



GUÍA DE ESPECIFICACIÓN PARA CONCRETOS DE ALTA DURABILIDAD

.....

VERSIÓN 2020

WWW.TOXEMENT.COM.CO



SÍGUENOS EN REDES SOCIALES

OFICINA PRINCIPAL

• Bogotá: (571) 869 87 87

OFICINAS NACIONALES

• Medellín: (4) 448 01 21. • Cali: (2) 524 23 25. • Barranquilla: (5) 380 80 33.
• Bucaramanga: (7) 697 02 01. • Cartagena: (5) 652 62 31.



**EUCLID CHEMICAL
TOXEMENT**

El siguiente documento está basado en las siguientes normas:

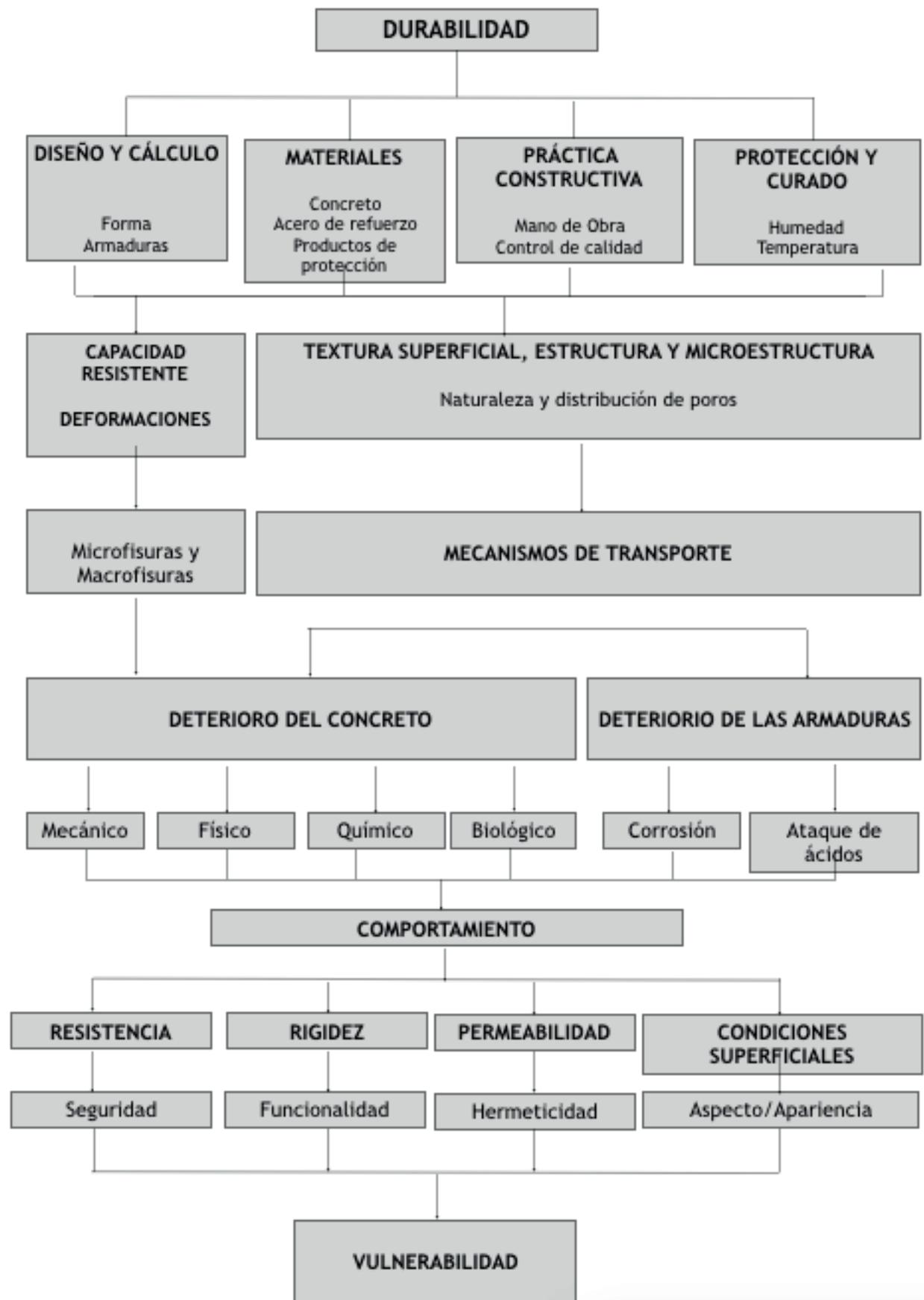
- Reglamento Colombiano Para La Construcción Sismo Resistente NSR 10 Capítulo C. Concreto Estructural. Capítulo 4. Requisitos De Durabilidad.
- NTC 5551 Durabilidad de Estructuras de Concreto
- ACI 201 Guía para la Durabilidad del Hormigón
- Requisitos de Reglamento Para Concreto Estructural ACI 318S-19

1. Definiciones y factores que afectan la durabilidad del concreto

La norma técnica colombiana NTC 5551 define la durabilidad de una estructura de concreto reforzado como la capacidad de comportarse satisfactoriamente frente a las acciones físicas o químicas - o la combinación de ambas - agresivas y así poder proteger adecuadamente las armaduras y demás elementos metálicos embebidos en el concreto, durante su vida útil. El ACI 201 indica que un concreto durable conservará su forma, calidad y serviciabilidad originales al estar expuesto al ambiente. Y la NSR 10 en su capítulo 4 señala que las acciones del medio ambiente y las condiciones de exposición de una estructura se deben considerar como factores de diseño y construcción en las estructuras.

La durabilidad de una estructura de concreto no está solamente relacionada con su diseño de mezcla, sino que también se ve afectada las características ambientales y las condiciones de trabajo a las cuales este sometida. En el siguiente cuadro del libro "Durabilidad y Patología del Concreto" del Ing. Diego Sánchez de Guzmán se ve la relación entre los conceptos de durabilidad y el comportamiento del concreto:





La NTC 5551 señala que la estructura interna del concreto dependerá de 4 factores fundamentales:

- Diseño de la estructura: dimensionamiento, calculo, valoración del tipo de agresores en el medio, definición del espesor del recubrimiento, selección de los materiales, especificación del concreto durable frente al tipo de ataque y el tipo de protección adicional cuando se requiera, definición del tipo y frecuencia del mantenimiento.
- Materiales: uso de materiales adecuados y control de calidad.
- Ejecución: buena práctica constructiva, transporte, colocación y vibrados adecuados
- Curado: etapa en obra que reviste gran importancia para la durabilidad de la estructura.

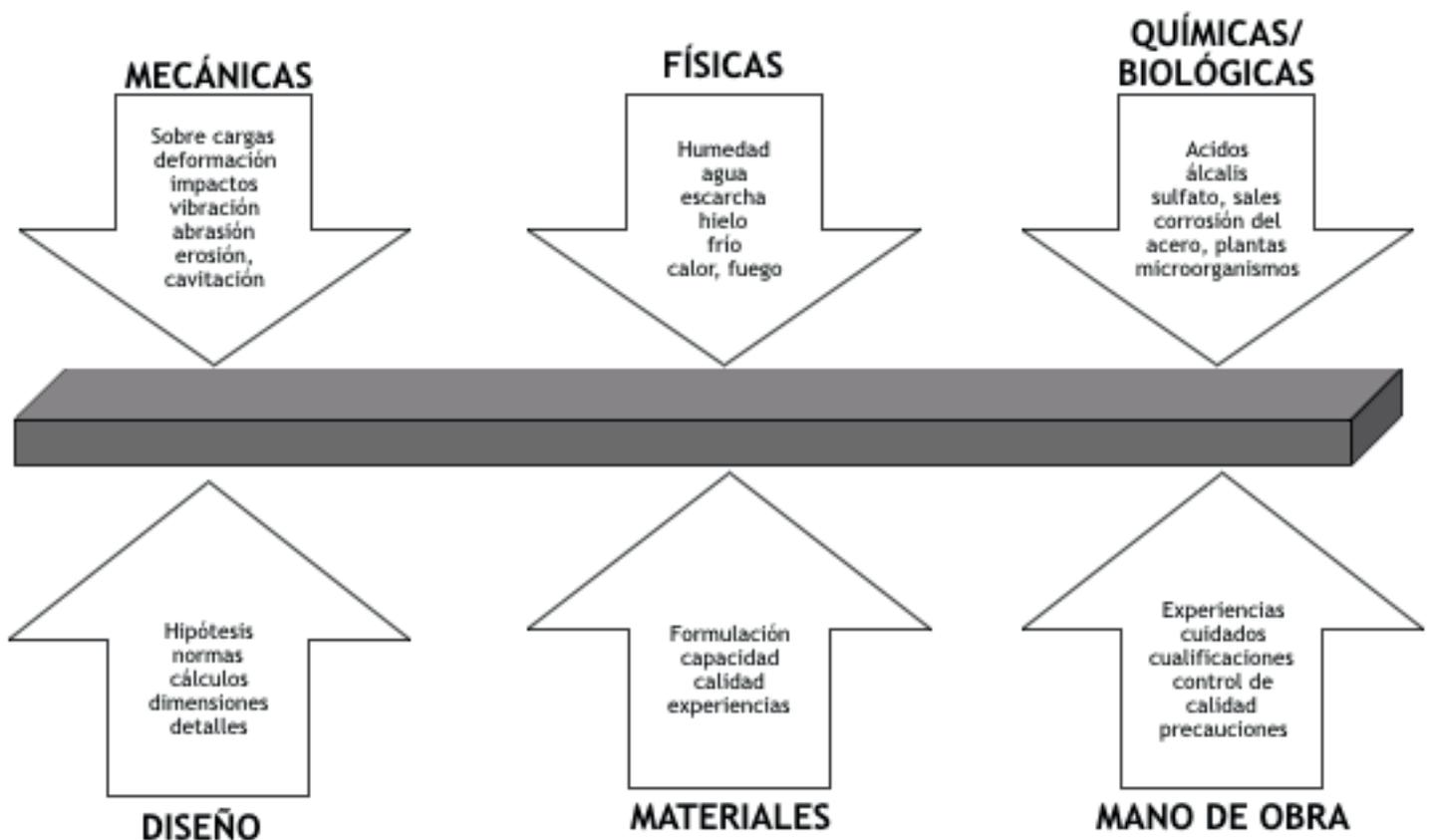
2. Materiales

Todos los materiales que se usen para la elaboración del concreto deben cumplir con lo que estipula la NSR10 en el título C capitulo 3, así como lo establecido en la Norma Técnica Colombiana NTC 5551- Durabilidad de Estructuras de Concreto y la NTC 3318 – Producción De Concreto.

3. Condiciones de exposición

La durabilidad de una estructura de concreto reforzado se ve afectada no solamente por las condiciones climáticas del sitio donde se encuentre, sino también por las acciones físicas, químicas, mecánicas o biológicas a las que está expuesta, estos factores junto con su capacidad de servicio son los que determinan el desempeño y comportamiento de la estructura en el tiempo.

Conjunto de acciones



Capacidad de servicio

Modelo de equilibrio de durabilidad del concreto. "Durabilidad y patología del concreto" Ing. Diego Sanchez de guzmán

En la tabla **C.4.2.1.** en el título C de la NSR10 define las condiciones de exposición de las estructuras de concreto. Las categorías de exposición están subdivididas en las clases de exposición dependiendo el grado de severidad de la exposición.

NSR 10- Tabla C.23-C.4.2.1.- Categorías y clases de exposición

CATEGORÍA	SEVERIDAD	CLASE	CONDICIÓN	
F Congelamiento y Deshielo	No aplicable	F0	Concreto no expuesto a ciclos de descongelamiento y deshielo.	
	Moderada	F1	Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo y exposición ocasional a la humedad.	
	Severa	F2	Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo y en contacto continuo con la humedad.	
	Muy severa	F3	Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo y en contacto continuo con la humedad y expuesto a productos químicos descongelantes.	
			Sulfatos solubles en agua (SO ₄) en el suelo % de peso	Sulfato (SO ₄) disuelto en agua, ppm
S Sulfato	No aplicable	S0	SO ₄ ≤ 0.10	SO ₄ ≤ 150
	Moderada	S1	0.10 ≤ SO ₄	150 ≤ SO ₄ ≤ 1500 agua marina
	Severa	S2	0.20 ≤ SO ₄ ≤ 2	1500 ≤ SO ₄ ≤ 10000
	Muy severa	S3	SO ₄ ≤ 2	SO ₄ ≤ 10000
P Requerimiento de baja permeabilidad	No aplicable	P0	En contacto donde no se requiere baja permeabilidad.	
	Requerida	P1	En contacto donde no se requiere baja permeabilidad.	
C Protección del refuerzo para la corrosión	No aplicable	C0	Concreto seco o protegido contra la humedad.	
	Moderada	C1	Concreto expuesto a la humedad pero no a una fuente externa de cloruros.	
	Severa	C2	Concreto expuesto a la humedad y a una fuente externa de cloruros provenientes de productos químicos descongelantes, sal, agua salobre, agua del mar o salpicaduras del mismo origen.	
Q Exposición a químicos corrosivos	No aplicable	Q0	Concreto que no está expuesto a químicos corrosivos.	
	Severa	Q1	Concreto expuesto a químicos corrosivos diferentes de descongelantes.	

4. Requisitos para el concreto según la clase de exposición.

La durabilidad del concreto está directamente relacionada con la penetración de fluidos, para lo cual es necesario controlar la relación a/mc (agua/material cementante) y la composición de los materiales cementantes usados en la mezcla. El ACI 318S-19 menciona que para obtener una baja permeabilidad en el concreto se debe reducir la relación a/mc y se recomienda el uso de adiciones tales como: ceniza volante, escorias de alto horno, humo de sílice o la combinación de estos materiales.

Las resistencia mínima a la compresión, la relación máxima de agua/ material cementante, así como otros requisitos mínimos adicionales se debe determinar de basado en la clase de exposición asignada al elemento estructural de concreto de acuerdo. Todos los materiales cementantes y las combinaciones de estos materiales deben estar incluidos en la relación a/mc de la mezcla de concreto. Cuando a un elemento de concreto estructural se le ha asignado más de una clase de exposición, se debe aplicar el requisito más restrictivo.



NSR-10 -Tabla C.23-C.4.3.1.-Requisitos para el concreto según la clase de exposición

Clase de exposición	Relación a/mc máx. +/-	f' c min MPa	Requisitos mínimos adicionales			
			Contenido de aire			Limite en los cementantes
F3	0.42	31	Tabla C.4.4.1			Tabla C.4.4.2
			Tipos de material cementante*			Aditivo cloruro de calcio
			ASTM C 150	ASTM C 595	ASTM C 1157	
S0	0.45	28	Sin restricción en el tipo	Sin restricción en el tipo	Sin restricción en el tipo	Sin restricción
S1	0.42	31	II	IP(MS) IS(<70) (MS)	MS	Sin restricción
S2	0.40	35	V	IP(HS) IS(<70) (HS)	HS	No se permite
S3	0.40	35	V Puzolanas o escorias ^S	IP(HS) y puzolanas o escorias ^S o IS(<70) (HS) y puzolanas o escorias ^S	HS y Puzolanas o escorias ^S	No se permite
P0	N/A	17	Ninguna			
P1	0.45	28	Ninguna			
Q1	0.42	31	Ninguna			
			Contenido máximo de iones cloruro (Cl ⁻) soluble en agua en el concreto, porcentaje por peso de cemento		Requisitos relacionados	
			Concreto Reforzado	Concreto Preesforzado		
C0	N/A	17	1.00	0,06	Ninguno	
C1	0.50	17	0.30	0,06		
C2	0.40	35	0.15	0,06	7.7.6, 18.16 #	

*Se pueden permitir combinaciones alternativas de materiales cementantes diferentes a los mencionados en la tabla C.23-C.4.3.1 siempre que sean ensayados para comprobar la resistencia a los sulfatos y deben cumplirse los criterios de C.23-C.4.3.1.

[†] Para exposición al agua marina, se permiten otros tipos de cemento portland con contenidos hasta del 10 por ciento de aluminato tricálcico (C3A), si la relación a/mc no excede 0.40.

[‡] Se permiten otros tipos de cemento como tipo III o tipo I en exposiciones de clase S1 o S2 si el contenido de C3A es menor al 8 o al 5 por ciento, respectivamente.

[§] La cantidad de la fuente específica de puzolana o escoria que se debe usar no debe ser inferior a la cantidad que haya sido determinada por experiencia en mejorar la resistencia a sulfatos cuando se usa en concretos que contienen cemento tipo V. De manera alternativa, la cantidad de la fuente específica de puzolana o escoria que se debe usar no debe ser menor a la cantidad ensayada según la NTC 3330 (ASTM 1210) y debe cumplir con los requisitos de C.4.5.1.

^{||} El contenido de iones cloruros solubles en agua provenientes de los ingredientes incluyendo el agua, agregados, materiales cementantes y aditivos de mezclas de concreto, deben ser determinados según los requisitos de la NTC 4049 (ASTM 1228M) a edades que van de 28 a 42 días.

+Para concreto liviano véase C.4.1.2

5. Protección de acuerdo a las categorías de exposición.

5.1. Protección al congelamiento y deshielo

El deterioro de un concreto por ciclos de congelamiento y deshielo está directamente relacionado con la cantidad de agua alojada en sus poros en el momento del congelamiento; el grado de saturación es el porcentaje de poros que están ocupados por agua, cuando este porcentaje es alto es muy probable que cuando el agua atrapada se congele, produzca un esfuerzo a la tracción suficientemente grande para fisurar el concreto.

La NSR 10 especifica que además de cumplir con la relación máxima de relación a/mc y requisito de resistencia mínima, el concreto para elementos estructurales sometidos al congelamiento y deshielo deben tener aire incorporado de acuerdo a las disposiciones de la tabla C.4.4.1. El aire incorporado hace que sea más difícil la saturación del concreto y permite la expansión del agua cuando se congela.

NSR 10 - Tabla C.4.4.1- Contenido total de aire para concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo.

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO* (MM)	CONTENIDO DE AIRE	
	F1	F2 y F3
9.5	6.0	7.5
12.5	5.5	7.0
19.0	5.0	6.0
25.0	4.5	6.0
37.5	4.5	5.5
50+	4.0	5.0
75+	3.5	4.5

*Véase NTC 174 (ASTM C33) para las tolerancias de mayor tamaño para diversas designaciones de tamaño máximo nominal.

+Estos contenidos de aire se aplican a la mezcla total, al ensayar estos concretos sin embargo, se retiran las partículas de agregado mayores a 40 mm sacándolas mediante tamizado, y se determina el contenido de aire en la fracción tamizada. (la tolerancia en el contenido de aire se aplica a este valor).

El contenido de aire de la mezcla se calcula a partir de valor determinado en la fracción cribada que pasa en el tamiz de 40 mm, indicado en la NTC 1032 (ASTM C231).

La NSR 10 determina que los elementos estructurales asignados a la clase de exposición F3 deben además cumplir con las limitaciones sobre la cantidad de puzolana y de escorias en la composición de los materiales cementantes, según la tabla C.4.4.2.

NSR 10 - Tabla C.4.4.2 — Requisitos para concreto sometido a clase de exposición F3

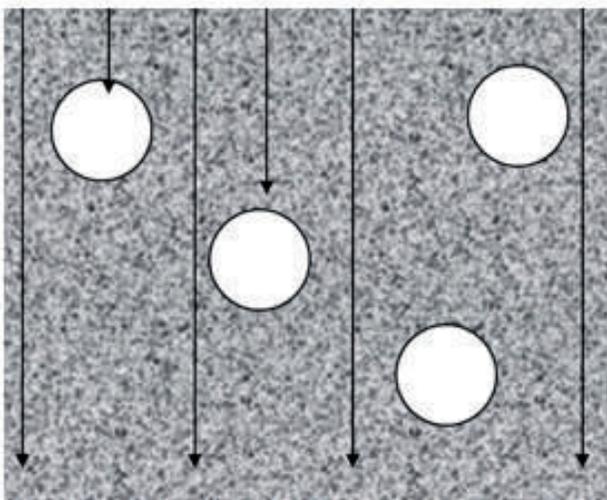
Materiales cementantes	Porcentaje máximo sobre el total de materiales cementantes en peso*
Cenizas volantes u otras puzolanas que cumplen NTC 3493 (ASTM C618)	25
Escoria que cumple NTC 4018 (ASTM C989)	50
Humo de sílice que cumple NTC 4637 (ASTM C1240)	10
Total de cenizas volantes u otras puzolanas, escoria y humo de sílice	50†
Total de cenizas volantes u otras puzolanas y humo de sílice	35†
<p>*El total de materiales cementantes también incluye cementos ASTM C150, ASTM C595, NTC 4578 (ASTM C845) y ASTM C1157.</p> <p>Los porcentajes máximos anteriores incluyen:</p> <p>a) Cenizas volantes u otras puzolanas presentes en cementos adicionados tipo IP, según ASTM C595 o ASTM C1157.</p> <p>b) Escoria usada en la fabricación de cementos adicionados Tipo IS, según ASTM C595 ó ASTM C1157.</p> <p>c) Humo de sílice, según NTC 4637 (ASTM C1240), presente en cementos adicionados.</p> <p>† Las cenizas volantes u otras puzolanas y el humo sílice no deben constituir más del 25 y 10 por ciento, respectivamente, del peso total de materiales cementantes.</p>	

5.1.1. Aditivos inclusores de aire

Este tipo de aditivos forman microburbujas que actúan como lubricante dentro de la matriz de concreto aumentando la trabajabilidad, disminuyendo la segregación, la exudación, mejorando la resistencia a ciclos de congelamiento - deshielo y reduciendo la permeabilidad.

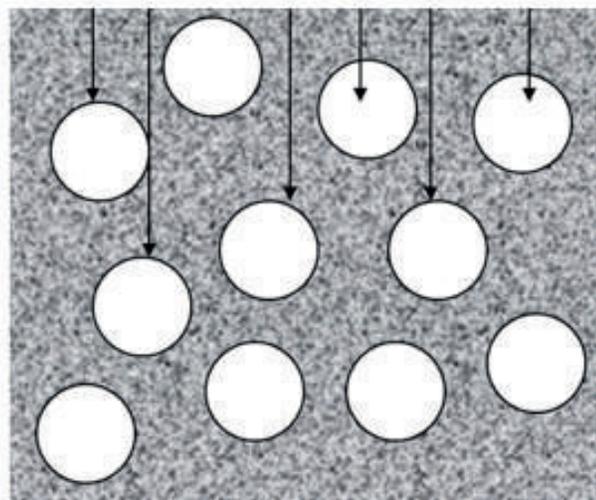
En el concreto endurecido, las microburbujas producidas por el aditivo incorporador de aire se interponen en la red de canalículos interna que existe en todo hormigón, lo cual permite limitar la ascensión de agua por capilaridad. El concreto resultante es, en consecuencia, más impermeable e, indirectamente, por ello más resistente a la acción de agentes agresivos.

CONCRETO SIN AIRE INCLUIDO



El agua penetra a través de la matriz de concreto.

CONCRETO CON AIRE INCLUIDO



Penetración del agua disminuida por las microburbujas de aire.

Dentro del portafolio de productos TOXEMENT tenemos los siguientes aditivos incorporadores de aire:

PRODUCTO	DESCRIPCIÓN	DOSIFICACIÓN	INCLUSIÓN DE AIRE	SUGERENCIAS
AIRTOC D	Aditivo líquido de color ámbar, incorporador de aire para hormigón y mortero. Es una solución estable a base de resinas neutralizadas. Cumple con las normas ASTM C-260.	0,25% al 0,5% del peso del cemento	3% al 6% de aire en el concreto	- Para la realización de trabajos con este producto es necesario controlar en forma permanente el porcentaje de aire incluido en la mezcla (ASTM C231 - C173).
EUCON AIR MAC 12	Incorporador de aire de alta concentración especialmente formulado para su utilización en todo tipo de aplicaciones en el concreto. No contiene cloruros u otros materiales con potencial de oxidación que favorece la corrosión del acero. Cumple con las especificaciones de la norma ASTM C-260..	6 ml a 260 ml por cada 100 kg de cemento, según la inclusión de aire esperada	3% al 6% de aire en el concreto	- La dosificación puede cambiar dependiendo del diseño y materiales utilizados en la mezcla. - El incremento de aire en la mezcla ocasiona baja de resistencias a compresión; se recomienda hacer pruebas en obra para establecer la dosis óptima.
AIRTOC L	Aditivo diseñado para obtener concretos o morteros con alta incorporación de aire.	0.1% - 0.2% del peso del cemento	5% al 40% de aire en el concreto	

5.2. Protección al ataque por sulfatos

El ataque por sulfatos genera expansiones internas lo cual causa fallas de adherencia de la pasta, fisuraciones, craquelamiento y reducción de la resistencia mecánica del concreto. La NSR 10 especifica que: el concreto expuesto a concentraciones perjudiciales de sulfatos, procedentes del suelo y del agua, deben fabricarse con cementos resistentes a sulfatos en la tabla C.4.3.1 se encuentran los tipos apropiados de cemento, la máxima relación a/mc y la mínima resistencia a la compresión especificada para diversas clases de exposición. Al seleccionar un cemento resistente a sulfatos la principal consideración es el contenido de aluminato tricálcico (C_3A). La NSR señala que el cemento resistente a sulfatos no aumenta la resistencia del concreto a soluciones químicamente agresivas, por ejemplo el ácido sulfúrico: Las especificaciones del proyecto deben abarcar todos los casos especiales.

El uso de las adiciones puzolánicas en forma de humo de sílice, metacaolín, puzolanas naturales, cenizas volantes y / o escoria de alto horno han demostrado reducir significativamente el ataque de los sulfatos. La NSR 10 menciona que se permite combinaciones alternativas para los materiales cementantes mencionados en la tabla C.4.3.1 cuando se lleven a cabo ensayos de resistencia sulfatos y se cumplan con los criterios de la tabla C.4.5.1.

NSR 10 - Tabla C.4.5.1 — Requisitos para establecer la conveniencia de las combinaciones de materiales cementantes expuestos a sulfatos solubles en agua

Clase de exposición	Expansión máxima al ser ensayada Usando NTC (ASTM C1012)		
	A 6 meses	A 12 meses	A 18 meses
S1	0.10 por ciento		
S2	0.05 por ciento	0.10 por ciento	
S3			0.10 por ciento

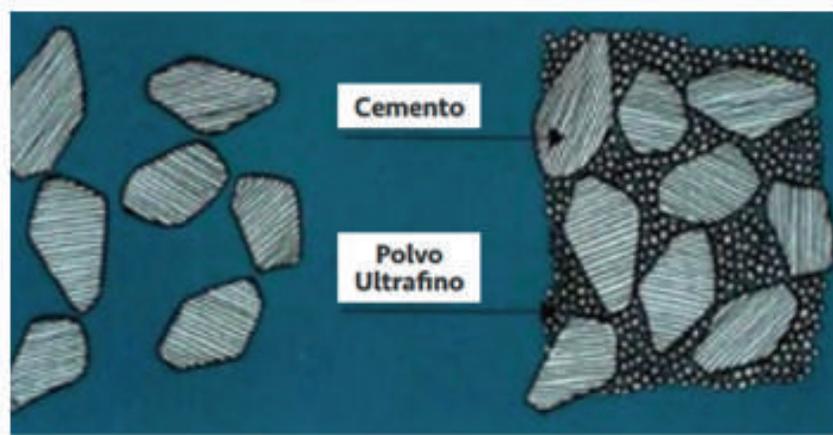
*El límite de expansión a los 12 meses sólo se aplica cuando el límite a los 6 meses no es alcanzado.

5.2.1. Adiciones para concreto.

Las adiciones más usadas son la microsílca y el metacaolín. La microsílca, que es un subproducto de la industria de las aleaciones de hierro, como el ferrosiliceo, en términos simples, es el hollín que queda adherido a las mangas del filtro cuando los gases pasan a través de éste. El cemento durante el proceso de hidratación libera calor, que en presencia de un material amorfo rico en sílice (como la microsílca), en condiciones de humedad y a temperatura ambiente, forma productos cementantes secundarios estables física y químicamente que contribuyen a las resistencias del concreto; además, los productos formados no liberan calor de hidratación y son resistentes químicamente, lo que hace concretos más durables. De otra parte, el tamaño de partícula le permite ocupar los vacíos que normalmente quedan en la pasta de cemento, dando un efecto de densificación.

5.2.1. Adiciones para concreto.

Las adiciones más usadas son la microsílca y el metacaolín. La microsílca, que es un subproducto de la industria de las aleaciones de hierro, como el ferrosiliceo, en términos simples, es el hollín que queda adherido a las mangas del filtro cuando los gases pasan a través de éste. El cemento durante el proceso de hidratación libera cal, que en presencia de un material amorfo rico en sílice (como la microsílca), en condiciones de humedad y a temperatura ambiente, forma productos cementantes secundarios estables física y químicamente que contribuyen a las resistencias del concreto; además, los productos formados no liberan calor de hidratación y son resistentes químicamente, lo que hace concretos más durables. De otra parte, el tamaño de partícula le permite ocupar los vacíos que normalmente quedan en la pasta de cemento, dando un efecto de densificación.



Esquema de la densificación de la Microsílca en el concreto

El metacaolín es un material cementante suplementario, compuesto de aluminio silicato activado térmicamente, que se produce al calcinar el caolín a temperaturas alrededor de 700°C a 900°C; a esta temperatura se produce una transformación de su estructura cristalina.”

Ambos materiales tienen un efecto de densificación, contribuyendo en la masa de concreto a una menor porosidad, menor permeabilidad, mayor resistencia y mayor durabilidad.



Dentro del portafolio de productos TOXEMENT como adiciones para densificar el concreto, sugerimos el uso de:

PRODUCTO	TIPO DE ADICIÓN	DESCRIPCIÓN	DOSIFICACIÓN	SUGERENCIAS
EUCON MSA	Microsilica	Aditivo en polvo, color gris que adicionado al concreto le otorga características de alta resistencia mecánica y química.	Entre el 3% y 10% del peso del cemento	<ul style="list-style-type: none"> - El comportamiento del producto puede variar de acuerdo a las características de calidad de los demás componentes del concreto por lo que se recomienda la reutilización de ensayos representativos previos a su utilización. - Debe utilizarse superplastificante para garantizar la fluidez del concreto, . - El concreto debe ser curado ya que este es un factor crítico para obtener altas resistencias y durabilidad; el curado debe realizarse inmediatamente después del proceso de terminado. Seguir recomendaciones del ACI 318
EUCON MTC	Metacaolín	Material sólido finamente molido, a base de aluminio – silicatos, utilizado como material cementante.	La dosis de EUCON MTC depende de las características del concreto o diseño a producir, se recomienda consultar con TOXEMENT, para efectuar las mezclas previas y necesarias y determinar la dosificación óptima en función de sus materiales.	<ul style="list-style-type: none"> - Se deben realizar pruebas de comportamiento con los materiales a utilizar haciendo concretos a nivel de laboratorio, de esta manera se establecen dosis y comportamiento esperado. - Para la homologación de este producto en laboratorio consulte con el Departamento Técnico de TOXEMENT

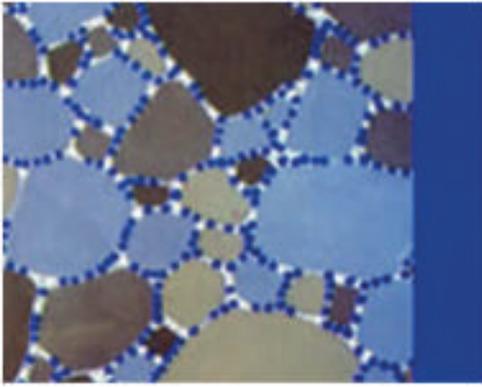
5.3. Protección al contacto con agua - Concreto de baja permeabilidad.

En la NSR 10 la categoría de exposición P (Requerimiento de baja permeabilidad) esta subdividida en dos clases: los elementos estructurales deben asignarse a la clase P0 cuando no existen requisitos de permeabilidad específicos. La clase P1 se asigna con base en la necesidad de baja permeabilidad del concreto al agua cuando la permeabilidad al agua puede reducir la durabilidad o afectar la función del elemento estructural. La clase P1 debe asignarse rutinariamente cuando las otras clases de exposición no apliquen.

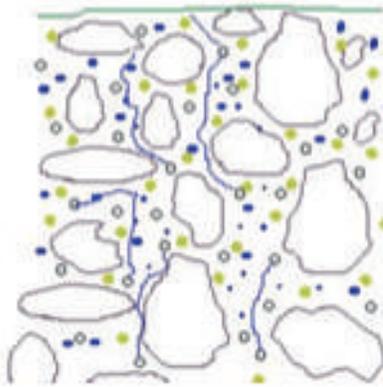
Para obtener concretos de baja permeabilidad es fundamental manejar una baja relación a/mc, colocar adiciones que densifican la mezcla y/o usar aditivos específicos para reducir la permeabilidad, como los aditivos Inclusores de aire o los aditivos de impermeabilización por cristalización, estos últimos tienen un desempeño más alto para tal fin.

Aditivos impermeabilizantes por cristalización.

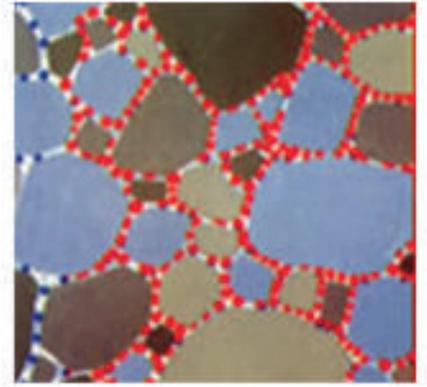
El proceso de impermeabilización por cristalización funciona por saturación del sistema capilar y se produce por migración de los activos químicos, de este tipo de productos, a través de dicho sistema, usando como vehículo el agua (ósmosis). Una vez que los activos químicos se encuentran en el interior de la matriz de concreto, reaccionan con la cal libre formando complejos cristales insolubles y no expansivos, que bloquean los capilares y las microfisuras.



Concreto sin aditivo impermeabilizante, entrada de agua.



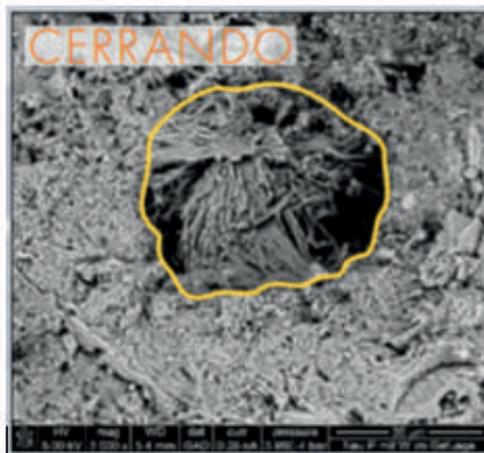
Concreto impermeabilizado con aditivo inclusor de aire



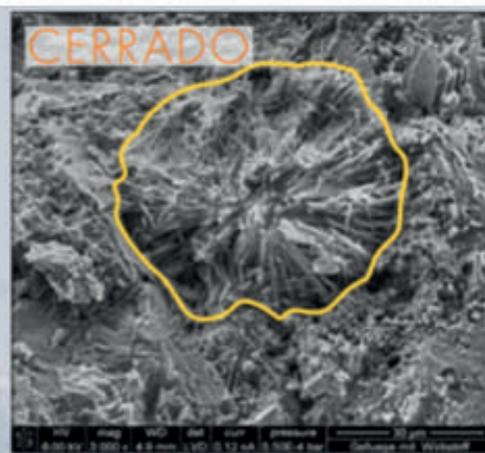
Concreto Impermeabilizado por cristalización, red capilar completamente bloqueada por la formación de cristales

Con la tecnología de impermeabilización por cristalización, se reduce considerablemente la penetración del agua dentro de la matriz de concreto, aumentando la vida útil de las estructuras.

EUCON VANDEX AM - 10 es un aditivo integral por cristalización especialmente formulado para interactuar con la estructura de los poros capilares del concreto, promoviendo un sistema de impermeabilización que permanece como parte de la matriz de concreto. **EUCON VANDEX AM - 10** puede ser usado en aplicaciones por encima y por debajo del nivel (enterrado o expuesto).



Muestra sin EUCON VANDEX AM - 10, espacio poroso sin cerrar completamente



Muestra con VANDEX AM - 10. Espacio poroso cerrado completamente, longitud de cristales hasta 30 pm, 10 veces más largos que la muestra sin EUCON VANDEX AM - 10

Información Técnica EUCON VANDEX AM - 10

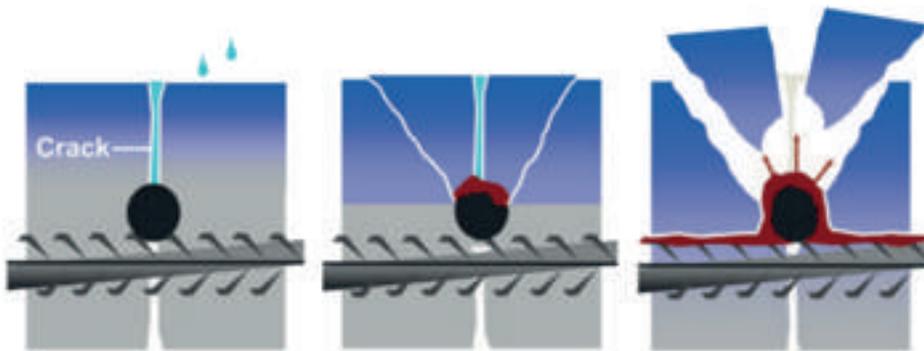
TIPO DE PRUEBA	MÉTODO	PARÁMETRO DE PRUEBA	RENDIMIENTO RELATIVO
Penetración del agua	DIN 1048	72 psi cabeza de presión	40 % de reducción
Permeabilidad del agua	CDR C48-92	200 psi cabeza de presión	70 % de reducción
Absorción capilar	ASTM C-1585		40 % de reducción
Resistencia a la compresión	ASTM C-39		Igual o hasta 8 % de incremento de acuerdo al diseño y los materiales empleados
Permeabilidad del ión cloruro	ASTM C-1202		10 % de mejora
Contracción	ASTM C-157		hasta un 20 % de reducción

Pruebas realizadas bajo condiciones de laboratorio

EUCON VANDEX AM - 10 es usualmente dosificado del 1% al 2% del peso del material cementante (-) para la mayoría de aplicaciones.

5.4. Protección a la corrosión

La ASTM G 15 define la corrosión como “la reacción química o electroquímica entre un material, usualmente un metal y su medio ambiente, que produce un deterioro del material y sus propiedades”. El proceso de corrosión del acero de refuerzo se define como una reacción electroquímica que conlleva a la obtención de un óxido de hierro el cual presenta un volumen de 3 a 4 veces mayor al del acero inicial, este aumento de volumen en el refuerzo genera presiones internas en detrimento de la durabilidad del concreto produciendo pérdida de adherencia, fisuras, grietas y delaminaciones, daños que pueden llevar a la pérdida de resistencia estructural y que pueden llegar hasta el colapso de la estructura.



Para que ocurra la corrosión se requiere la presencia de 3 factores fundamentales: la despasivación del acero de refuerzo, la entrada de agua y la entrada de oxígeno. La prevención de la corrosión en el refuerzo se basa principalmente en evitar la entrada de agua, oxígeno y agentes agresores como los cloruros al concreto.

La NSR 10 subdivide la categoría de exposición C (Protección del refuerzo para la corrosión) en tres clases:

Clase 0 cuando las condiciones de exposición no requieren protección adicional contra el inicio de corrosión del refuerzo. Las clases C1 y C2 se asignan a los elementos de concreto reforzado y preesforzado, dependiendo del grado de exposición a las fuentes externas de humedad y cloruros una vez estén en servicio. Algunos ejemplos de fuentes externas de cloruros son el concreto en contacto directo con productos químicos descongelantes, sal, agua salubre, agua de mar o salpicaduras del mismo origen.

Para determinar el nivel de exposición a la que va a estar sometida una estructura se debe conocer el contenido ion cloruro al que va a estar expuesta, la NSR 10 señala que cuando los concretos se ensayan para obtener el contenido de ion cloruro soluble en agua, los ensayos deben hacerse a una edad mínima de 28 a 42 días. Los límites establecidos en la tabla de la NSR 1 – C.4.3.1, deben aplicarse a los cloruros aportados por los componentes del concreto y no a los del ambiente que rodea el concreto.

La estructura de concreto se puede proteger de la corrosión mediante: el cumplimiento estricto del espesor del recubrimiento del acero de refuerzo indicados por la NSR 10 en la tabla C.23-C.7.7.1 para estructuras ambientales, el uso de inhibidores de corrosión; protección del acero con revestimientos epóxicos; empleo de protección catódica con ánodos de sacrificio; uso de adiciones alumínicas que formen Sal de Friedel o el uso de revestimientos que eviten el paso de cloruros. También es necesario producir un concreto de baja permeabilidad por medio de una baja relación a/mc, el uso de adiciones como puzolanas o escorias, usar aditivos para producir concreto de baja permeabilidad y/o adicionar fibras sintéticas que mitiguen la formación de fisuras



NSR 10- Tabla C.23-C.7.7.1— Protección de concreto para el refuerzo en estructuras ambientales

Condición		Concreto construido en sitio	Concreto prefabricado Nota-1	Concreto preesforzado Vaciado en sitio	
(a) Concreto vaciado contra la tierra y en permanente contacto con ella		75 mm	No aplica	75 mm	
b) Concreto expuesto a la tierra, líquidos, intemperie, o en losas que sostienen rellenos de tierra	Losas y viguetas	50 mm	40 mm	40 mm	
	Vigas y columnas	Estribos y espirales	50 mm	40 mm	40 mm
		Refuerzo principal	65 mm	50 mm	50 mm
	Muros	50 mm	40 mm	40 mm	
	Zapatasy losas de base	Superficies vaciadas contra formaleta	50 mm	No aplica	No aplica
		Superficie superior de zapatas y losas de base	50 mm	No aplica	No aplica
	Cascarones y losas plegadas	40 mm	25 mm	25 mm	
(b) Condiciones no cubiertas en (a) o (b)	Losas y viguetas	Barras No. 11 (1-3/8") o 36M (36mm) y menores	20 mm	20 mm Nota- 2	20 mm
		Barras No. 14 (1-3/4") o 45M (45mm) y No. 18 (2-1/4") o 55M (55mm)	40 mm	40 mm Nota- 3	40 mm
	Vigas y columnas	Estribos y espirales	40 mm	25 mm	25 mm
		Refuerzo principal	50 mm	40 mm	40 mm
	Muros	Barras No. 11 (1-3/8") o 36M (36mm) y menores	20 mm	20 mm Nota- 2	20 mm
		Barras No.14 (1-3/4") o 45M (45mm) y No. 18 (1-3/8") o 36M (36 mm) y menores	40 mm	40 mm Nota- 3	40 mm
	Cascarones y losas plegadas	Barras No. 5 (5/8") o 16 M (16 mm), alambre MW30 o MD30 (6.2 mm de diámetro), o menores	13 mm	20 mm	20 mm
		Barras No. 6 (3/4") o 20M (20 mm) y mayores	20 mm	25 mm	25 mm

Nota 1 — Construido bajo condiciones de control en planta de prefabricación

Nota 2 — Incluye ductos de preesforzado menores de 40 mm de diámetro

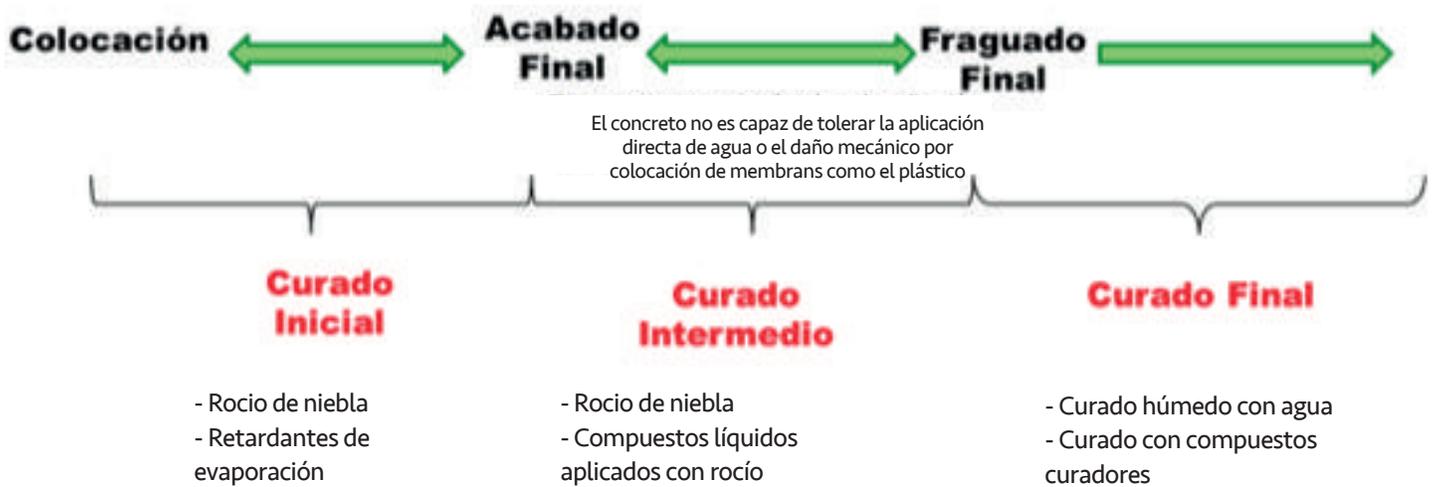
Nota 3 — Incluye ductos de preesforzado mayores o iguales a 40 mm de diámetro

Dentro del portafolio de productos TOXEMENT como protección a la corrosión para este tipo de estructuras sugerimos el uso de:

PRODUCTO	TIPO DE PRODUCTO	DESCRIPCIÓN	DOSIFICACIÓN/ RENDIMIENTO	SUGERENCIAS
EUCON CIA 100	Aditivo inhibidor de corrosión	Aditivo líquido base Nitrito de Calcio, diseñado como inhibidor de corrosión del acero de refuerzo en concreto. Cumple con la clasificación ASTM C-494 tipo C; AASHTO M-194 Tipo C; Corps of Engineers CRD C87 Tipo C Clasificación.	Se hace de acuerdo a la carga de ion cloruro.	<ul style="list-style-type: none"> - Todos los códigos y guías deben ser consultadas antes de aprobar el diseño de la mezcla. - Es conveniente la utilización de aditivo superplastificante para reducir la relación agua / cemento. También se puede utilizar EUCON MSA para reducir la permeabilidad del concreto. - Es necesario hacer mezclas de prueba para establecer las dosis óptimas de EUCON CIA 100.
TOC ARMADURA	Revestimiento anticorrosivo	Mortero formado por dos componentes (A y B), que se mezclan antes de su aplicación, recomendado para usar como revestimiento anticorrosivo en la protección del acero de refuerzo en el concreto	Se hace de acuerdo al tipo de varilla (lisa o corrugada) y al diámetro de la misma	<ul style="list-style-type: none"> - Para mejorar la adherencia entre los concretos se recomienda limpiar previamente la superficie, saturar sin dejar empozamientos y aplicar por lo menos dos capas de TOC ARMADURA 6037, dejando pasar 12 horas entre cada capa y 24 horas antes de colocar el concreto o mortero. - Es necesario considerar la temperatura del ambiente y utilizar TOC ARMADURA 6037 CLIMA CALIDO o CLIMA FRIO según el caso.
SENTINEL	Ánodos de sacrificio	Los Ánodos Catódicos están diseñados para mitigar la corrosión del acero de refuerzo en el concreto. Su función principal es contrarrestar el "efecto de anillo anódico" y extender significativamente la vida útil de las reparaciones de concreto. Se usan en locaciones donde se ha puesto concreto nuevo o materiales de reparación de concreto junto a concreto existente contaminado con cloruros. Generan una corriente efectiva en los alrededores del acero de refuerzo, protegiéndolo de la corrosión.	El espaciamiento, la ubicación y el tipo de ánodos debe ser especificado por el diseñador, pero los ánodos no deben exceder los 75 cm en el centro. El espaciamiento depende de la densidad del acero, la naturaleza corrosiva del ambiente y la resistividad eléctrica de los materiales de reparación.	<ul style="list-style-type: none"> - Seguir todas las indicaciones de las hojas técnicas de SENTINEL y las especificaciones del diseñador.

6. Curado del concreto

El curado es sin duda uno de los procesos más importantes del concreto, toda vez que impacta en todas sus propiedades. El ACI 308 Guía Para El Curado Del Concreto dice que el término curado se usa para describir el proceso mediante el cual el concreto de cemento hidráulico madura y desarrolla propiedades de endurecimiento con el tiempo, como resultado de la hidratación continua del cemento en presencia de suficiente agua y calor. Un curado adecuado es un método apropiado para evitar fisuras por contracción plástica y por contracción por secado. El ACI 308 señala que el curado del concreto ha sido tradicionalmente considerado como un proceso de un solo paso, llevado a cabo algún tiempo después de ser colocado y acabado. Sin embargo el control adecuado de la humedad, puede requerir que varios procedimientos se inicien e secuencia, divididas en tres etapas del proceso de curado:



Etapas de curado y métodos que se pueden usar en cada una según "Guía para el curado del concreto" ACI 308

El ACI 308 y ACI 305 refieren que si la superficie de exposición es grande y la tasa de evaporación excede 1.0 (kg/m²)/h se requieren condiciones de curado especiales que complementen el uso de retardante de evaporación y de curador, como lo son las barreras de sol y viento.

En general existen 2 métodos: Los húmedos, que consisten en un suministro de agua adicional, que son los más efectivos; y los tratamientos para evitar la pérdida de humedad en el concreto, que usan materiales que generan una membrana en la superficie del concreto.

Dentro del portafolio de productos TOXEMENT como membranas curadoras de concreto sugerimos el uso de:

PRODUCTOS CURADORES			
BASE	PRODUCTO	USO	OBSERVACIONES
AGUA	CURASEAL PF BLANCO	Exterior e interior	Curador según la norma ASTM C-309. Forma película de parafina, así que es recomendado en pavimentos, áreas exteriores, muros, columnas, etc.
	EUCO CURADOR ER	Exterior e interior	Curador según la norma ASTM C-309. Compuesto de fácil remoción, así que es recomendado cuando se tenga la aplicación de recubrimientos selladores u otro tipo de acabados, etc.
SOLVENTE	CURASEAL PF ROJO	Exterior	Curador según la norma ASTM C-309. Forma película de parafina, así que es recomendado en pavimentos, áreas exteriores, muros, columnas, etc.

7. Control de la fisuración

La fisuración en el concreto permite el paso de fluidos a su interior, para controlar esta condición es necesario hacer un adecuado diseño de la cuantía de acero de refuerzo con base a lo que estipula el ACI 350M-06, así como definir los espesores mínimos y la ubicación del acero de refuerzo para los muros de este tipo de estructuras de acuerdo a ACI 350 2R-04.

DESCRIPCIÓN	ALTURA DEL MURO	ESPESOR MÍNIMO	UBICACIÓN DEL ACERO DE REFUERZO
Concreto vaciado en sitio	Más de 3 m	30 cm	Ambas caras
	Entre 1.2 m y 3m	25 cm	Ambas caras
	Menos de 1.2 m	15 cm	Centro del muro
Concreto prefabricado	1.2 m o más	20 cm	Centro del muro
	Menos de 1.2 m	10 cm	Centro del muro

EACI 350 2R-04 "Concrete Structures for Containment of Hazardous Materials" Especifica los espesores mínimo y la ubicación del acero de refuerzo para muros según su altura y si se trata de concreto vaciado en obra o prefabricado.

El ACI 224R -01 "Control de la Fisuración en Estructuras de Concreto" establece los anchos máximos permitidos de fisuras estructurales de concreto armado de acuerdo a su condición de exposición, para limitar el ancho de las fisuras en la cara de concreto en contacto con el agua, se deben usar los métodos prescritos en capítulo C.23.-C.10.6.4 de la NSR 10.

ACI 224R -01 Tabla 4.1 -Guía para anchos de fisura razonables*, hormigón armado bajo cargas de servicio

Condición de la exposición	Ancho de la fisura	
	Pulgadas	mm
Aire seco o membrana protectora	0,016	0,41
Humedad, aire húmedo, suelo	0,012	0,30
Productos químicos descongelantes	0,007	0,18
Agua de mar y rocío de agua de mar, humedecimiento y secado	0,006	0,15
Estructuras para retención de agua†	0,004	0,10

*Es de esperar que una parte de las fisuras de la estructura superarán estos valores. Con el tiempo, el porcentaje de fisuras que superan estos valores puede ser significativo. Estos son lineamientos generales para el diseño, que se deben utilizar juntamente con un sólido juicio profesional.

† Excluyendo tuberías sin presión

Otra manera de controlar la fisuración en el concreto es por medio del uso de microfibras sintéticas, las cuales se utilizan regularmente para el control del agrietamiento por retracción plástica y también ayudan a disminuir la permeabilidad por lo que son muy convenientes en estructuras como los tanques.



Microfibras sintéticas de Nylon

Dentro del portafolio de productos TOXEMENT las fibras sintéticas para este tipo de estructuras sugerimos el uso de:

TIPO DE FIBRAS	APLICACIÓN	PRODUCTO	DESCRIPCIÓN	DOSIFICACIÓN
MICROFIBRAS	Retracción plástica	FIBERSTRAND 150	Microfibra sintética monofilamento, de polipropileno, para reforzamiento de concreto. Cumple con la norma ASTM C-1116, especificación estándar para concreto y concreto lanzado.	0.4 a 0.6 kg/m ³
		FIBERSTRAND N	Microfibra monofilamento de Nylon para reforzamiento de concreto. Cumple con la norma ASTM C-1116, especificación estándar para concreto y concreto lanzado reforzado con fibra.	0.6 kg/m ³

Tecnologías como contracción compensada, aditivos impermeabilizantes por cristalización, pueden también jugar un papel importante en el control de fisuración del concreto.

La colocación, consolidación y el curado adecuado del concreto son esenciales para controlar la fisuración

8. Reacción alcali agregado

De acuerdo la norma NTC 5551 Durabilidad de Estructuras de Concreto, en el anexo A.1.5, dice: "La reacción química de los agregados más conocida se da entre los álcalis del material cementante y la sílice amorfa de los agregados, la cual implica una reacción compleja entre los iones OH⁻ de la pasta hidratada del material cementante asociada con los álcalis y el sílice reactivo presente en algunos agregado, los álcalis (Na₂O y K₂O) provienen del material cementante y otros ingredientes.

La temperatura y la humedad relativa juegan un papel importante porque las reacciones químicas se aceleran al aumentar éstas.

Cuando no se encuentren disponibles agregados no reactivos, pueden usarse materiales reactivos, pero siempre después de hacer pruebas concluyentes y preferentemente después de conocer sus antecedentes en servicio con un límite apropiado de contenido de álcalis en el material cementante o con el uso de cantidades apropiadas de puzolana o escoria o ambas, una vez comprobada su eficiencia. La NTC 321 menciona como requisito opcional que el contenido de óxidos de sodio equivalente (0,658 K₂O + Na₂O) sea inferior al 0,6% de la masa del material cementante, previniendo el inteso de álcalis en solución.

La exposición intermitente de la estructura a ciclos de humedecimiento y secado puede originar cambios volumétricos y acelerar los procesos de deterior. Una baja relación a/m.c. (agua /material cementante), así como un adecuado curado o tratamiento superficial pueden impedir o retardar el fenómeno."

Dentro del portafolio de productos TOXEMENT para mitigar el efecto de éstas patologías sugerimos el uso de:

PRODUCTO	DESCRIPCIÓN	DOSIFICACIÓN
<p>EUCON MSA - MICROSILICA</p>	<p>Es un aditivo en polvo, color gris que adicionado al concreto le otorga características de alta resistencia mecánica y química. EUCON MSA - MICROSILICA reacciona con el hidróxido de calcio en la pasta de cemento, produciendo mayor cantidad de gel de silicato de calcio, incrementando las resistencias y durabilidad. Las partículas muy finas de micro sílice llenan los pequeños espacios entre las partículas de cemento creando un concreto más denso y menos permeable.</p> <p>EUCON MSA - MICROSILICA cumple con los requerimientos de ASTM C- 1240</p>	<p>Entre el 3% y 10% del peso del cemento y/o de acuerdo a las consideraciones técnicas de aplicación solicitadas.</p>
<p>EUCON MTC</p>	<p>EUCON MTC es un material sólido finamente molido, a base de aluminio – silicatos, utilizado como material cementante. Índice de Puzolanidad : >75%</p>	<p>La dosis de EUCON MTC depende de las características del concreto o diseño a producir, se recomienda consultar con el Departamento Técnico de TOXEMENT, para efectuar las mezclas previas y necesarias y determinar la dosificación óptima en función de sus materiales.</p>

Tal como indicamos antes, una baja relación a/m.c. (agua /material cementante) es importante para mitigar o evitar éste fenómeno. Para éste fin, se sugiere el uso de reductores de agua, TOXEMENT tiene un amplio portafolio el cual se puede encontrar en el siguiente link:

<http://www.toxement.com.co/segmentos/concretos/productos-sugeridos/>

Otras Fuentes:

“Durabilidad y Patología del Concreto” Ing. Diego Sánchez de Guzmán
<https://civilgeeks.com/2011/12/11/durabilidad-del-concreto/>



EUCLID CHEMICAL TOXEMENT

CONSTRUYENDO MEJORES PROYECTOS

WWW.TOXEMENT.COM.CO

Para mayor información consulte la hoja técnica visitando nuestro portal web o consulte nuestro departamento técnico.

**GUÍA DE ESPECIFICACIÓN PARA CONCRETOS DE
ALTA DURABILIDAD**

.....
VERSIÓN 2020