm la mezcla de concreto debe cribarse sobre una malla de 25 mm antes de fabricarse los especímenes de prueba.

1.5. Contenido de aire.

El contenido de aire en el cálculo del proporcionamiento de estas mezclas debe ser 5.5%, excepto cuando el aditivo bajo prueba se use en trabajos específicos (ver párrafo 1.4.), en este caso el contenido de aire que se use en el proporcionamiento seleccionado debe ser el promedio del intervalo permitido en el trabajo.

1.6. Contenido de agua.

El contenido de agua debe ajustarse para obtener un revenimiento de 5 a 8 cm. La trabajabilidad de la mezcla de concreto debe ser apropiada para la consolidación manual y la mezcla debe tener el mínimo de agua posible. Estas condiciones se alcanzan con ajuste final de la relación entre los agregados finos y el total de agregados, en la cantidad total de agregados, o en ambos, manteniendo el rendimiento volumétrico y el revenimiento dentro de los límites requeridos.

1.7. Condiciones.

Las mezclas de concreto deben prepararse con el aditivo bajo prueba y con el aditivo de referencia. Los aditivos se añaden en las cantidades necesarias para producir el contenido de aire seleccionado de acuerdo con el párrafo 1.5 con una tolerancia de $\pm 0.5\%$ del volumen de concreto.

El aditivo debe ser incorporado al concreto de acuerdo con las indicaciones del fabricante. Los efectos del aditivo sobre el tiempo de fraguado y sobre el consumo de agua del concreto, pueden variar según la etapa en que se añadan a la mezcladora y según la secuencia del mezclado.

2. Preparación, pesado y mezclado de los materiales.

Todos los materiales deben prepararse, pesarse (determinación de su masa) y mezclarse de acuerdo a la Norma NMX-C-159 vigente (Método de elaboración y curado en el laboratorio de especímenes de concreto).

El concreto debe mezclarse durante 2 min después de que todos los materiales se hayan introducido en la mezcladora, dejándose reposar en ésta 3 min, se remezcla durante 1 min y se descarga.

3. Preparación de los especímenes de prueba.

3.1. El número de especímenes para las pruebas del concreto fresco y endurecido, las edades de prueba, la condición del concreto que ha de fabricarse, se indican en la Tabla 27.

Los especímenes se deben fabricar de 3 revolturas separadas cuando menos. En un día dado, se debe hacer como mínimo, un espécimen para cada prueba y edad de prueba, por cada condición del concreto; excepto para las pruebas de resistencia a la congelación y deshielo, para las cuales se deben hacer por lo menos 2 especímenes por cada condición del concreto. La preparación de todos los especímenes debe completarse en 3 días de mezclado.

Prueba	Características del concreto	Condición del concreto	Edad de prueba	Número de especímenes
Revenimiento	Fresco	Referencia	-	3
		Prueba		3
Contenido de aire	Fresco	Referencia	-	3
		Prueba		3
Sangrado	Fresco	Referencia	-	3
		Prueba		3
Tiempo de fraguado	Fresco	Referencia	-	3
		Prueba		3
Resistencia a la compresión	Endurecido	Referencia	3, 7 y 28 días, 6 meses, 1 año, para las dos condiciones	15
		Prueba		15
Resistencia a la flexión	Endurecido	Referencia	3, 7 y 28 días, 6 meses, 1 año, para las dos condiciones	15
		Prueba		15
Resistencia a la congelación y deshielo	Endurecido	Referencia	14 días para las dos condiciones	6
		Prueba		6
Variación de longitud	Endurecido	Referencia	28 días para las dos condiciones	3
		Prueba		3

Tabla 27. Tipo y número mínimo de especímenes y pruebas.

3.2. Inspección visual de los especímenes.

Cada grupo de especímenes que representan una prueba determinada o una edad de prueba dada, incluyendo pruebas de concreto fresco, se deben examinar visualmente antes, durante y después de la prueba y desecharse el espécimen o especímenes defectuosos, incluyendo el resultado de la prueba. De ocurrir esto, deberá repetirse el o los especímenes y pruebas eliminados.

El resultado de la prueba debe ser el promedio de los resultados de las pruebas individuales de los especímenes probados no rechazados en la inspección visual.

3.3. Procedimiento de elaboración de especímenes.

La preparación de los especímenes para las pruebas de resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y resistencia a la congelación y deshielo debe cumplir con los requisitos indicados en la Norma NMX-C-159 vigente, excepto que los prismas para la resistencia a la congelación y deshielo deben ser mayores de 7.5 cm de ancho y menores de 12.5 cm de altura, ni menores de 41 cm de longitud.

La preparación de los especímenes para la variación de la longitud se indica en la Norma NMX-C-173 vigente (Determinación de la variación en longitud de probetas del mortero de cemento y de concreto endurecidos). El período de curado incluyendo el período en los moldes debe ser 14 días.

4. Determinaciones en las mezclas de concreto fresco.

4.1. Revenimiento.

Se debe utilizar el método indicado en la Norma NMX-C-156 vigente (Determinación del revenimiento del concreto fresco).

4.2. Contenido de aire.

Se debe utilizar el método indicado en la Norma NMX-C-157 vigente (Determinación del contenido de aire del concreto fresco por el método de presión). Si se usan agregados ligeros bajo los lineamientos del párrafo 1.4, úsese el método de la Norma NMX-C-158 vigente (Determinación del contenido de aire del concreto fresco por el método volumétrico).

4.3. Sangrado.

Se debe utilizar el método indicado en la Norma NMX-C-153 vigente (Método de prueba para la determinación del sangrado en pasta de cemento y en mortero).

4.4. Tiempo de fraguado.

Se debe utilizar el método indicado en la Norma NMX-C-177 vigente (Determinación del tiempo de fraguado de mezclas de concreto mediante la resistencia a la penetración).

5. Determinaciones en el concreto endurecido.

5.1. Resistencia a la compresión.

Se debe utilizar el método indicado en la Norma NMX-C-83, y reportarse como porcentaje empleando la fórmula siguiente:

$$\% R_c = \frac{R_p}{R_t} \cdot 100$$

Donde:

R_c = Resistencia relativa a la compresión del concreto con aditivo.

R_p = Es la resistencia a la compresión promedio de los especímenes con aditivo bajo prueba a una edad de prueba dada.

R_t = Es la resistencia a la compresión promedio de los especímenes con el aditivo de referencia, a una edad de prueba dada.

5.2. Resistencia a la flexión.

Se debe utilizar el método indicado en la Norma NMX-C-191; y reportarse como porcentaje empleando la fórmula siguiente:

$$\% R_f = \frac{R_p}{R_t} \cdot 100$$

Donde:

R_f = Resistencia relativa a la flexión del concreto con aditivo.

R_p = Es la resistencia a la flexión promedio de los especímenes con aditivos bajo prueba a una edad de prueba dada.

R_t = Es la resistencia a la flexión promedio de los especímenes con el aditivo de referencia, a una edad de prueba dada.

5.3. Resistencia a la congelación y deshielo.

Se debe utilizar el método indicado en la Norma NMX-C-205 vigente (Determinación de la resistencia a la congelación y al deshielo del concreto).

5.4. Variación de la longitud.

Se debe utilizar el método indicado en la Norma NMX-C-173 vigente.

Anexo 5.

Método de prueba para la determinación de la resistencia del concreto a la congelación-deshielo acelerados.

(En base a la Norma NMX-C-205-1979).

Objetivo y campo de aplicación.

Esta Norma establece dos procedimientos para la determinación de la resistencia de probetas de concreto a ciclos acelerados, repetidos, de congelación y deshielo en laboratorio, pudiendo someterse el material a cualquiera de ellos.

- A. Congelación y deshielo acelerados en agua.
- B. Congelación en aire y deshielo en agua, acelerados.

Ambos procedimientos tienen por objeto determinar los efectos de las variaciones en las propiedades del concreto, sobre la resistencia del mismo a los ciclos de congelación deshielo especificados en el procedimiento particular.

Ninguno de los dos procedimientos pretende proporcionar cuantitativamente la durabilidad que pueda esperarse de un tipo específico de concreto.

1. Aparatos y equipo.

1.1. Aparato para la congelación y deshielo, que consiste de:

- a) Una o varias cámaras en las que las probetas pueden someterse a los ciclos de congelación y deshielo que se especifican en la Norma del producto correspondiente.
- b) Un equipo de refrigeración y calentamiento.
- c) Controles para producir continua y automáticamente ciclos reproducibles a la temperatura especificada. En caso de que el equipo no opere automáticamente, se deben tomar las precauciones necesarias para que sea operado manualmente durante las 24 h o para que se guarden las probetas en condiciones de congelación, mientras el equipo no está en operación.

El aparato debe quedar arreglado adecuadamente para cada procedimiento.

1.1.1. Para el procedimiento "A".

Cada probeta debe quedar completamente rodeada por 3 mm de agua durante todo el tiempo de la prueba, además deberá ser colocada en el fondo de un recipiente adecuado, de tal manera que el calor del medio intercambiador no se transmita directamente a través del fondo del recipiente, a toda el área de la parte inferior de la probeta y que quede sujeta a condiciones sustancialmente diferentes de las del resto de ella. Se ha encontrado adecuado para éste propósito, colocar en el fondo del recipiente una rejilla plana de alambre delgado de 3.2 mm o un bloque de 13 a 16 mm de espesor de madera tratada con parafina.

1.1.2. Para el procedimiento "B".

Cada probeta debe estar completamente rodeada de aire durante la fase de congelación y de agua durante la fase de deshielo. En este procedimiento no es recomendable que las probetas se mantengan dentro de los recipientes. Los soportes en los cuales descansan las probetas deben ser de tal forma, que éstos no entren en contacto con toda la superficie del lado soportado o en el fondo de la probeta, siendo así las condiciones sustancialmente diferentes de las impuestas al resto de la probeta. Se ha encontrado adecuado para éste propósito, el uso de rejillas relativamente abiertas, varillas o perfiles de metal, siempre y cuando el medio intercambiador de calor pueda circular en la dirección del eje longitudinal de las varillas o perfiles.

La temperatura del medio intercambiador de calor debe ser uniforme en toda la cámara, con una tolerancia de $\pm 3.3^{\circ}\text{C}$, en cualquier momento y en cualquier punto de la superficie de cualquier recipiente que contenga la probeta en el procedimiento "A" o sobre la superficie de cualquier probeta para el "B", excepto durante la transición entre la congelación y el deshielo.

1.2. Equipo de medición de la temperatura.

Debe consistir de termómetros, termómetros de resistencia o termopares, capaces de medir la temperatura en varios puntos dentro de la cámara de prueba y en el centro de las probetas de control, con una aproximación de $\pm 1^{\circ}\text{C}$.

1.3. Aparato para pruebas dinámicas.

Debe cumplir con lo especificado en la Norma NMX-C-89 vigente (Determinación de las frecuencias fundamentales transversales, longitudinales y torsionales de especímenes de concreto).

1.4. Balanza.

Con capacidad aproximada del 50% superior al peso (masa) de las probetas y con exactitud de por lo menos 4.5 g en la amplitud de $\pm 10\%$ del peso (masa) de las probetas.

1.5. Tanque de control de temperatura.

Debe estar equipado para mantener con dispositivos adecuados, la temperatura de las probetas que se encuentran sumergidas en agua, de tal manera que cuando se saquen del tanque y se prueben a la frecuencia fundamental transversal, las probetas estén dentro del intervalo de temperatura de 3 a 8°C.

La cámara de prueba del aparato de congelación y deshielo se puede aprovechar, interrumpiendo su funcionamiento al final del ciclo de deshielo, para mantener las probetas dentro de ella siempre y cuando se cumpla con el requisito de que las probetas se prueben, para la frecuencia fundamental transversal, dentro de los límites de temperatura antes señalados.

2. Ciclos de congelación y deshielo.

De acuerdo a los procedimientos "A" y "B" para el ciclo de congelación y deshielo, se deben efectuar mediciones de temperatura, tanto en las probetas de control de un concreto similar como en las probetas bajo prueba, en las que en todas ellas se hayan embebido dispositivos adecuados para medir la temperatura. Se deben cambiar frecuentemente de posición las probetas de control, de tal forma que puedan indicar las variaciones máximas de temperatura en diferentes lugares de la cámara.

Ciclo nominal de congelación y deshielo para ambos procedimientos.

Este consiste en bajar alternativamente la temperatura de las probetas de 4.5°C a -18°C y elevarla de -18°C a 4.5°C en más de 2 h y menos de 4 h. Para el procedimiento

"A" se deben emplear en el deshielo más del 25% del tiempo y para el procedimiento "B", más del 20%. Al final del período de enfriamiento las temperaturas en el centro de las probetas deben ser $-18^{\circ}\text{C} \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ y al final del período de calentamiento la temperatura debe ser de $4.5^{\circ}\text{C} \pm 1.5^{\circ}\text{C}$, procurando que las probetas nunca alcancen una temperatura inferior a -19.5°C ni mayor de 6°C .

El tiempo requerido para que la temperatura en el centro de cualquier probeta aislada pueda reducirse de 3°C a -16°C , debe ser mayor de la duración del período de enfriamiento; el tiempo requerido para que la temperatura en el centro de cualquier probeta aislada se eleve de -16°C a 3°C debe ser mayor que la mitad de la duración del período de calentamiento. Para probetas que deben ser comparadas una con otra, el tiempo requerido para cambiar la temperatura en el centro de cualquiera de las probetas de 2°C a -12°C , debe diferir menos de un sexto de la duración del período de enfriamiento, a partir del tiempo requerido para cualquier probeta y el tiempo para cambiar la temperatura en el centro de cualquiera de las probetas de -12°C a 2°C , debe diferir menos de una tercera parte de la duración del período de calentamiento, a partir del tiempo requerido para cualquier probeta.

En muchos casos, las condiciones de tiempo y temperatura uniforme pueden controlarse convenientemente manteniendo la cantidad de probetas en el equipo durante todo el tiempo. En el caso de que no pueda disponerse de una cantidad de probetas igual a la capacidad de la cámara, pueden usarse probetas simuladas para llenar los espacios vacíos.

Este procedimiento también ayuda a mantener un nivel constante de solución en la probeta y en el tanque.

En el caso de tener probetas de concreto compuestas de diversos materiales o con propiedades térmicas diferentes, es aconsejable que tales probetas se prueben independientemente, haciéndole al equipo los ajustes necesarios.

La diferencia de temperatura entre el centro de la probeta y su superficie, en ningún momento debe exceder de 28°C .

El período de transición entre las fases de congelación y deshielo del ciclo no debe exceder de 10 min, excepto cuando las probetas sean probadas de acuerdo con el inciso 5.

3. Preparación de las probetas.

Las probetas que se usan en esta prueba deben ser de forma prismática, elaboradas y curadas de acuerdo con la Norma NMX-C-159 vigente (Elaboración y curado en laboratorio de especímenes de concreto). Se recomienda el uso de probetas no menores de 76 mm de grueso ni mayores de 137 mm de ancho y no menores de 360 mm ni mayores de 406 mm de longitud. Estas probetas pueden ser también corazones o prismas cortados de concreto endurecido. Si se usa este tipo de probeta no debe dejarse secar a condiciones de humedad menores que la estructura de la cual se han extraído. Esto se puede lograr envolviéndola en plástico u otro medio adecuado.

Para esta prueba las probetas se guardan en agua saturada de cal desde el momento que se saquen de los moldes hasta el comienzo de la prueba de congelación y deshielo. Todas las probetas que se vayan a comparar unas con otras inicialmente deben ser de las mismas dimensiones nominales.

4. Procedimiento.

Inmediatamente después del período de curado, el cual a menos que se especifique otra cosa debe ser de 14 días, se inician las pruebas de congelación y deshielo, colocando las probetas en el aparato al iniciarse la fase de deshielo del ciclo. Las probetas se deben sacar del aparato en condiciones de deshielo a intervalos que no excedan de 36 ciclos de exposición a los ciclos de congelación y deshielo, se deben probar para determinar la frecuencia fundamental transversal a una temperatura de 3 a 8°C; se pesan y se regresan al aparato

En caso de que se sepa por anticipado que las probetas se puedan deteriorar rápidamente, se deben probar por frecuencia fundamental transversal a intervalos que no excedan de 10 ciclos. Para asegurarse que las probetas están completamente descongeladas y a su temperatura especificada, se colocan en el tanque de control de

temperatura o se mantienen hasta el final del ciclo de deshielo en la cámara de congelación y deshielo, por un tiempo suficiente para que alcancen la temperatura especificada. Se deben proteger las probetas contra la pérdida de humedad mientras se encuentren fuera de la cámara de congelación y deshielo.

Cuando se sacan las probetas de la cámara se enjuagan con agua limpia y se regresan a la misma combinando su posición al azar. Se continúan las pruebas hasta que las probetas se hayan sometido a 300 ciclos o hasta que el módulo de elasticidad relativo de cada probeta alcance el 60% del módulo inicial, lo que ocurra primero. No es recomendable que las probetas se continúen probando cuando el módulo de elasticidad se encuentre abajo del 50%. Esto es importante para cuando se utilice el procedimiento A, debido al peligro de que se deterioren los recipientes para las probetas. Cuando se saque una probeta debido a una falla, se deben reemplazar por una probeta simulada para el resto de la prueba.

Se recomienda que la frecuencia fundamental longitudinal, se determine inicialmente como una comprobación acerca de la precisión en la determinación de la frecuencia fundamental transversal y que la frecuencia fundamental torsional se determine inicialmente como una comprobación acerca de la precisión en la determinación de la frecuencia fundamental transversal y que la frecuencia fundamental torsional se determine inicial y periódicamente como una comprobación del valor de la relación de Poisson. Cuando se tenga que interrumpir la secuencia de los ciclos de congelación y deshielo, las probetas se deben guardar en condiciones de congelación. Si por falla del equipo u otras razones es necesario interrumpir los ciclos durante un período establecido se deben mantener las probetas en condiciones de congelación en los recipientes y rodeados de hielo, si es posible.

Si esto no es posible, se cubrirán y sellarán en condición húmeda con material impermeable que prevenga la deshidratación, guardándolas en un refrigerador, o un cuarto frío, manteniendo la temperatura a $-18^{\circ}\text{C} \pm 1.5^{\circ}\text{C}$. Cuando se utiliza el procedimiento B, se debe proceder como en el párrafo anterior. En general esto es indeseable para las probetas que deben permanecer en condición de deshielo por más

de 2 ciclos, pero se pueden permitir períodos más largos, si esto ocurre sólo una o dos veces durante la prueba.

5. Cálculos y resultados.

5.1. Módulo de elasticidad dinámico relativo.

El valor numérico del módulo de elasticidad dinámico se debe calcular como sigue:

$$P_c = \frac{n_1^2}{n^2} \cdot 100$$

Donde:

P_c = Módulo dinámico relativo de elasticidad después de "C" ciclos de congelación y deshielo, en por ciento.

n = Frecuencia transversal fundamental a cero ciclos de congelación y deshielo.

n_1 = Frecuencia transversal después de "C" ciclos de congelación y deshielo.

Este cálculo del módulo dinámico de elasticidad relativo está basado en la suposición de que el peso y las dimensiones de las probetas permanecerán constantes durante la prueba. Esta suposición no es verdadera en muchos casos debido a la desintegración de las probetas. Sin embargo si la prueba se hace para comparar los módulos dinámicos relativos de probetas diferentes o de distintos proporcionamientos de concreto, P_c , tal como se define es adecuada para el propósito.

5.2. Factor de durabilidad.

Se calcula como sigue:

$$FD = \frac{P N}{M}$$

Donde:

FD = Factor de durabilidad de las probetas.

P = Módulo dinámico de elasticidad relativo a N ciclos, en por ciento.

N = Número de ciclos a los cuales P alcanza el valor mínimo especificado para discontinuar la prueba o el número de ciclos a los cuales deben darse por terminada la exposición, cualquiera que sea menor.

M = Número de ciclos especificados a los cuales se termina la prueba.

6. Informe.

El reporte debe incluir lo siguiente:

a) Propiedades de la mezcla de concreto.

- Tipo y proporcionamiento de cemento, agregado fino y agregado grueso, incluyendo el tamaño máximo y granulometría (o designación del índice de granulometría) y relación agua-cemento (A/C).
- Clase y proporcionamiento de cualquier aditivo usado.
- Contenido de aire en el concreto fresco.
- Peso unitario del concreto fresco.
- Consistencia del concreto fresco.
- Contenido de aire en el concreto endurecido (compacidad).

b) Procedencia de las probetas.

Si las probetas se cortaron de concreto endurecido, se deben anotar sus dimensiones, forma y ubicación de la probeta en la estructura, así como cualquier otra información de importancia.

c) Procedimiento de mezclado, moldeado y curado.

Se debe informar la diferencia en los procedimientos normales de mezclado, moldeado y curado de los prescritos en la sección 2.

d) Tipo de procedimiento de congelación y deshielo empleado (A o B).

e) Características de las probetas de concreto, elaboradas y curadas en el laboratorio.

- Dimensión de las probetas a cero ciclos de congelación y deshielo.
- Peso de las probetas a cero ciclos de congelación y deshielo.
- Cualquier defecto que se presente en cada probeta a cero ciclos de congelación y deshielo.

f) Resultados.

En el informe deben indicarse los valores que a continuación se mencionan:

- Valores del factor de durabilidad de cada probeta y factor de durabilidad promedio de cada grupo de probetas similares y el valor especificado para el

módulo dinámico relativo mínimo y número máximo de ciclos. Se recomienda que el resultado de la probeta y el promedio de resultados de cada grupo de probetas similares, se grafiquen los valores del módulo de elasticidad relativo en función del tiempo, expresado como número de ciclos de congelación y deshielo.

- Los valores de pérdida o aumento de peso de cada probeta y el valor promedio de cada grupo de probetas similar.
- Cualquier defecto en cada probeta apreciado durante la prueba, y el número del ciclo en que aparece dicho defecto.

Anexo 6.

Método de prueba para la determinación del contenido de aire del concreto fresco por el método de presión.

(En base a la Norma NMX-C-157-1987).

Objetivo y campo de aplicación.

Esta Norma establece los procedimientos para determinar el contenido de aire en el concreto fresco, por la observación del cambio de volumen al efectuarse un cambio de presión. El método es adecuado para ser empleado con agregados relativamente densos (con masa específica de 2.10).

1. Existen dos alternativas para determinar el contenido de aire por presión que son:

1.1. Método "A".

1.1.1. Aparatos y equipo.

a) Medidor de aire incluido tipo "A", del tipo de presión.

Compuesto con recipiente de metal, diseñado para resistir altas presiones en unión con la tapa, la cual debe ser cónica y tener su superficie interior inclinada aproximadamente 20% con respecto de la horizontal. Provista en su centro de un tubo de vidrio graduado, debe presentar una escala en unidades que directamente representen porcentaje de volúmenes de aire incluido en el concreto. Cada unidad indica 1% de aire incluido. El tubo de vidrio graduado debe estar provisto en su extremo de un tapón con cierre hermético, una válvula de aire y una llave de purga en la pared cónica de la tapa; el sistema de ajuste con el recipiente debe ser tal que no permita pérdida de agua o presión.

b) Dispositivo de calibración.

Consiste de un cilindro metálico cuyo volumen interior sea de 3 a 6% del volumen del recipiente, un resorte u otro dispositivo para sujetar el cilindro calibrador, un embudo y el tubo dispersor que elimine la posibilidad de introducir aire al llenar de agua el dispositivo.

c) Bomba de mano.

1.1.3. Procedimiento.

Se coloca el recipiente sin su tapa en una superficie rígida horizontal y se introduce en el cilindro de calibración al centro y boca abajo. Se coloca sobre este último el resorte y se cubre cuidadosamente con la tapa cónica, en tal forma que el resorte presione al cilindro de calibración, sin que pierda su posición vertical. Logrado lo anterior, se cierra con las mordazas cuidando que no existan fugas entre la junta del recipiente y la tapa. Una vez cerrado el dispositivo, se llena con agua hasta aproximadamente la marca cero del tubo graduado. Se cierra el tubo de vidrio con el tapón y se inyecta aire a presión mediante la bomba, hasta más o menos la marca 6 del tubo graduado. Se inclina el dispositivo unos 30° de su posición vertical y se usa el fondo del recipiente como centro; se le hace describir círculos con el extremo del tubo, al mismo tiempo se golpea suavemente con el martillo, tanto la tapa como el recipiente mismo, para desprender el aire que pueda haberse retenido por adherencia a las paredes interiores del dispositivo. Si durante esta operación se nota alguna fuga de aire por cambio de posición del dispositivo, deben considerarse nulos todos los pasos de operación llevados hasta el momento. Se vuelve el dispositivo a su posición vertical y deja escaparse poco a poco el aire, y cuando sea nula la presión, se quita el tapón superior del tubo graduado, se agrega agua hasta superar al cero; en estas condiciones se afora a cero con el menisco inferior del agua, se abre poco a poco la válvula de purga de la tapa cónica, se cierra nuevamente y se aplica una presión suficiente para que el agua descienda en la columna graduada, hasta la marca que coincida con el valor de la constante de calibración previamente calculada, más 0.1 a 0.2% de aire.

Con toda precaución y lentamente, se hace escapar el aire por la válvula de inyección para abatir la presión, lo necesario, a fin de que el menisco inferior del agua coincida exactamente con el factor de calibración. La presión que indique en este momento el manómetro, es la presión "P" necesaria de prueba.

1.1.4. Procedimiento de prueba.

Con una muestra representativa del concreto fresco que se va a probar, se llena el recipiente en tres capas iguales; se compactan con la varilla cada una de ellas,

25 veces consecutivas. Se quita el exceso de concreto con una regla metálica, y se enrasa cuidadosamente a los bordes superiores del recipiente.

Se limpia perfectamente el borde del recipiente; se coloca la tapa cónica sobre el recipiente, cuidando que la junta de hule adherida a ellas esté en su sitio y limpia; se colocan las abrazaderas y se ajustan las mariposas opuestas; una vez hecho esto, se aprieta lo suficiente para evitar fugas a través de las juntas. Se quita la tapa superior de la columna de vidrio y mediante el embudo y el tubo dispersor, se vierte agua hasta llenar la mitad de la altura del tubo dispersor, se vierte agua hasta llenar la mitad de la altura del tubo con escala de vidrio; se retira el embudo y el tubo dispersor, se pone la mano sobre la parte superior de la columna y se apoya el dispositivo sobre su base; se inclina 30° de la vertical y se describen círculos llevando con la mano el tubo con la escala de vidrio, al mismo tiempo se golpea ligeramente la pared cónica de la tapa, para hacer salir las burbujas de aire que hayan quedado adheridas a la superficie interior.

Se regresa el dispositivo a su posición vertical y mediante el embudo y el tubo dispersor, se llena con agua el tubo con escala de vidrio hasta un poco más arriba de la marca, mediante la válvula de purga, se hace descender el nivel del agua hasta que coincida el menisco inferior exactamente con la marca "cero". Se coloca la tapa del tubo con escala de vidrio y se ajusta lo suficiente para que no haya fuga. Se conecta la bomba y uniformemente se levanta la presión hasta la correspondiente para el valor "P" previamente obtenido en la calibración del dispositivo, más 1.428 MPa (14.56 kg/cm^2). Se expulsa el aire hasta hacer coincidir la aguja del manómetro exactamente con el valor de "P"; lo anterior se logra al quitar la bomba y hacer presión en la válvula de inyección de aire, para abrirla ligeramente. Con la aguja del manómetro marcando el valor de "P", se hace la lectura de la columna de agua sobre la escala de vidrio graduado, a la altura del menisco inferior, con aproximación de 0.05. Este valor es correspondiente a " h_1 " y debe registrarse. Se afloja la tapa del tubo con la escala de vidrio, para bajar poco a poco la presión, hasta llegar a la marca de 7.14 MPa (72.82 kg/cm^2) y en el transcurso de un minuto se quita completamente la tapa. Se

hace una nueva lectura del nivel del agua, sobre el tubo de vidrio graduado, con aproximación de 0.05. Este valor corresponde a "h₂".

$$A_1 = h_1 - h_2$$

1.1.5. Factor de corrección por el agregado.

Las partículas del agregado son generalmente porosas y por lo tanto, capaces de retener aire; este aire "A₂" en la determinación del contenido aparente, queda incluido en "A₁", por lo que hay que determinarlo y restarlo al valor "A₁".

En distintos recipientes y por espacio de 5 min se ponen en inmersión en agua a los agregados que se vayan a estudiar, en proporción igual de arena y grava a la que tendrán para formar el concreto. A los 5 min se retira el exceso de agua; al estar el recipiente a una tercera parte de su volumen con agua, se colocan una capa de arena y una de grava hasta llenarlo, para que mantengan la relación grava-arena dada. Una vez lleno el recipiente, se golpea la pared del mismo, se elimina la espuma y el agua sobrante, se coloca la tapa observando los aspectos marcados en el procedimiento.

El factor de corrección del agregado "A₂" será igual a:

$$A_2 = h_1 - h_2$$

Se repiten las operaciones desde la colocación de la tapa del tubo con escala de vidrio, la operación de la lectura del nivel del agua inclusive, sin restablecer el aforo en "cero", hasta que dos determinaciones consecutivas de aire incluido aparente, no varíen en más de 0.2%.

1.2. Método "B".

1.2.1. Aparatos y equipo.

a) El medidor de aire tipo B.

Consiste de un recipiente y una cubierta de ensamble de acuerdo a los requerimientos indicados posteriormente. El principio de operación de este medidor consiste en igualar un volumen conocido de aire con una presión conocida en una cámara de aire cerrada, con un volumen desconocido de aire en la muestra de concreto; la carátula del medidor de presión (manómetro) se

calibra en términos de porcentaje de aire para la presión observada, la cual se iguala.

El recipiente medidor debe ser cilíndrico, de acero u otro material rígido no reactivo con la pasta de cemento, con un diámetro de 0.75 y 1.25 m de la altura y una capacidad mínima de 6 L. Debe tener una ceja construida para resistir la presión entre el recipiente y la tapa. La superficie interior del recipiente, la de los bordes, las cejas y otros componentes deben tener un acabado maquinado y pulido. El recipiente y la cubierta deben ser lo suficientemente rígidos para limitar el factor de expansión D de la cubierta del aparato en no más del 0.1% del contenido de aire indicado en la escala bajo operaciones normales de presión.

b) Cubierta.

La cubierta debe ser de acero u otro metal no reactivo con la pasta de cemento, debe tener cejas construidas para resistir la presión entre el recipiente y la tapa. La superficie interior del recipiente y la de los bordes, las cejas y otros componentes deben tener un acabado maquinado y pulido. Debe tener en el contorno de la superficie interior un espacio sobre el nivel del recipiente que permita contener alguna cantidad de aire y debe ser lo suficientemente rígido para limitar el factor de expansión D que se menciona anteriormente. La cubierta debe ajustarse para medir directamente el contenido de aire. La carátula del manómetro debe calibrarse para medir porcentajes de aire, las graduaciones deben ser para un rango de contenido de aire hasta 8% mínimo, con aproximación de 0.1%.

La cubierta debe estar provista de las siguientes válvulas:

"A". Válvula de purga de agua.

"B". Válvula para escape de aire del recipiente.

"C". Válvula de escape de aire en la cámara de presión, para ajuste del manómetro.

"D". Válvula para paso de aire de la cámara de presión al recipiente (válvula principal de aire).

Debe estar provista de un sistema de mordazas apropiado para fijarse al recipiente y que selle las cejas de la cubierta herméticamente en él. Para asegurar la hermeticidad puede emplearse una bomba manual.

c) Vaso de calibración.

Es un vaso con un volumen equivalente al porcentaje aproximado de aire en el concreto que debe ser probado; si es menor, es posible verificar la calibración del medidor como un porcentaje de aire del concreto por probar, al llenar el vaso tantas veces como sea necesario.

d) Accesorios apropiados de acuerdo al diseño del equipo.

1.2.2. Calibración del dispositivo.

Se llena el recipiente con agua y se determina la masa requerida con una aproximación de 0.1% de la masa del recipiente. Se desliza un cristal, cuidadosamente sobre las cejas del mismo de tal manera que se asegure que el recipiente está lleno. Se coloca un poco de grasa en las cejas para asegurar un cierre hermético del recipiente. Se atornilla el tubo corto recto en la parte interior de la válvula "A". Se coloca la cubierta en el recipiente con las válvulas abiertas. Se agrega agua con una jeringa o perilla a través de la válvula "A" con el tubo de extensión hasta que todo el aire se expulse a través de la válvula "B" que debe encontrarse abierta.

Se bombea un poco de aire hasta la línea inicial de presión; se dejan algunos segundos para que el aire comprimido se enfríe a la temperatura normal y se estabilice el manómetro hasta la línea de presión inicial, bombeando o expulsando según sea necesario. Cerrar las válvulas A y B, presionar inmediatamente con el pulgar la válvula D dejando escapar aire hacia el recipiente. Esperar unos segundos hasta que se estabilice el manómetro; si todo el aire se ha eliminado y la línea de presión inicial se ha seleccionado correctamente, el manómetro marcará 0%. Si dos o más pruebas muestran una variación consistente de 0% en el resultado, se cambia la línea de presión inicial para compensar esta variación. Usar la línea de presión establecida para pruebas subsecuentes. Conectar el tubo curvo a la conexión exterior de la válvula "A";

abrir dicha válvula y presionar la válvula D para introducir aire al recipiente, con lo que se controla el nivel de flujo para llenar el vaso calibrador. Al estar lleno éste, en el manómetro debe leerse el porcentaje de aire para el cual esté diseñado el vaso calibrador (ver figuras 1 y 2).

Si dos o más pruebas muestran que el manómetro da lecturas diferentes en más de 0.2%, se ajusta nuevamente la lectura inicial y se vuelve a calibrar. Cuando en el manómetro se lea correctamente el porcentaje deseado, puede verificarse de la misma manera para múltiplos del porcentaje anterior.

1.2.3. Determinación del factor de corrección por el agregado.

Procedimiento.

Se coloca el agregado con su humedad en el recipiente como se indica en el inciso 1.1.5; se quita la espuma y se mantiene el agregado dentro del recipiente aproximadamente una hora, antes de proceder con la determinación del contenido de aire como se describe en el inciso 1.2.4. Se elimina de la manera descrita en la calibración un volumen de agua equivalente al volumen de aire que pueda contener una muestra de concreto normal de un tamaño igual al volumen del recipiente, se completa la prueba como se describe en el inciso 1.2.4. El factor de calibración del agregado G es igual a la lectura del contenido de aire menos el volumen de agua eliminada del recipiente, expresada en porcentaje de volumen del recipiente.

1.2.4. Procedimiento para determinar el contenido de aire.

Procedimiento de prueba.

Con una muestra representativa del concreto fresco que va a probarse, se llena el recipiente en 3 capas iguales, se compacta con la varilla cada una de ellas, 25 veces consecutivas. Se quita el exceso de concreto con una regla metálica y se enrasan cuidadosamente los bordes superiores del recipiente; se limpian las cejas del recipiente para que la cubierta al colocarse, tenga un cierre hermético. Se monta el aparato, se cierra la válvula de aire y se abre la válvula de purga para inyectar agua. Se inyecta agua por la válvula "A" hasta que salga por la

válvula "B". Golpear suavemente el recipiente hasta que todo el aire se expulse del mismo.

Se cierra la válvula de purga "A" y se bombea aire dentro de la cámara hasta que el indicador esté en la posición inicial de presión. Esperar unos segundos para que se enfríe el aire comprimido hasta la temperatura normal y estabilice a la presión inicial por bombeo o purga de aire necesario. Cerrar ambas válvulas y se abre la válvula de aire "D" entre la cámara y el recipiente. Se golpean los lados del recipiente rápidamente para distribuir las presiones internas. Se espera hasta que se estabilice el indicador; esta lectura representa el contenido en por ciento de aire en el concreto (A_1). Es necesario liberar la presión abriendo las válvulas A y B antes de quitar la cubierta.

1.2.5. Cálculos.

a) Contenido de aire de la muestra probada.

Se calcula el contenido de aire del concreto colocado en el recipiente de medición como sigue:

$$A_s = A_1 - G$$

Donde:

A_s = Contenido de aire de la muestra probada en %.

A_1 = Contenido de aire aparente de la muestra probada en %

G = Factor de corrección del agregado en %.

b) Contenido de aire para concreto con tamaño máximo de agregado mayor de 38.1 mm.

Cuando la muestra probada represente una porción de la mezcla que se obtiene de un cribado para remover las partículas de agregado mayores que 38.1 mm en el concreto, el contenido de aire debe ser calculado como sigue

$$A_t = \frac{100 \cdot A_s \cdot V_c}{100 \cdot V_t - A_s \cdot V_a}$$

Donde:

A_t = Contenido de aire de la mezcla.

V_c = Volumen aparente de ingredientes de la mezcla que pasan la criba G 38.1 (1.5 in) y aire libre, determinados de la masa de la mezcla original expresados en m^3 .

V_t = Volumen aparente de todos los ingredientes de la mezcla en m^3 .

V_a = Volumen absoluto de agregado grueso de la mezcla retenido en la criba G 38.1, expresado en m^3 .

c) Contenido de aire en el mortero (material que pasa la criba M 4.75).

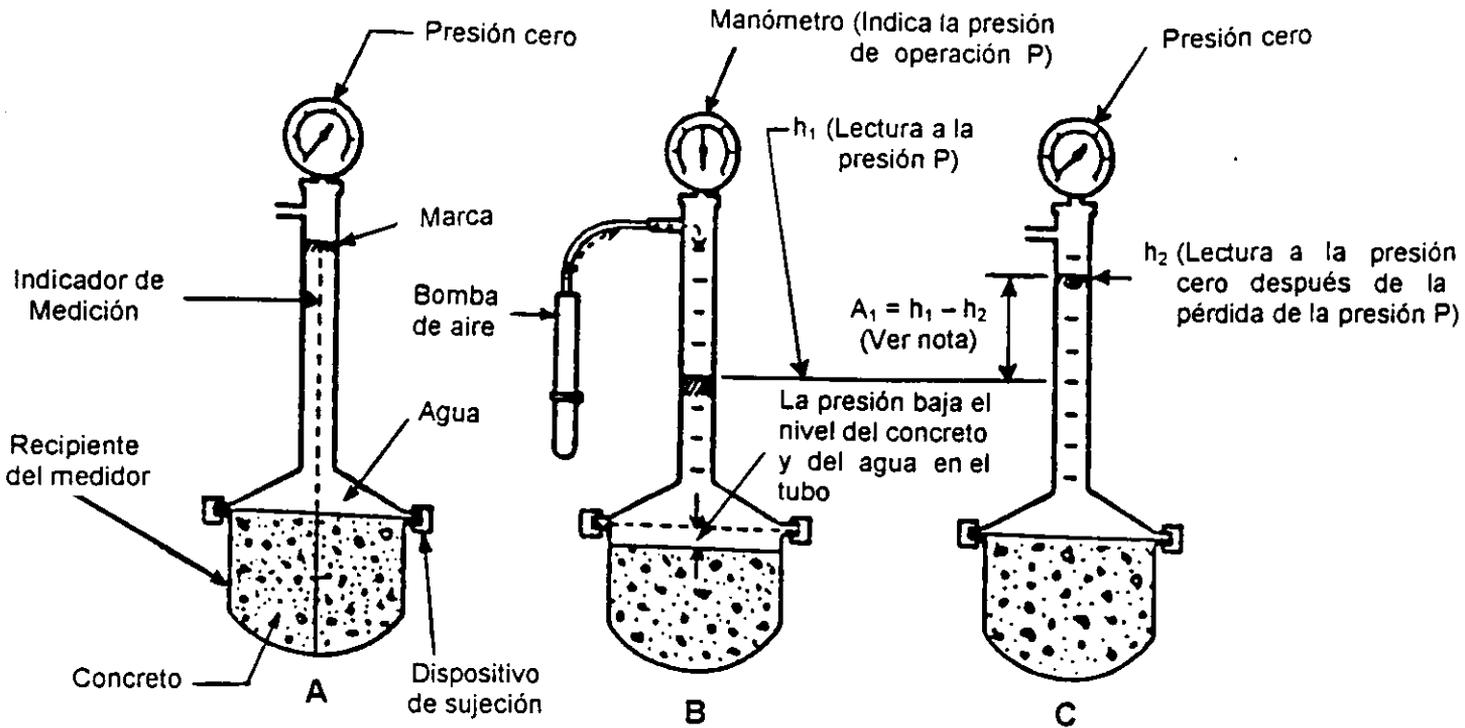
Cuando se desea conocer el contenido de aire de la fracción del mortero de la mezcla se calcula como sigue:

$$A_m = \frac{100 \cdot A_s \cdot V_c}{100 \cdot V_m + A_s (V_c - V_m)}$$

Donde:

A_m = Contenido de aire del mortero en por ciento.

V_m = Volumen aparente de los ingredientes del mortero en la mezcla y aire libre, expresado en m^3 (material que pasa la criba M 4.75).



NOTA: $A_1 = h_1 - h_2$, cuando el recipiente contiene concreto como se muestra en la figura. Cuando el recipiente contiene únicamente agregado y agua, $G = h_1 - h_2$ (Factor de corrección del agregado). $A = A_1 - G$ (Contenido del aire incluido del concreto)

Figura 1. Medidor tipo A

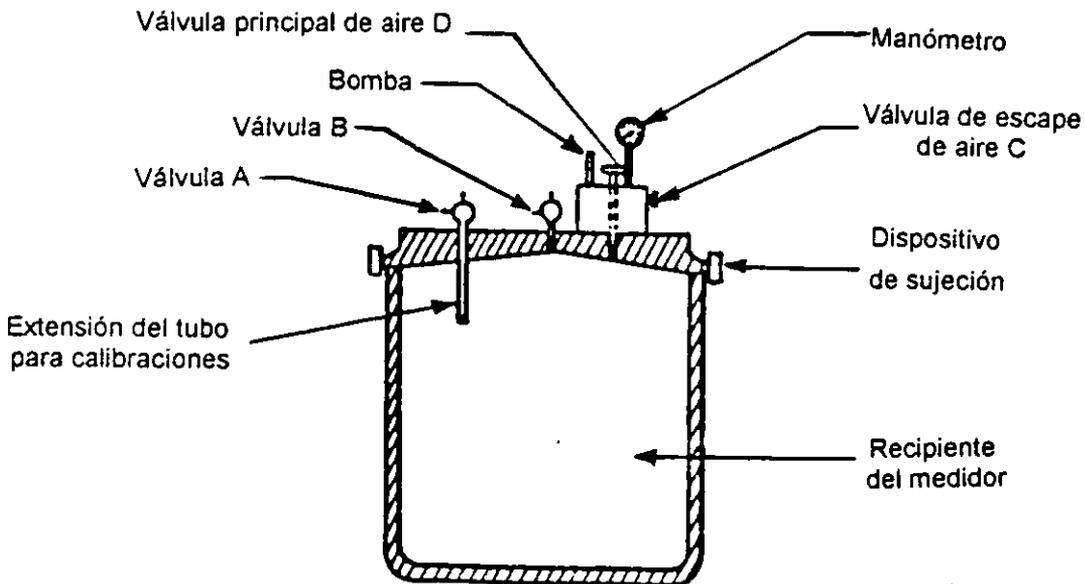


Figura 2. Medidor tipo B

Anexo 7.

Método de prueba para la determinación de la actividad puzolánica.

(En base a la Norma NMX-C-273-1978).

Objetivo.

Esta Norma establece el método para probar la actividad puzolánica que pueda desarrollar el material que se pretende mezclar con un clinker o cemento determinado.

Principio del método.

En esta prueba se valora la actividad puzolánica de un material, comparando la resistencia a la compresión de un mortero elaborado con cemento Portland y otro en el que se sustituye parte de este cemento, por el material a probar.

Materiales.

- a) Cemento Portland o el clinker molido con que se vaya a usar la puzolana.
- b) Yeso natural molido a una finura tal, que pase del 90 a 95% a través de la malla DGN 130 M (abertura de 0.044 mm).
- c) Arena graduada, tal como se especifica en el punto 4.1 de la Norma NMX-C-61 en vigor (determinación de la resistencia a la compresión de cementantes hidráulicos).

Aparatos y equipo.

- a) Molino de Bolas.
Debe ser de porcelana, con tapa hermética, conteniendo una carga de bolas de porcelana o de guijarros naturales de sílice. Dicho molino con su carga de bolas y el material a moler, se hace girar a velocidad constante.
- b) Aparatos y equipos necesarios para la prueba de resistencia a la compresión de cementantes hidráulicos tal como lo establece el método de prueba NMX-C-61 vigente.
- c) Gabinete con regulador para mantener una temperatura constante de $38^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.
- d) Cuarto Húmedo a $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

1. Preparación de los cubos.

1.1. Preparación del material.

El material que se está probando, se seca hasta tener masa (peso) constante a una temperatura de $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, se deja enfriar y se muele en el molino de bolas a una finura que no más del 98% pase a través de la malla DGN 130 M (abertura 0.044 mm).

1.2. Se prepara un molde de 3 cubos con el mortero testigo, siguiendo el método indicado en el Norma NMX-C-61 vigente, usando las siguientes proporciones:

250.0 g	Cemento Portland.
687.5 g	Arena graduada.
121.0 mL	Agua.

1.3. Se prepara un molde de 3 cubos con el mortero de prueba, siguiendo el método indicado en la Norma NMX-C-61 en vigor, usando las siguientes proporciones:

175.0 g	Cemento Portland mas yeso.
75.0 g	Material a probar.
687.5 g	Arena graduada.
	Agua necesaria para una fluidez de $110 \pm 5\%$ (consúltese la Norma NMX-C-61 vigente).

1.4. Cuando el uso que se pretenda dar a la puzolana, sea para producir cemento puzolánico, se agrega el yeso necesario para obtener el SO_3 óptimo en el cemento puzolánico, siempre que no exceda al límite máximo establecido por la Norma NMX-C-2 vigente.

1.5. Almacenamiento de los cubos.

Después de llenar los moldes respectivos con el mortero testigo y con el mortero a probar, se colocan en el cuarto húmedo a $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ durante un período entre 20 a 24 h, protegiendo la superficie de los cubos contra el agua de goteo del cuarto húmedo. Se sacan los cubos de los moldes y se colocan en frascos de vidrio de boca ancha, con tapa, con una capacidad para guardar cuando menos 3 cubos. Se

sella la tapa de los frascos con parafina, se almacenan durante 27 días a $38^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Se dejan enfriar los cubos sin sacarlos de los frascos de vidrio a $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ antes de probarlos.

2. Procedimiento.

Se determina la resistencia a la compresión, a la edad de 28 días en los 3 cubos de los morteros a probar conforme al método establecido en la Norma NMX-C-61 vigente.

3. Cálculo del índice de actividad puzolánica.

Se calcula el índice de actividad puzolánica como sigue:

$$\text{Índice de actividad puzolánica} = \frac{A}{B} \cdot 100$$

Donde:

A = Promedio de la resistencia a la compresión de los cubos con el mortero a probar, en kg/cm^2 .

B = Promedio de la resistencia a la compresión de los cubos con el mortero testigo en kg/cm^2 .

4. Informe.

El reporte debe incluir los siguientes datos:

- a) Identificación completa de la muestra.
- b) Resultado del índice de actividad puzolánica (párrafo 3).
- c) Circunstancias que puedan afectar los resultados.
- d) Fecha de la prueba.

Anexo 8.

Métodos de prueba para ceniza volante o puzolana natural empleada como aditivo mineral en concreto de cemento Portland.

(En base a la Norma NMX-C-179).

Objetivo y campo de aplicación.

Esta Norma establece los métodos de muestreo y de prueba para cenizas volantes y puzolanas crudas o calcinadas para emplearse como aditivos minerales en concreto de cemento Portland.

1. Métodos de prueba.

1.1. Pruebas químicas.

1.1.1. Reactivos.

Los reactivos que se utilizan en los métodos de prueba que aparecen en esta Norma deben ser de grado reactivo.

Cada vez que se mencione el agua, ésta debe ser destilada. La concentración de los reactivos se especifica en cada uno de los métodos.

1.1.2. Aparatos y equipo.

Los aparatos y equipo que se requieran para las pruebas se especifican en cada uno de los métodos.

1.1.3. Contenido de humedad.

1.1.3.1. Seque una muestra, previamente pesada a masa constante en una estufa a una temperatura de 105 a 110°C.

1.1.3.2. Cálculos.

Calcule el porcentaje de humedad con aproximación de 0.1 como sigue:

$$\text{Contenido de humedad, en \%} = \frac{A}{B} \cdot 100$$

Donde:

A = Pérdida de masa durante el secado.

B = Masa original de la muestra.

1.1.4. Pérdida por ignición.

1.1.4.1. La pérdida por ignición se hace siguiendo al método de prueba de la Norma NMX-C-131 vigente (determinación del análisis químico de cementantes hidráulicos) sección 35 a 37 ó 38 a 40, excepto que el material que quede de la determinación del contenido de humedad debe calcinarse a masa constante en un crisol de porcelana o arcilla sin tapa, no de platino, a $750^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$.

1.1.4.2. Cálculos.

Se calcula el porcentaje de pérdida por ignición, con aproximación de 0.1 como sigue:

$$\text{Pérdida por ignición, en \%} = \frac{A}{B} \cdot 100$$

Donde:

A = Pérdida de masa entre 105°C y $750^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$.

B = Masa de muestra libre de humedad.

1.1.5. Dióxido de silicio.

1.1.5.1. Determine la masa de una muestra de material calcinada equivalente a 0.5 g de muestra libre de humedad antes de la ignición, calculada como sigue:

$$\text{Masa de la muestra calcinada, en g} = \frac{0.5 (100 - \text{Pérdida por ignición en \%})}{100}$$

1.1.5.2. Mezcle completamente la muestra con 4 a 6 g de carbonato de sodio (Na_2CO_3), moliéndolos en un mortero de ágata. Coloque una capa delgada de Na_2CO_3 en el fondo de un crisol de platino de 20 a 30 cm^3 de capacidad, añada la mezcla de Na_2CO_3 a la muestra, cubra la mezcla con una capa delgada de Na_2CO_3 . Coloque el crisol cubierto sobre una flama moderadamente baja e incremente la flama gradualmente a un máximo aproximadamente de 1100°C . Mantenga esta temperatura hasta que la masa se licúe (cerca de 45 min). Retire el quemador, haga a un lado la cubierta del crisol de tal manera que el contenido fundido se pegue sobre los lados y solidifique en forma de una costra delgada. Asiente el crisol, cúbralo por un lado y enfríe.

1.1.5.3. Lave la parte exterior del crisol y colóquelo de lado en una cápsula de 300 mL con cerca de su tercera parte de agua. Caliente la cápsula y agite hasta que se desintegre la costra y pueda removerse fácilmente. Por medio de una varilla de vidrio, saque el crisol del líquido, lavándolo completamente con agua. Lave la cubierta y el crisol con ácido clorhídrico diluido (HCl, 1 + 3); añada los lavados a la cápsula. Muy lentamente y con mucha precaución añada 20 mL de HCl concentrado (masa específica 1.19) a la cápsula cubierta. Se retira la cubierta y se lava. Si hay partículas aglutinadas, la fusión está incompleta y debe ser repetida, usando una nueva muestra y una cantidad más grande de Na_2CO_3 .

1.1.5.4. Complete la determinación de SiO_2 de acuerdo con las secciones (10) a (11) del método de prueba de la Norma NMX-C-131 vigente, comenzando con la instrucción del párrafo 10.1 de esta sección: "Evapore la solución a sequedad sobre un baño de vapor".

1.1.6. Óxidos de fierro y aluminio.

1.1.6.1. Procedimiento.

Trate el filtrado que se reserva de la determinación de dióxido de silicio para la determinación del grupo del hidróxido de amonio, principalmente óxido de aluminio (Al_2O_3) y óxido de fierro (Fe_2O_3), siguiendo el procedimiento siguiente:

Al filtrado, que debe tener un volumen de unos 200 mL, se le agrega HCl si es necesario para tener un total de 10 a 15 mL de ácido. Agregar unas cuantas gotas de indicador de rojo de metilo y calentar hasta ebullición. Luego trate con NH_4OH (1 + 1) gota a gota hasta que el color de la solución se vuelva francamente amarilla y luego una gota en exceso. Caliente la solución que contiene el precipitado a ebullición y hervirla unos 50 a 60 s. En el caso de dificultades por una ebullición violenta se sustituye el tiempo de ebullición por un periodo de 10 min en un baño de vapor o en una parrilla cuya temperatura sea semejante a la del baño de vapor. Deje que el precipitado se asiente (no más de 5 min) y se filtra usando papel filtro de textura media. Lave de 2 a

4 veces si el precipitado es grande con solución de nitrato de amonio (NH_4NO_3) de 20 g/L.

Guarde el filtrado y transfiera el precipitado y el papel filtro al mismo vaso en el cual se hizo la primera precipitación. Disuelva el precipitado con HCl (1 + 2). Agite de modo que se macere bien el papel y diluya hasta 100 mL. Vuelva a precipitar los hidróxidos como se indicó antes. Filtre la solución caliente de NH_4NO_3 (20 g/L), combine los filtrados y las aguas de lavado con el filtrado que se guardó antes y consérvelo para la determinación del contenido de CaO.

Ponga el precipitado en un crisol de platino tarado, caliente lentamente hasta que se carbonice el papel y finalmente calcine a masa constante entre 1000 y 1100°C, teniendo cuidado de que no se verifique la reducción de los óxidos y determinar la masa como óxidos del grupo hidróxido de amonio (óxido de hierro + óxido de aluminio).

Haga una determinación en blanco siguiendo el mismo procedimiento empleando la misma cantidad de reactivos y corrija los resultados obtenidos en el análisis correspondiente.

Calcule el porcentaje de los óxidos de hierro y aluminio con aproximación de 0.01 multiplicando la masa en gramos de la suma de los óxidos por 200 (100 dividido entre la masa de la muestra usada 0.5 g).

1.1.7. Óxido de calcio.

1.1.7.1. Procedimiento.

Acidifique los filtrados combinados que se han obtenido en la precipitación del grupo de hidróxido de amonio.

Neutralice con HCl empleando rojo de metilo y hágalos justamente ácidos y añada 6 gotas de HCl en exceso. Evapore a un volumen aproximado de 100 mL. Añada 40 mL de agua de bromo saturada a la solución caliente e inmediatamente añada NH_4OH hasta que la solución sea francamente alcalina. La adición de 10 mL de NH_4OH , generalmente es suficiente. Para evitar la

sobre ebullición se puede agregar un trocito de papel filtro de 1 mL de área aproximadamente, el cual se fija al fondo del vaso con un agitador de vidrio y así se inicia la precipitación de óxido de manganeso hidratado $\text{MnO} \cdot \text{H}_2\text{O}$.

Hierva la solución durante 5 min o más, asegurándose de que ésta se conserve francamente alcalina. Deje que el precipitado se asiente, filtre usando papel de textura media y lave con agua caliente. Si no aparece inmediatamente el precipitado, deje reposar un período de una hora antes de filtrar. Se desecha todo el dióxido de manganeso que se haya precipitado. Acidifique el filtrado con HCl empleando papel litmus como indicador; hervir hasta que todo el bromo se haya eliminado. Añada 5 mL de HCl; diluya hasta 200 mL, añada unas cuantas gotas de rojo de metilo y 30 mL de una solución caliente de oxalato de amonio (50 g/L), caliente la solución a una temperatura de 70 a 80°C, añada NH_4OH (1 + 1) gota a gota mientras agita hasta que el color cambie de rojo a amarillo. Deje reposar la solución sin calentarla por 60 ± 5 min (no más), agitando de vez en cuando durante los primeros 30 min. Filtre usando papel filtro cerrado y lave el precipitado de 8 a 10 veces con agua caliente, la cantidad total de agua de lavado del vaso y del precipitado no debe exceder de 75 mL. Acidifique el filtrado con HCl y consérvelo para la determinación del MgO.

1.1.7.2. Coloque el vaso en el cual se hizo la precipitación, debajo del embudo, rompa el fondo del papel filtro con el agitador, colocando el agitador en el vaso, y lave el precipitado dentro del vaso por medio de un chorro de agua caliente. Deje caer 10 gotas de H_2SO_4 (1 + 1) alrededor de la orilla superior del papel filtro. Lave el papel 5 veces más con agua caliente. Diluya a 200 mL y añada 10 mL de H_2SO_4 (1 + 1). Caliente la solución a una temperatura justamente debajo de la ebullición y titule inmediatamente con solución de KMnO_4 0.18 N. Continúe la titulación lentamente hasta que el color rosa persista por lo menos 10 s. Añada el papel filtro que contenía el precipitado y macérello. Si desaparece el color rosa continúe la titulación hasta que persista otra vez por lo menos 10 s.

1.1.7.3. Blanco.

Haga una determinación en blanco siguiendo el mismo procedimiento y empleando las mismas cantidades de reactivos y registre los mismos litros de solución de KMnO_4 requeridos para establecer el punto final de la titulación.

1.1.7.4. Cálculos.

Calcule el porcentaje de CaO con aproximación de 0.1 como sigue:

$$\% \text{ CaO} = E (V - B)$$

Donde:

E = Equivalente de CaO de la solución de KMnO_4 en % de CaO/cm^3 basado en 0.5 g de muestra.

V = mL de solución de KMnO_4 requeridos por la muestra.

B = mL de solución de KMnO_4 requeridos para el blanco.

1.1.8. Óxido de magnesio.

1.1.8.1. Procedimiento.

Acidifique los filtrados que se reservan en la determinación de CaO con HCl y concéntrese hasta 250 mL. Enfríe la solución a la temperatura ambiente, añada a esta solución unos 10 mL de solución de fosfato de amonio dibásico $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ (100 g/L), 30 mL de NH_4OH . Agite vigorosamente la solución durante 10 ó 15 minutos más. Deje reposar la solución por lo menos 8 h en una atmósfera fría y luego filtre usando papel cerrado. Lave 5 ó 6 veces con NH_4OH (1 + 20), calcine en un crisol de porcelana, arcilla o platino, primero lentamente hasta que el papel filtro se queme y luego a 1100°C durante 30 a 45 min. Se pasa el residuo como pirofosfato de magnesio ($\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$).

Nota 1. Debe tomarse precaución extrema de la ignición. Puede resultar la reducción del precipitado del fosfato si el carbón está en contacto con él a alta temperatura. También hay el peligro de ocluir carbón en el precipitado si la ignición es muy rápida.

1.1.8.2. Blanco.

Haga una determinación en blanco siguiendo el mismo procedimiento y empleando la misma cantidad de reactivos y corrija el resultado obtenido en el análisis.

1.1.8.3. Cálculos.

Calcule el porcentaje de MgO con aproximación a 0.1 como sigue:

$$\% \text{ MgO} = M \cdot 72.4$$

Donde:

M = Gramos de Mg P₂O₇.

72.4 = Relación molecular de 2MgO a Mg₂P₂O₇ (0.362) dividido entre la masa de la muestra empleada (0.5 g) y multiplicada por 100.

1.1.9. Anhídrido sulfúrico.

1.1.9.1. Procedimiento.

A un gramo de la muestra se le añaden 25 mL de agua destilada, se calienta la mezcla a 71°C y mientras se agita vigorosamente, se añaden 5 mL de HCl. Se continúa agitando durante 15 min. Se diluye la solución a 50 mL y se digiere durante 15 min sin agitar, a una temperatura debajo de la ebullición.

Se filtra y lava el residuo completamente con agua caliente usando un papel filtro de poro abierto doblado dentro de un papel filtro de textura fina. Remueva el R₂O₃ (Al₂O₃ + Fe₂O₃) de acuerdo con el párrafo 1.1.6.1. Acidifique ligeramente el filtrado combinado con HCl, diluya la solución a 250 mL y caliente a ebullición. Añada gota a gota, por medio de una pipeta, 10 mL de cloruro de bario (BaCl₂) (100 g/L), caliente y continúe la ebullición hasta que el precipitado se haya formado completamente. Se digiere la solución durante 12 a 24 h a temperatura justamente debajo de la ebullición. Tenga cuidado de conservar el volumen de la solución entre 225 y 260 mL y añada agua si es necesario. Filtre el precipitado, usando un papel de textura fina (poro cerrado), lave y coloque el papel y su contenido en un crisol de porcelana, arcilla o platino, queme hasta que se consuma lentamente el papel sin que se inflame.

Calcine a $850^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$, enfríe en un desecador y determine la masa del sulfato de bario (BaSO_4).

1.1.9.2. Blanco.

Haga una determinación en blanco siguiendo el procedimiento y usando las mismas cantidades de reactivos, corrija el resultado obtenido en el análisis correspondiente.

1.1.9.3. Cálculos.

Calcule el porcentaje de SO_3 con aproximación de 0.1 g como sigue:

$$\% \text{SO}_3 = 34.3 \cdot W$$

Donde:

W = BaSO_4 en gramos

34.3 = Relación del peso molecular del SO_3 al del BaSO_4 (0.343)
multiplicada por 100.

1.1.10. Alcalis disponibles.

1.1.10.1. Procedimiento.

Mezcle completamente, moliendo juntos en un mortero o una mezcladora mecánica, la muestra e hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{HO})_2$) en porción de 2 1/2 partes de muestra y una parte de hidróxido de calcio en masa. Agregue 7 g de esta mezcla a 10 mL de agua en un recipiente de plástico de 25 mL de capacidad aproximada agitando hasta que la mezcla sea uniforme. Selle el recipiente de plástico y guárdelo a $38^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

1.1.10.2. Abra el recipiente de plástico cuando tenga una edad de 28 días y transfiera el contenido a una cápsula de 250 mL. Rompa y triture la pastilla con la mano de mortero agregando una pequeña cantidad de agua, si es necesario, de tal manera que se forme una lechada uniforme que no contenga grumos. Agregue suficiente agua para obtener un volumen de 200 mL, deje reposar 1 h a temperatura ambiente agitando con cierta frecuencia. Filtre a través de un papel filtro de textura media en un matraz volumétrico de 500 mL. Lave completamente con agua caliente de 8 a 10 veces.

Nota 2. Algunas veces puede ser necesario romper el recipiente de plástico y quitar los fragmentos de plástico de la pastilla sólida. En tales casos debe tenerse cuidado de evitar la pérdida de material y de quitar todo el material sólido de los fragmentos del recipiente. Si la pastilla es muy dura para triturarla en la cacerola puede emplearse un mortero.

1.1.10.3. Neutralice el filtrado con solución diluida de HCl (1 + 3) empleado 1 a 2 gotas de solución indicadora de fenolftaleína, agregue 5 mL de HCl diluido (1 + 3) en exceso. Enfríe la solución a temperatura ambiente y llene el matraz al aforo con agua destilada. Determine la cantidad de óxido de sodio y potasio en la solución empleando el procedimiento fotométrico de flama que aparece en la Norma NMX-C-131, inciso del 41 al 48 (determinación de óxido de sodio y potasio). Cuando en este método aparece la palabra cemento debe sustituirse por puzolana o cenizas volante.

1.1.10.4. Cálculos.

Calcule los resultados como por ciento en masa de la muestra original. Reporte como porcentaje equivalente de óxido de sodio (Na_2O), calculado como sigue:

$$\% \text{ equivalente de } \text{Na}_2\text{O} = \% \text{ Na}_2\text{O} + (0.658 \cdot \% \text{ K}_2\text{O})$$

1.2. Pruebas físicas.

1.2.1. Masa específica.

La determinación debe hacerse de acuerdo al método de prueba de la Norma NMX-C-152 vigente (método de prueba para la determinación del peso específico de cementantes hidráulicos), excepto que se empleen 50 g de la ceniza volante o de puzolana natural en lugar de 60 g de cemento.

1.2.2. Finura.

Retenido en criba F 0.045 por vía húmeda.

Se determina la cantidad de material retenido en la criba F 0.045 por vía húmeda siguiendo el método de prueba de la Norma NMX-C-84 vigente.

1.2.3. Aumento de la contracción por secado de barras de mortero.

1.2.3.1. La preparación de los especímenes de prueba debe hacerse de acuerdo con lo indicado en la Norma NMX-C-173 vigente (determinación de la variación en longitud de las probetas de mortero de cemento y de concreto endurecido), excepto que se deben moldear 3 barras de mortero tanto de la mezcla de control como de la prueba empleando las proporciones siguientes:

Materiales	Mezclas en g	
	De control	De prueba
Cemento Portland	500	500
Ceniza Volante o puzolana natural		125
Arena de Ottawa graduada	1375	1250
Agua	Suficiente para producir una fluidez de 100 a 115% (25 golpes en 15 s).	

El mezclado debe hacerse de acuerdo con la Norma NMX-C-85 vigente (método de mezclado mecánico de pastas y morteros de cementantes hidráulicos).

1.2.3.2. Procedimiento.

Curar y medir las probetas (de control y prueba) de acuerdo con la Norma NMX-C-173 vigente, excepto que el período de curado húmedo (incluyendo el período en los moldes) debe de ser de 7 días y la medida de longitud a la edad de $24 \text{ h} \pm 0.5 \text{ h}$ deben omitirse. Inmediatamente después de la medición al final de los 7 días de curado húmedo, se almacenan las probetas de acuerdo con la Norma NMX-C-131 y después de 28 días de almacenamiento en el aire se mide la longitud de los especímenes de acuerdo con la Norma NMX-C-173.

1.2.3.3. Cálculos y resultados.

La contracción por secado de las barras de mortero, tanto las de control (S_c) como las de prueba (S_p), se calcula como sigue:

$$- \% S = \frac{L_i - L_d}{L_i} \cdot 100$$

Y el aumento de la contracción por secado se calcula como sigue:

$$\text{Aumento de la contracción por secado, en \%} = S_p - S_c$$

Donde:

S = Contracción por secado.

L_i = Longitud de la barra al final del período de curado húmedo.

L_d = Longitud de la barra al final del período de almacenaje en seco.

S_p = Promedio de la contracción por secado de las barras de prueba.

S_c = Promedio de la contracción por secado de las barras de control.

Repórtense los resultados hasta centésimos. Si el promedio de la contracción por secado de las probetas de prueba, se debe anteponer un signo menos al aumento de la contracción por secado del mortero que se está informando.

1.2.4. Sanidad.

Conducir la prueba de sanidad de acuerdo con la Norma NMX-C-62 vigente (método de prueba para determinar la sanidad de cementantes hidráulicos), excepto que las probetas deben moldearse de una pasta compuesta de 25 partes, en masa de ceniza volante o de puzolana natural y de 100 partes en masa de cemento Portland que cumpla con los requisitos de la NMX-C-1 vigente (cemento Portland).

1.2.5. Índice de actividad puzolánica con cal.

1.2.5.1. Prueba de actividad puzolánica.

Para determinar la actividad de la ceniza volante y de la puzolana natural con la cal, deben hacerse probetas de mortero estándar y se prueban a la compresión como sigue:

1.2.5.2. Materiales estándar.

La cal hidratada debe ser hidróxido de calcio de grado reactivo químico; protegida de la acción del anhídrido carbónico del aire (una cal que haya permanecido en un recipiente abierto después de una prueba, no se debe usar para pruebas subsecuentes). Su finura debe ser tal que el residuo en la criba F 0.045 no debe ser mayor del 5% en masa, determinada de acuerdo al método

que se establece en la Norma NMX-C-77 vigente (método de prueba para el análisis granulométrico de agregados para concreto).

La arena debe ser de sílice natural de Ottawa III, que cumplan con los requisitos que aparecen en la Norma NMX-C-61 vigente (determinación de la resistencia a la compresión de cementantes hidráulicos).

1.2.5.3. Proporcionamiento y mezclado.

El mortero debe contener en masa una parte de cal hidratada y 9 partes de arena estándar graduada, más una cantidad de aditivo mineral secado en horno igual al doble de la masa de la cal multiplicada por un factor que se obtiene dividiendo la masa específica del aditivo mineral entre la masa específica de la cal.

La cantidad de agua, medida en mL, debe ser tal que produzca una fluidez de $110 \pm 5\%$ de acuerdo con el procedimiento de la Norma NMX-C-61. Debe hacerse una cantidad suficiente de mortero para fabricar cuando menos 3 probetas cilíndricas de 50 mm de diámetro y 100 mm de altura.

El aditivo mineral y la cal deben ponerse juntos y mezclarse vigorosamente en un recipiente cerrado, durante 2 min. El mortero debe mezclarse de acuerdo con el método de la NMX-C-85, excepto que debe sobreentenderse que, cuando se hace referencia al cemento, ésta debe entenderse como la mezcla ceniza volante, cal o puzolana natural, cal.

1.2.5.4. Moldeo de las probetas.

Los moldes deben ser cilíndricos y tener un diámetro interno de 50 ± 3 mm y una altura de 100 ± 3 mm. Los moldes deben hacerse ya sea de vidrio, plástico o un metal apropiado. Moldear cuando menos 3 probetas por cada muestra de puzolana que se vaya a probar. Llenar cada molde en 4 capas de igual altura, compactando cada capa 25 veces con una varilla de metal de masa igual a 340 g y que tenga una cara plana de 25 mm de diámetro, compacte con la suficiente fuerza para asegurar homogeneidad de la probeta. Inmediatamente después del moldeo de las probetas, se sellan los moldes por soldadura o por otro medio que prevengā la pérdida de humedad.

1.2.5.5. Almacenamiento de las probetas.

Se almacenan las probetas en los moldes, primero a $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ durante $24 \text{ h} \pm 2 \text{ h}$ y luego a $55^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ por 6 días, hasta $4 \text{ h} \pm 0.25 \text{ h}$ antes de probarlas, después se enfrían $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

1.2.5.6. Pruebas.

De media a una hora antes de la prueba se sacan las probetas con cuidado y se cabecean siguiendo el método que se establece en la Norma NMX-C-109 vigente. Mantener las probetas húmedas después de sacarlas del molde, excepto cuando se estén cabeceando. Determinar la resistencia a la compresión de las probetas con una velocidad de carga desde 690 a 3450 kPa ($7 \text{ a } 35 \text{ kg/cm}^2$) por minuto.

Calcular la resistencia a la compresión tomando en cuenta el área de la sección transversal del cilindro.

Informar el promedio de la resistencia a la compresión de las probetas como la resistencia puzolánica, excepto aquellas que difieren en más del 5% del valor promedio de todos los especímenes hechos de la misma muestra, las que no deben tomarse en cuenta para la determinación de la resistencia a la compresión. Si la resistencia a la compresión de más de una probeta, difiere del promedio en más del 15%, debe repetirse la prueba de la resistencia puzolánica.

1.2.6. Índice de actividad puzolánica con cemento Portland.

1.2.6.1. Moldear las pruebas de una mezcla de control y una mezcla de prueba de acuerdo con la Norma NMX-C-61 vigente.

El cemento Portland empleado en la mezcla de control debe cumplir con los requisitos de la Norma NMX-C-1 vigente, debe ser del tipo y si se consigue, la marca del cemento que se va a emplear en la obra. En la mezcla de prueba, reemplazar el 35% del volumen absoluto de la cantidad de cemento empleado en la mezcla de control por un volumen absoluto igual al de la muestra de prueba. Hacer mezclas para 3 cubos como sigue:

1.2.6.1.1. Mezcla de control.

Proporcionamiento:

250 g de cemento Portland.

687.5 g de arena de Ottawa graduada.

"X" mL de agua requerida para dar una fluidez de 100 a 115.

1.2.6.1.2. Mezcla de prueba.

Proporcionamiento:

162.5 g de cemento Portland.

$\frac{87.5 \cdot \text{masa específica de la muestra}}{\text{masa específica del cemento Portland}}$ g de muestra

687.5 g de arena de Ottawa graduada.

"Y" mL de agua requerida para dar una fluidez de 100 a 115.

1.2.6.2. Almacenamiento de las probetas.

Después del moldeo, se colocan las probetas en sus moldes (en las placas, bases) en el cuarto de curado o gabinete a una temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ durante 20 a 24 h.

Mientras están en el cuarto de curado o en el gabinete, proteger la superficie del goteo del agua. Se sacan los moldes del cuarto de curado y se descimbran los cubos.

Colocar los moldes en un recipiente de metal o vidrio que se pueda cerrar herméticamente, se sellan estos recipientes y se guardan a una temperatura de $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ antes de probarlas.

Nota 3. Se puede emplear cualquier recipiente con capacidad para 3 cubos que pueda ser sellado herméticamente por medio de soldadura.

Los recipientes de hoja de metal delgada con dimensiones interiores de 52 x 52 x 160 mm se han encontrado satisfactorios. Frascos de boca ancha de un litro de capacidad, también son satisfactorios si se tiene el cuidado de evitar que se quiebren.

1.2.6.3. Prueba de resistencia a la compresión.

Determinar la resistencia a la compresión de 3 especímenes de la mezcla de control y de la mezcla de prueba a la edad de 28 días.

1.2.6.4. Cálculos.

Calcular el índice de actividad puzolánica con cemento Portland como sigue:

$$\text{Índice} = \frac{A}{B} \cdot 100$$

Donde:

A = Resistencia a la compresión promedio de los cubos de la mezcla de prueba, en kPa.

B = Resistencia a la compresión promedio de los cubos de la mezcla de control, en kPa.

1.2.7. Requerimiento de agua.

1.2.7.1. Calcule el requerimiento de agua para los valores de "X" y "Y" determinados de acuerdo con 1.2.8. como sigue:

$$\text{Requerimiento de agua, \% de control} = \frac{Y}{X} \cdot 100$$

Donde:

Y = Agua requerida para dar una fluidez de 100 a 115 en la mezcla de prueba, en mL.

X = Agua requerida para dar una fluidez de 100 a 115 en la mezcla de control, en mL.

1.2.8. Reactividad con los álcalis del cemento.

1.2.8.1. Reducción de expansión de mortero. Determinese la reducción de expansión de mortero de acuerdo con el método de la Norma NMX-C-292 vigente.

1.2.8.2. Expansión de mortero. Determinese la expansión de mortero de acuerdo con los requisitos de la Norma NMX-C-298 vigente por la mezcla de trabajo.

Anexo 9.

Método de prueba para determinar la efectividad para prevenir la expansión excesiva del concreto debida a la reacción álcali-agregado.

(En base a la Norma NMX-C-298-1980).

Introducción.

Un aditivo mineral que es efectivo para prevenir una expansión excesiva causada por la relación álcali-agregado, no es necesariamente adecuado para usarse como aditivo en el concreto. Debe además cumplir con los requerimientos químicos y físicos de las especificaciones generales de las clases de mezclas minerales a las que pertenezca.

Objetivo.

Esta Norma establece el método para determinar la efectividad de los aditivos minerales para prevenir una expansión excesiva del concreto causada por la reacción entre los agregados y los álcalis en las mezclas de cemento Portland.

Campo de aplicación.

El método es aplicable tal como se indica, como prueba preliminar o selectiva para calcular la efectividad relativa de un número de aditivos diferentes que se consideren que se vayan a usar para prevenir la expansión excesiva debida a la reacción álcali-agregado. Además para evaluar los aditivos propuestos para usarse en una obra particular para prevenir la expansión excesiva debido a la reacción álcali-agregado haciendo prueba en la cantidad y combinación con el cemento o cementos que se van a usar en la obra.

Fundamento

La evaluación está basada en la expansión que se desarrolla en las combinaciones cemento-aditivo en barras de mortero hechas con agregados reactivos (vidrio borosilicato) almacenado bajo condiciones prescritas de prueba.

Materiales y reactivos.

- a) Vidrio borosilicato (81% SiO₂, 13% B₂O₃).

Vidrio borosilicato triturado con la granulometría que aparece en la Tabla 28.

Después de que el vidrio triturado se ha separado de los distintos tamaños, cada uno de ellos se lava sobre la malla de retención para quitar el polvo adherido y las partículas pequeñas. Las porciones retenidas en las mallas, se secan y a menos que se vayan a usar inmediatamente, se guarda individualmente en un recipiente limpio, seco y bien tapado.

Denominación y abertura de las mallas		
Pase en la DGN	Retenido en la DGN	Por ciento en masa
1.6 M (4.76 mm)	2.5 M (2.38 mm)	20
2.5 M (2.38 mm)	5.0 M (1.19 mm)	20
5.0 M (1.19 mm)	10.0 M (0.595 mm)	20
10.0 M (0.595 mm)	20.0 M (0.297 mm)	20
20.0 M (0.297 mm)	40.0 M (0.159 mm)	20

Tabla 28. Requisitos de granulometría del vidrio

Estas mallas deben cumplir con lo especificado en la Norma NMX-B-231 vigente (requisitos de las cribas para clasificación de materiales).

b) Cemento.

Se emplea un cemento de alto contenido de álcalis que cumpla con las especificaciones de la Norma NMX-C-1 vigente (especificaciones para cemento Portland) y que contenga aproximadamente 1% de álcalis totales expresados como óxido de sodio (Na_2O) ($\% \text{Na}_2\text{O} + 0.658\% \text{K}_2\text{O}$) para preparar las barras de mortero para las pruebas preliminares o de selección.

El cemento o los cementos que se vayan a usar en la obra, deben utilizarse en combinaciones con el aditivo o aditivos en la misma proporción en que se vayan a usar en ella para preparar las barras de mortero para la evaluación final.

Aparatos.

Los aparatos que se deben usar se describen en la Norma NMX-C-180 vigente (determinación de la reactividad potencial de los agregados con los álcalis del cemento por medio de barras de mortero).

1. Proporcionamiento y consistencia del mortero.

1.1. Mezcla de control.

Las cantidades de los materiales secos para hacer la mezcla de control deben ser:

Cemento de alto contenido de álcalis.....	400 g.
Agregado de vidrio triturado.....	900 g.

El agregado de vidrio debe hacerse recomblando las proporciones retenidas en las varias mallas en las cantidades que se prescriben en la Tabla 28.

Si no puede conseguirse un cemento con alto contenido de álcalis, 1% de álcalis totales como óxido de Sodio (NaO_2), se puede usar un cemento que cumpla con las especificaciones de la Norma NMX-C-1, siempre que la expansión promedio de las barras de mortero hechas con la mezcla de control sea 0.10% ó más, a los 14 días.

1.2. Mezcla de prueba.

Deberán contener las siguientes cantidades de materiales secos:

- Cemento de alto contenido de álcalis..... 300 g.
- Un peso de aditivo que tenga un volumen absoluto igual al volumen absoluto de 100 g del cemento Portland (100 x el peso específico del aditivo/3.15).
- Agregado de vidrio hecho por la recombación de las porciones retenidas en las mallas de acuerdo con la Tabla No.28..... 900 g.
- Una pequeña cantidad de aditivo y una cantidad proporcionalmente grande de cemento, se puede utilizar si hay evidencia de que, por lo general, esta pequeña cantidad es efectiva para reducir la expansión debida a la reacción álcali-agregado, siempre que el uso de esta cantidad menor, produzca de un modo similar una gran reducción de expansión de la mezcla de prueba comparada con la mezcla de control.

1.3. Mezcla en la obra.

Las cantidades de los materiales que se usan para preparar la mezcla en la obra deben estar de acuerdo con los requerimientos que aparecen en los incisos 1.1 y 1.2, excepto que el cemento o los cementos que se van a usar en la obra, se utilicen en lugar del cemento de alto álcali. También la cantidad de aditivo por volumen

absoluto que se use para reemplazar el cemento debe ser equivalente al que se propone usar en la obra.

1.4. Fluidez.

La cantidad de agua de mezclado medida en mililitros, debe ser tal que produzca una fluidez entre 100 y 115 determinada de acuerdo con el inciso 6.4 de la Norma NMX-C-61 vigente.

2. Temperatura y humedad.

La temperatura de los materiales secos, la del cuarto del moldeo y la del gabinete de humidificación, así como la humedad del laboratorio deben estar de acuerdo con lo especificado en la Norma NMX-C-180 en vigor.

3. Preparación de las probetas.

3.1. Número y dimensiones.

Se elaboran 3 probetas de 25 x 25 x 285 mm con la longitud efectiva medible de 254 ± 2.5 mm de cada carga a cada mezcla de mortero.

Cada grupo de 3 probetas debe representar cada mezcla de prueba o cada mezcla de obra. El mismo día que se elaboran las probetas, se hacen un grupo de 3 probetas de la mezcla de control y se guardan en el mismo recipiente con las probetas de prueba correspondientes. Se deben guardar todas las probetas de un día en el mismo recipiente; y éste no se debe abrir, ni se deben sacar las probetas hasta que hayan pasado 13 días. Se hacen más probetas de prueba o probetas en obra, o ambas. En un día que puedan quedarse en un mismo recipiente con la probetas de la mezcla de control hechas el mismo día, se hacen probetas de control adicionales por cada recipiente de almacenamiento que se use.

3.2. Preparación de los moldes.

Los moldes se preparan de acuerdo con lo especificado en el inciso 4.2 de la Norma NMX-C-180 vigente.

3.3. Mezclado de mortero.

Se mezcla el mortero de acuerdo con lo especificado en el inciso 4.3 de la Norma NMX-C-180 vigente, excepto que el aditivo mezclado con el cemento se agrega al agua.

3.4. Moldeo de probetas.

Las probetas se moldean de acuerdo con lo especificado en la Norma NMX-C-180 vigente, en su inciso 4.5.

4. Procedimiento.

Almacenamiento de las probetas. Las probetas se guardan y se miden de acuerdo con los requerimientos de la Norma NMX-C-180 en vigor, en su inciso 6.

5. Cálculos.

5.1. La reducción de la expansión del mortero se calcula para las pruebas de mezclas con proporciones de acuerdo con los incisos 1.1 y 1.2, que es el resultado del uso de un aditivo como sigue:

$$R_e = \frac{E_c - E_p}{E_p} \cdot 100$$

Donde:

R_e = Reducción de la expansión del mortero, en por ciento.

E_c = Expansión promedio de las barras de mortero de la mezcla de control.

E_p = Expansión promedio de las barras de mortero de la mezcla de prueba.

5.2. Para mezclas de prueba con proporción de acuerdo con el inciso 1.3, se informa la expansión promedio de las barras de mortero con relación a la expansión de la mezcla propuesta para emplearse en la obra. Para indicar una contracción (expansión negativa) debe anteponerse el signo menos al porcentaje de expansión.

6. Informe.

El informe debe incluir lo siguiente:

- a) El tipo de cemento Portland usado y su contenido total de álcalis expresado como óxido de sodio (Na_2O) en por ciento. Si la prueba se aplica a una combinación

cemento-aditivo que se va a usar en un trabajo específico, se debe informar el tipo, marca y lugar de manufactura del cemento.

- b) Si la prueba se aplica a una combinación cemento-aditivo que se va a usar en un trabajo específico, debe informarse el tipo, la marca, el origen, la proporción y la naturaleza del aditivo.
- c) Si las mezclas de control y de la prueba se preparan como se especifica en los incisos 1.1 y 1.2, se debe informar la expansión promedio de las barras de mortero de la mezcla de prueba, con relación al promedio de las barras de control, en por ciento. Además se deberá reportar la reducción de la expansión que resulte del uso del aditivo, en por ciento.
- d) La expansión promedio de las barras de mortero preparadas como se especifica en el inciso 1.3 de las mezclas de trabajo, en por ciento.

7. Concordancia de los resultados.

La concordancia de los resultados puede considerarse satisfactoria si el por ciento de expansión de cada probeta hecha con la misma proporción cemento-agregado, queda dentro de 0.003 de la media; excepto si el promedio de expansión excede en 0.020%. Puede considerarse satisfactoria si la expansión, en por ciento, de cada probeta moldeada con la misma preparación cemento-agregado está dentro del 15% de la media.

8. Interpretación de resultados.

8.1. Es conveniente separar la información sobre este proceso y el significado de los resultados obtenidos que se hayan publicado antes de que la prueba se emplee como base para obtener conclusiones y dar recomendaciones concernientes a las propiedades y uso de los aditivos o de las preparaciones cemento-aditivo para el concreto.

8.2. Un valor mínimo de 75% para la reducción de la expansión del mortero (R_e) se ha seleccionado como especificación, como base de aceptación de las puzolanas propuestas para usarse en combinación con un cemento de alto contenido de álcalis y un agregado que se conozca ser potencialmente perjudicial como álcali reactivo.

8.3. En esta prueba las probetas de mortero preparadas a partir de una mezcla de control, preparadas según el inciso 1.1, con un cemento que contenga más del 0.60% de álcalis expresados como óxido de sodio, se espera que se expandan más de 0.020% a los 14 días.

Consecuentemente, para evitar la preparación de una mezcla de cemento y aditivo para una obra comparable a aquella con un cemento de alto contenido de álcalis, un valor máximo de 0.020% a los 14 días debe especificarse para la expansión promedio de barras de mortero, calculadas según el inciso 5.2.

Anexo 10.

Método de Prueba para aditivos Expansores y Estabilizadores de Volumen del Concreto.

(En base a la Norma NMX-C-90).

Objetivo y campo de aplicación.

Esta Norma establece los procedimientos para probar aditivos expansores y estabilizadores de volumen que se usan en el concreto.

Materiales.

A continuación se establecen los requisitos para la arena, agua de mezclado y cemento, que se usan para las pruebas de los aditivos expansores y estabilizadores. Cuando el aditivo que vaya a ser probado sea un producto combinado conteniendo cemento o cemento y arena, no debe usarse cemento o cemento y arena adicionales en las mezclas de prueba.

a) Arena.

En las pruebas de estos aditivos, debe usarse arena sílice limpia que llene los requisitos de la Norma NMX-H-4 vigente (arena de sílice).

En el caso de aditivos estabilizadores, la arena debe ser graduada como sigue: La arena para las pruebas de aditivos expansores deber ser graduada para cumplir con los requisitos aplicables a su uso en el trabajo, según lo establecido en la Tabla 29.

Malla No.	% Que pasa (acumulado en peso).
4	100
8	85 ± 2
16	65 ± 5
30	40 ± 5
50	20 ± 5
100	5 ± 2

Tabla 29. Graduación de arena de acuerdo a la Norma NMX-B-23.

b) Agua de mezclado.

El agua de mezclado debe ser limpia, transparente, libre de sales y sustancias dañinas al concreto. El agua potable se considera adecuada para este caso.

c) Cemento.

El cemento debe satisfacer los requisitos de la Norma NMX-C-1 vigente, para los tipos I, II ó III. El cemento que se use en las pruebas debe ser del mismo tipo que el que se emplee en el trabajo, de preferencia de la misma fábrica.

Aparatos y equipos.

a) Aparato de Vicat.

Debe satisfacer los requisitos de la Norma NMX-C-59 vigente (método de prueba para determinar tiempo de fraguado en cementantes hidráulicos, método de Vicat).

b) Cono de fluidez.

Debe cumplir con las dimensiones y otros requisitos que se indican en la Figura 3.

c) Moldes cúbicos.

Deben ser similares a aquellos requeridos en la Norma NMX-C-61 vigente (método de prueba para determinar la resistencia a la compresión de cementantes hidráulicos), excepto que debe sujetarse una placa firmemente a la parte superior del molde para confinar el mortero.

d) Moldes cilíndricos para determinar el cambio de volumen.

Debe ser de preferencia de 75 mm de diámetro y 150 mm de altura. Los moldes se muestran en la Figura 4 con el puente para micrómetro con el cual se usan.

e) Puente para micrómetro.

Debe ser diseñado para sostener 2 ó 4 cilindros arreglados de tal manera que se puedan hacer mediciones repetidas de expansión sin mover ni maltratar los especímenes (fig. 4). Puede usarse con cualquier micrómetro de profundidad. El diámetro de los agujeros en el puente debe ser un poco más grande que el diámetro de la flecha de medición del micrómetro de profundidad. El micrómetro de profundidad debe ser capaz de medir con aproximación de 0.025 mm.

1. Preparación de los especímenes.

1.1. Mezclado.

Los morteros deben mezclarse de acuerdo con las estipulaciones aplicables de la Norma NMX-C-85 vigente (método de prueba para mezclado mecánico de pastas y morteros de cementantes hidráulicos).

1.2. Determinación de la fluidez.

Debe determinarse de acuerdo con la Norma NMX-C-61 vigente, cuando se utilice

este procedimiento, la fluidez después de 5 golpes la mesa, debe ser de 120 o menos. Para mezclas más fluidas, esta prueba debe hacerse con el cono de fluidez. Se considera que dos mezclas tienen la misma fluidez cuando la diferencia entre ellas no es mayor de 5 determinada por la masa de fluidez, o de 1 s, determinada por el cono de fluidez.

1.3. Morteros con aditivo estabilizador.

Deberán ser proporcionados de la siguiente manera:

1.3.1. Mortero de prueba.

Se deben preparar 2 mezclas de prueba con las siguientes proporciones: una parte de agregado metálico (estabilizador), una parte de cemento Portland y una parte de arena sílice en peso, a menos que esté especificado de otra manera por el fabricante del aditivo bajo prueba. Se debe usar cuando menos 3 kg de materiales secos para cada mezcla. Se debe agregar agua en la cantidad necesaria para producir la fluidez requerida para satisfacer los requisitos de la obra, a continuación se determina la fluidez.

Se debe usar una mezcla para preparar los especímenes para las pruebas de tiempo de fraguado y de expansión, y otra para la resistencia a la compresión.

1.3.2. Mortero testigo.

Se prepara una mezcla testigo consistente en una parte de cemento Portland y dos partes de arena sílice en peso, con suficiente agua para producir la misma fluidez que la mezcla de prueba. Se usan cuando menos 3 kg de materiales secos

para esta mezcla. Se cuellan especímenes de esta mezcla para determinaciones de resistencia a la compresión y de tiempo de fraguado.

1.4 Morteros con aditivo expansor.

Las mezclas para mortero con aditivo expansor deben proporcionarse como sigue:

1.4.1. Mortero de prueba.

Se preparan 2 mezclas de prueba; cada mezcla conteniendo por lo menos 3 kg de materiales secos, con relación cemento-arena no menor de 1:1 ni mayor de 1:2 en peso, o bien como lo especifique el fabricante del aditivo bajo prueba. Se agrega agua en la cantidad necesaria para producir la consistencia requerida, que satisfaga los requisitos de trabajo. Se agrega el aditivo en la cantidad necesaria para producir la expansión especificada. Se usa una mezcla para preparar los especímenes para las determinaciones de tiempo de fraguado y de expansión (y contracción por secado), y otra para la resistencia a la compresión.

1.4.2. Mortero testigo.

Se preparan 2 mezclas testigo en la misma forma que la mezcla de prueba, excepto que se debe omitir el aditivo expansor. Se usa una mezcla para preparar los especímenes para las determinaciones de tiempo de fraguado y de expansión (y contracción por secado) y otra para la resistencia a la compresión.

2. Procedimiento.

2.1. Tiempo de fraguado.

Se determina el tiempo de fraguado de acuerdo con la Norma NMX-C-59 vigente, excepto que las mezclas que se usen en esta prueba deben ser las indicadas en los incisos 1.3 y 1.4.

2.2. Expansión y contracción por secado.

Se impermeabilizan 2 moldes metálicos cilíndricos de 75 x 150 mm, sellando todas las juntas con parafina. Se aplica una ligera capa de aceite mineral en el interior de los moldes, se llena cada molde en 3 capas iguales con la mezcla bajo prueba recién hecha (en el caso de los aditivos expansores, se deben colar otros 2 cilindros

con el mortero testigo); se apisona cada capa 25 veces con la varilla de 6.4 mm de diámetro y 300 mm de longitud para eliminar las burbujas de aire atrapado.

Se termina la superficie de cada espécimen amontonando la mezcla en el centro del molde y nivelando con un movimiento de sierra y presionando hacia abajo por medio de una placa de vidrio transparente de $102 \times 102 \times 3.3 \pm 0.1$ mm, cubierta con aceite mineral, hasta lograr el contacto entre la placa de vidrio, el borde del molde y la mezcla. Inmediatamente después de llenar los moldes con el mortero, se colocan debajo del puente (fig. 4), se asegura cada uno a la base del mismo y se bajan los émbolos de los dispositivos sujetadores de los mismos, hasta que tengan contacto con la parte superior de las placas de vidrio.

Deberá aplicar un contacto firme entre los émbolos y las placas de vidrio, se coloca un peso de 1360 g sobre la parte superior de cada émbolo mientras se fijan los tornillos aprisionadores a los émbolos, inmediatamente después de apretar los tornillos aprisionadores, quitar el peso de 1360 g se inserta el micrómetro de profundidad, a través de los 8 agujeros de 1.6 mm de diámetro (4 para cada espécimen) localizados en la placa superior del puente y se efectúan 8 medidas iniciales de la parte de arriba del puente (referencia) a la parte superior de la placa de vidrio se efectúan las mediciones con una aproximación de 0.025 mm (25 micras). Después de efectuar las medidas iniciales se aflojan los émbolos y se elevan a suficiente distancia arriba de los moldes para permitir la libre expansión del mortero. Se quitan las placas de vidrio de la parte superior de los especímenes, después de 4 ± 1 hora del fraguado final. Se corrigen las medidas iniciales sumando el espesor de las placas de vidrio. A las edades usuales de 3, 7 y 28 días se efectúan 8 medidas de cada edad directamente sobre la parte superior del mortero.

2.3. Resistencia a la compresión.

Hacer 9 cubos de 50.8 mm por lado para cada mezcla de prueba y para cada mezcla testigo. Se coloca el mortero hasta la mitad de cada molde y se compacta con un dedo enguantado. Se termina de llenar la otra mitad del molde compactando de nuevo, se lleva el exceso de la mezcla al centro y se deja el mortero en exceso un poco sobresaliente hasta igualar el tiempo de fraguado inicial. Después del fraguado

inicial se termina el mortero hasta nivelar la superficie con los bordes superiores del molde por medio de una regla de acero con movimiento como de aserrar, se fija una placa de cubierta sobre el molde y se sellan las orillas con parafina. Se dejan los especímenes en los moldes y se guardan a un ambiente de laboratorio hasta efectuar la prueba de resistencia a la compresión a los 3, 7 y 28 días; se deberán elaborar 3 cubos de cada edad de acuerdo con los requisitos señalados en la Norma NMX-C-61 vigente, considerando que los cubos deben removerse de los moldes, no más de media hora antes de la prueba.

3. Cálculos.

3.1. Cálculos de la expansión.

Para cada edad se calcula como sigue:

$$e = \frac{h_1 - h_2}{H} \cdot 100$$

Donde:

e = Expansión del mortero, en por ciento.

h_1 = Promedio de 8 medidas del micrómetro al principio de la prueba, en mm.

h_2 = Promedio de 8 medidas del micrómetro al terminar la prueba, en mm.

H = Altura del espécimen (150 mm).

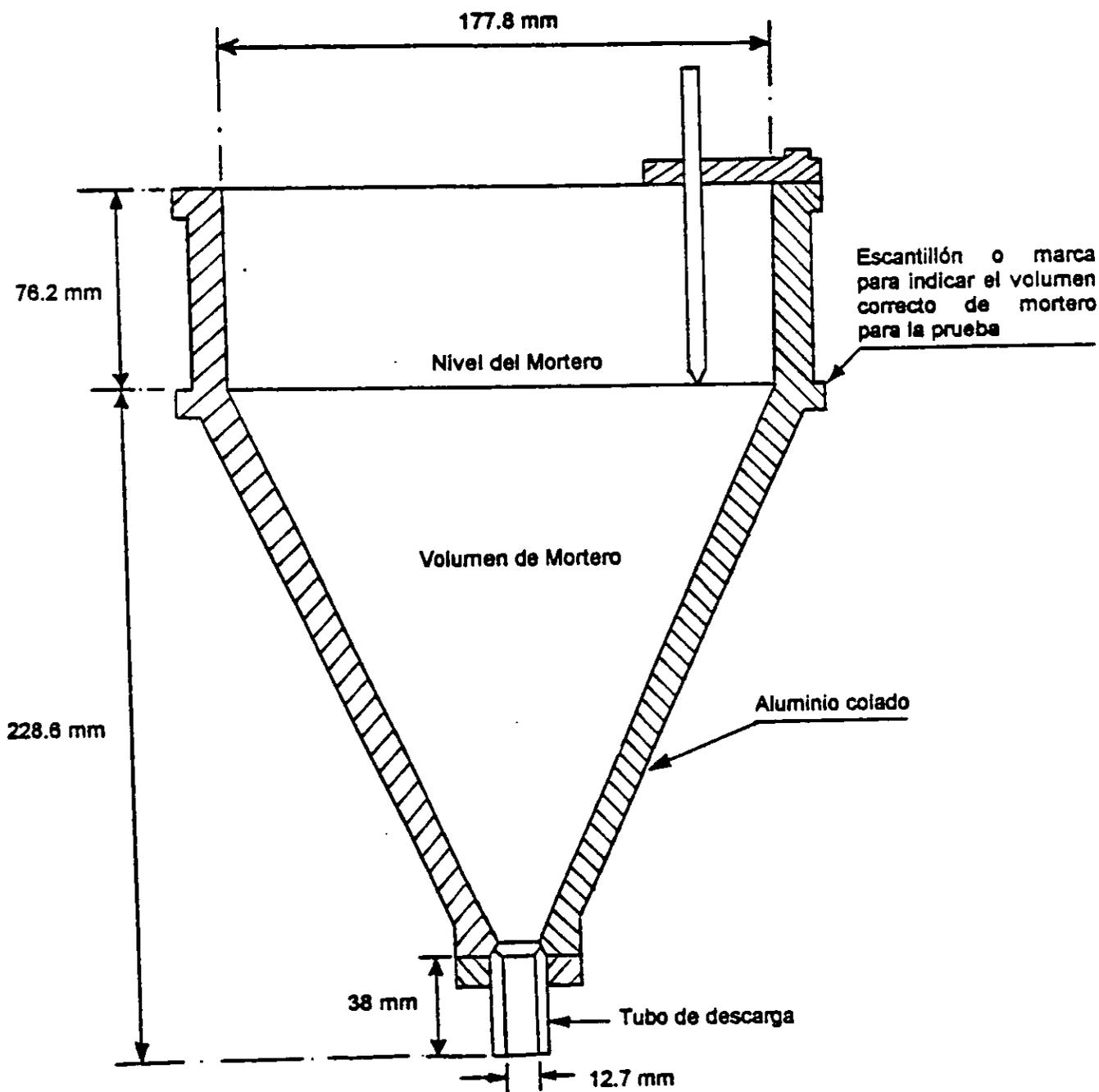
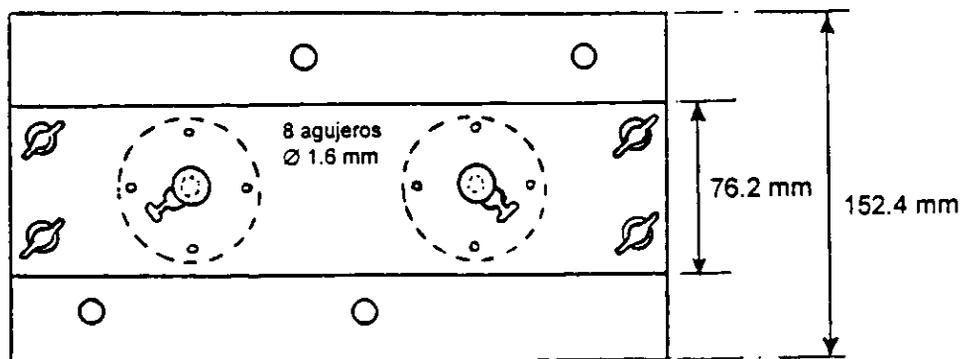


Figura 3. Cono de Fluidiez



Nota: Todas las partes del puente deberán moldearse de un metal ligero no corrosible

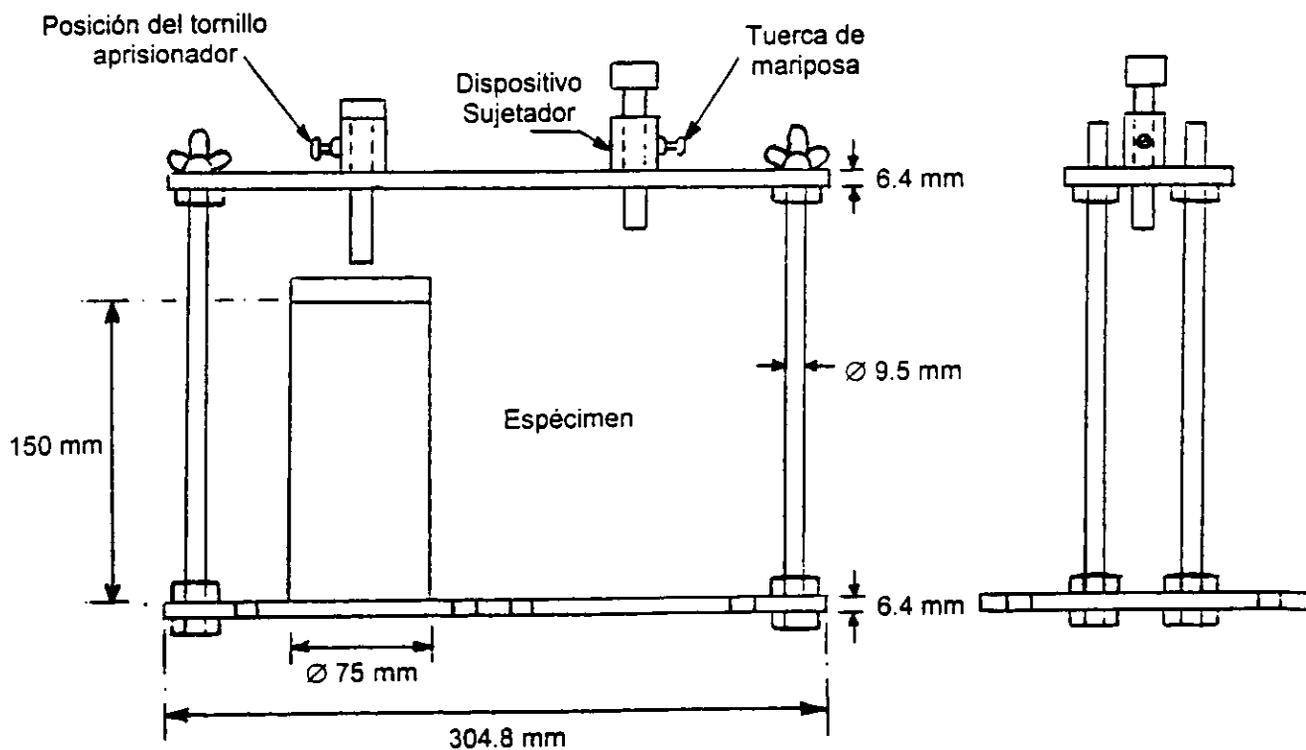


Figura 4. Dimensiones del puente para micrómetro

Anexo 11.

Método de Prueba de Pigmentos para Producir Concreto Coloreado

(En base a la Norma ASTM C 979-82 reprobada en 1993).

Materiales.

Cemento. Para el curado en estabilidad atmosférica y la prueba de resistencia a la luz, se recomienda el uso de cemento blanco. El cemento usado en todas las demás pruebas deberá ser Tipo I ó II conforme a la especificación ASTM C 150 o el cemento propuesto para el trabajo.

Agregados. Los agregados usados en todas las pruebas deberán ser conforme a la especificación ASTM C 33 o deberán ser los agregados propuestos para el trabajo. Para el curado en estabilidad atmosférica y para la prueba de resistencia a la luz, se deberá usar arena de sílica limpia. Tanto para las mezclas de referencia y pigmentadas, la granulometría del agregado se deberá controlar pesando fracciones separadas.

Métodos de prueba.

1. Absorbancia de agua.

Añadir 10 g de pigmento a 150 mL de agua desionizada en un recipiente de 250 mL. Si el pigmento no se mezcla rápidamente con el agua cuando se remueve con una espátula, pero en cambio si una porción sustancial del pigmento flota sobre la superficie del agua, el pigmento es repelente y no absorbente de agua.

2. Resistencia a los álcalis.

Añadir dos porciones de 10 g del pigmento en dos recipientes de 250 mL independientes con 150 mL de agua desionizada cada uno, agitar hasta que esté perfectamente mezclado. Añadir 10 mL de una solución de hidróxido de sodio al 10% a un recipiente y agite minuciosamente una vez más. Deje al precipitado en reposo 1 h, entonces vuelva a mezclar y filtre en un embudo de Buchner. Lave la pastilla del filtro tres veces con agua desionizada caliente. Seque la pastilla sobre el papel filtro en un horno a $110 \pm 3^{\circ}\text{C}$ por 4 ± 0.5 h. Remueva del horno, enfríe y

muela el pigmento a polvo fino en un mortero. Haga dos pequeñas pilas del polvo de pigmento y prénselos con una espátula hasta que queden lisos. Compare el color del control con los polvos de pigmento tratado.

3. Porcentaje de sulfito (SO_3).

Solubilice los sulfatos por medio de la prueba del ácido clorhídrico y determine el porcentaje de acuerdo con el método ASTM D 50.

4. Solubilidad en agua.

Solubilice la materia por medio de la prueba en agua de acuerdo con el método de prueba ASTM D 1208.

5. Curado en estabilidad atmosférica.

Los pigmentos deberán ser probados a los niveles de 1/2 y 6% (basados sobre el peso del cemento). Los dos grupos de especímenes (designados como de control y de prueba), deberán ser preparados al mismo tiempo bajo condiciones idénticas, excepto por el curado. Cada grupo deberá consistir de 2 especímenes de mortero pigmentado, uno de cada nivel de pigmentación, y un espécimen no pigmentado. Si para un pigmento en particular que se esté probando, los especímenes que contienen el pigmento a un rango de dosificación de 1/2% de la masa del cemento, no muestre una diferencia significativa en color cuando es comparada con el espécimen no pigmentado correspondiente, el rango de dosificación del pigmento se deberá incrementar hasta, pero no más allá del rango al cual la diferencia en color es significativa. Además, las pruebas usadas a un rango de dosificación mayores a 6% de la masa del cemento, se deberán continuar realizando como lo especificado. Compare con el color de los especímenes que fueron curados bajo condiciones diferentes. Para la evaluación de la estabilidad del color del pigmento probado, también compare los especímenes de mortero no coloreados para variaciones de color. Las diferencias en las condiciones de curado o eflorescencia, o ambas, pueden afectar la tonalidad de algún mortero o concreto terminado, ya sea coloreado o no.

6. Resistencia a la luz.

La prueba deberá realizarse en un aparato de exposición Tipo E o EH como se describe en la Práctica ASTM G 23. El aparato EH deberá ser operado sin control

de humedad automático. El aparato de exposición deberá ser operado de acuerdo con la Práctica ASTM G 23, excepto que no se emplearán con agua rociada o en ciclos oscuros. El panel negro de temperatura deberá ser $54 \pm 3^{\circ}\text{C}$. Los pigmentos se deberán probar a los niveles de 1/2 y 6% (basados sobre la masa del cemento). La mitad de cada espécimen se deberá proteger de la exposición de la luz con papel aluminio. La otra mitad de cada espécimen se deberá exponer a la luz por 500 h, después de este tiempo el color se comparará con la mitad no expuesta.

7. Efecto sobre el concreto.

7.1. Preparación de las mezclas.

Prepare mezclas de concreto con y sin el aditivo bajo prueba. Refiriéndose aquí a la mezcla de concreto sin el pigmento como la mezcla de control o de referencia. La mezcla de control y la pigmentada deberán ser de la misma composición y batidas en las mismas proporciones, excepto que la mezcla pigmentada deberá incluir al pigmento a la máxima dosis prescrita y el contenido de agua de cada mezcla se deberá ajustar para producir revenimientos de 100 ± 13 mm, como es determinado por el Método de Prueba ASTM C 143. Añada el pigmento al primer incremento de agregado y agua. La mezcla deberá ser proporcionada usando La Practica ACI 211.1. El contenido de cemento deberá ser, ya sea el empleado para un trabajo específico ó 307 ± 3 kg/m³. Si se usa un aditivo inclusor de aire que cumple con la especificación ASTM C 260, su dosificación será la misma tanto para mezclas pigmentadas como para mezclas de control.

7.2. Elaboración y curado.

Los especímenes de concreto con y sin el pigmento bajo prueba serán moldeados y curados de acuerdo al Método de Prueba ASTM C 192. Se prepararán tres o más especímenes para compresión por cada mezcla.

7.3. Tiempo de fraguado.

Deberá emplearse el Método de Prueba ASTM C 403. La temperatura de cada uno de los ingredientes de la mezcla de concreto, justo previo al mezclado y la

temperatura a la cual el tiempo de fraguado de los especímenes son almacenados durante el periodo de prueba será de $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$.

7.4. Contenido de aire.

Deberán emplearse los Métodos de Prueba ASTM C 173 y ASTM C 231.

7.5. Resistencia a la compresión.

Deberá emplearse el Método de Prueba ASTM C 39. Los especímenes deberán ser probados a los 28 días y también opcionalmente a los 7 días. La resistencia a la compresión a los 28 días del concreto que contiene el pigmento bajo prueba deberá ser calculado como un porcentaje de la resistencia a la compresión a los 28 días del concreto de referencia como sigue: El promedio de la resistencia a la compresión a los 28 días de los especímenes del concreto que contiene al pigmento bajo prueba deberá ser dividido por la resistencia a la compresión a 28 días de los especímenes de concreto de referencia a la misma edad, y el cociente deberá ser multiplicado por 100.

7.6. Igualación del color del envío.

Las muestras tanto del pigmento del embarque como del estándar suministrado por el fabricante del pigmento se deberán preparar en concreto para los niveles de 1/2 y 6% (basados sobre la masa del cemento), o a una dosis distinta acordada por el comprador y el vendedor. La composición, los métodos de preparación y la comparación del color de los especímenes deberán ser en acuerdo entre el comprador y el vendedor. Compare los colores de los especímenes de concreto. No compare los colores del pigmento en polvo como una prueba para el control del color.

TFC
E 5c 3