

**VERIFICACIÓN DE DIFERENTES TIPOS DE CONCRETOS FRENTE A LA  
PRESENCIA DE CLORUROS**

**CLARA ISABEL ARBELÁEZ GARCÍA**

**DIANA MARCELA MAYA GALLEGO**

**JOHAN ARBEY TAMAYO ARANGO**

**POLITÉCNICO COLOMBIANO JAIME ISAZA CADAVID**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS  
INGENIERÍA CIVIL**

**MEDELLÍN**

**2010**

**VERIFICACIÓN DE DIFERENTES TIPOS DE CONCRETOS FRENTE A LA  
PRESENCIA DE CLORUROS**

**CLARA ISABEL ARBELÁEZ GARCÍA**

**DIANA MARCELA MAYA GALLEGO**

**JOHAN ARBEY TAMAYO ARANGO**

**Wilmar Echeverri Patiño**

**Ingeniero Civil; Especialista en Patología de la Edificación**

**Marta Elena Zapata Pérez**

**Ingeniera Civil; Especialista en Gestión Pública**

**POLITÉCNICO COLOMBIANO JAIME ISAZA CADAVID**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**MEDELLÍN**

**2010**

NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

PRESIDENTE DEL JURADO

---

JURADO

---

JURADO

Medellín 24 de julio del 2010

A nuestras familias,  
que nos apoyaron  
durante todo el  
tiempo que estudiamos.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a Dios por darnos las fuerzas suficientes, para afrontar con sabiduría, inteligencia, y paciencia estos años de duras y largas jornadas.

A nuestras familias por su apoyo incondicional, por creer en nosotros y respetar nuestra voluntad para consumir nuestro sueño.

A todos los que un día estuvieron junto a nosotros en esta lucha y hoy nos acompañan desde el cielo.

A cada uno de los docentes que por su exigencia, profesionalismo y paciencia nos ayudaron en nuestra formación como Ingenieros Civiles.

## CONTENIDO

	pág.
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>18</b>
<b>1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>19</b>
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	19
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	19
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	19
1.4 DELIMITACIÓN .....	20
1.4.1 Conceptual.....	20
1.4.2 Espacial.....	20
1.4.3 Temporal.....	20
<b>2 HIPÓTESIS DEL TRABAJO .....</b>	<b>21</b>
<b>3 OBJETIVOS.....</b>	<b>22</b>
3.1 OBJETIVO GENERAL: .....	22
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS: .....	22
<b>4 MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>23</b>
4.1 ASPECTOS GENERALES.....	23
4.2 REFERENTE CONCEPTUAL .....	31
4.2.1 Concreto.....	31
4.2.2 Agregado.....	33
4.2.3 Agua.....	35
4.2.4 Aditivo.....	36
4.2.5 Cemento.....	37

4.2.6 Arena.....	38
4.2.7 Hormigón Armado.....	40
<b>4.3 REFERENTE LEGAL .....</b>	<b>40</b>
<b>5 DISEÑO METODOLÓGICO.....</b>	<b>43</b>
<b>5.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>43</b>
<b>5.2 POBLACIÓN.....</b>	<b>43</b>
<b>5.3 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN .....</b>	<b>43</b>
<b>5.4 FUENTES DE INFORMACIÓN.....</b>	<b>43</b>
5.4.1 Fuentes primarias.....	43
5.4.2 Fuentes secundarias.....	43
<b>5.5 ACTIVIDADES Y RESPONSABLES .....</b>	<b>44</b>
5.5.1 Actividad.....	44
5.5.2 Responsables.....	44
<b>5.6 CRONOGRAMA DE TRABAJO .....</b>	<b>44</b>
<b>6 DESARROLLO METODOLÓGICO .....</b>	<b>45</b>
<b>6.1 MATRIZ DE ENSAYOS .....</b>	<b>45</b>
6.1.1 Caracterización de los materiales.....	45
6.1.2 Diseño de mezcla.....	48
6.1.3 Resultados.....	50
<b>7. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>59</b>
<b>8. CONCLUSIONES.....</b>	<b>61</b>
<b>9 RECOMENDACIONES .....</b>	<b>62</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>63</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>65</b>

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1 Contenidos de sales perjudiciales en el agua.....	25
TABLA 2 Cantidades de iones perjudiciales en las aguas de mar.....	25
TABLA 3 Composición salina del agua de mar.....	26
TABLA 4 Granulometría del agregado grueso.....	34
TABLA 5 Concentraciones tolerables de impurezas en el agua de mezcla.....	35
TABLA 6 Peso de sustancias dañinas.....	39
TABLA 7 Granulometría del agregado fino.....	39
TABLA 8 Requisitos para condiciones especiales de exposición.....	41
TABLA 9 Contenido total de aire para concreto con aire incorporado.....	41
TABLA 10 Máximo contenido del ion cloruro, para protección contra la Corrosión.....	42
TABLA 11 caracterización del agregado fino.....	45
TABLA 12 caracterización del agregado grueso.....	46
TABLA 13 caracterización de la escoria.....	46
TABLA 14 caracterización de la ceniza.....	47
TABLA 15 caracterización del cemento.....	47
TABLA 16 diseño de mezcla de cemento estructural.....	48
TABLA 17 diseño de mezcla de la escoria.....	49
TABLA 18 diseño de mezcla de la ceniza.....	49

TABLA 19 Resistencia del cemento estructural.....	50
TABLA 20 Resistencia de la escoria.....	51
TABLA 21 Resistencia de la ceniza.....	53
TABLA 22 lectura según norma ASTM c 1202 de cemento estructural.....	56
TABLA 23 lectura según norma ASTM c 1202 de escoria.....	57
TABLA 22 lectura según norma ASTM c 1202 de ceniza.....	58

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIG 1 Pilas de hormigón fabricados con cemento portland de alto contenido de $C_3A$ sumergidos en agua de mar, con claros indicios de no resistir dicha agresión.....	27
FIG 2 Esquema de la corrosión producida por el agua de Mar.....	29
FIG 3 Zonas granulométricas, curvas ideales del agregado grueso y fino.....	34
FIG 4 Resistencias del cemento estructural $A/C = 0,40$ .....	50
FIG 5 Resistencias del cemento estructural $A/C = 0,45$ .....	51
FIG 6 Resistencias de la escoria $A/C = 0,40$ .....	52
FIG 7 Resistencias de la escoria $A/C = 0,45$ .....	52
FIG 8 Resistencias de la ceniza $A/C = 0,40$ .....	53
FIG 9 Resistencias de la ceniza $A/C = 0,45$ .....	54
FIG 10 cemento estructural vs escoria.....	54
FIG 11 cemento estructural vs ceniza.....	55
FIG 12 ceniza vs escoria.....	55
FIG 13 Cemento estructural permeabilidad vs resistencia .....	56
FIG 13 Escoria permeabilidad vs resistencia .....	57
FIG 14 Escoria permeabilidad vs resistencia .....	58

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
NORMA ASTM C 1202 DEL 97.....	65
NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 5551 2007-12-12.....	79

## GLOSARIO

**AGUA SALOBRE:** se llama agua salobre al agua que tiene más sal disuelta que el agua dulce, pero menos que el agua de mar.

Técnicamente, se considera agua salobre la que posee entre 0,5 y 30 gramos de sal por litro, expresados más frecuentemente como de 0,5 a 30 partes por mil.

El agua salobre es típica de los estuarios y resulta de la mezcla del agua del río correspondiente con el agua del mar. También se encuentra agua salobre de origen fósil en ciertos acuíferos asociados con rocas salinas. Se puede obtener a partir de la mezcla de agua dulce y agua de mar. Pero *salobre* cubre un rango de salinidad y no es una condición definida con precisión. Es característico del agua salobre que su salinidad pueda variar considerablemente a lo largo del tiempo y del lugar.

**ANHÍDRIDO CARBÓNICO:** gas más pesado que el aire, inodoro, incoloro, incombustible y asfixiante, que se produce en las combustiones y en algunas fermentaciones por la combinación del carbono con el oxígeno, también se conoce como dióxido de carbono.

**CEMENTO ALUMINOSO:** es un tipo de cemento en cuya fabricación se emplean caliza y bauxita, calentándose hasta los 1600°C (estado líquido) enfriándose rápidamente y pasando por un proceso de molido.

Antes de hidratarse, el cemento aluminoso está compuesto por alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) y cal ( $\text{CaO}$ ) ambas al 40%. Se combinan con agua dando aluminato cálcico hidratado.

**CEMENTOS PORTLAND:** es un conglomerante hidráulico que cuando se mezcla con áridos y agua tiene la propiedad de conformar una masa pétreo resistente y duradera denominada hormigón. Es el más usual en la construcción.

Como cemento hidráulico tiene la propiedad de fraguar y endurecer en presencia de agua, al reaccionar químicamente con ella para formar un material de buenas propiedades aglutinantes.

El cemento portland es el tipo más utilizado como aglomerante para la preparación del hormigón o concreto.

**CEMENTOS PUZOLÁNICOS:** se denomina *puzolana* a una fina ceniza volcánica que se extiende principalmente en la región del Lazio y la Campania, su nombre deriva de la localidad de Pozzuoli, en las proximidades de Nápoles, en las faldas del Vesubio. Posteriormente se ha generalizado a las cenizas volcánicas en otros lugares. Ya Vitrubio describía cuatro tipos de puzolana: negra, blanca, gris y roja.

Mezclada con cal (en la relación de 2 a 1) se comporta como el cemento puzolánico, y permite la preparación de una buena mezcla en grado de fraguar incluso bajo agua.

La puzolana es una piedra de naturaleza ácida, muy reactiva, al ser muy porosa y puede obtenerse a bajo precio. Un cemento puzolánico contiene aproximadamente:

- 55-70% de clinker Portland
- 30-45% de puzolana
- 2-4% de yeso

**CLÍNKER:** el clinker portland se forma tras calcinar caliza y arcilla a una temperatura que oscila entre 1350 y 1450 °C.

Se compone aproximadamente de:

- 40-60% Silicato tricálcico,
- 20-30% Silicato dicálcico,
- 7-14% Aluminato tricálcico,
- 5-12% Ferritoaluminato tetracálcico.

El aluminato tricálcico reacciona inmediatamente con el agua por lo que al hacer cemento, éste fragua al instante. Para evitarlo se añade yeso, que reacciona con el aluminato produciendo etringita o Sal de Candlot, sustancia que en exceso es dañina para el cemento. Generalmente su tiempo de curado se establece en 28 días, aunque su resistencia sigue aumentando tras ese periodo. Como aglomerante el clinker portland es un *aglomerante hidráulico*, por lo tanto:

- Necesita de agua para fraguar
- El agua de amasado no se evapora sino que pasa a ser parte de él una vez endurecido
- Fragua aunque se encuentre inmerso en agua

**CONGLOMERANTE:** se denomina al material capaz de unir fragmentos de uno o varios materiales y dar cohesión al conjunto mediante transformaciones químicas en su masa que originan nuevos compuestos. Los conglomerantes son utilizados como medio de ligazón, formando pastas llamadas morteros o argamasas.

Los conglomerantes más utilizados son el yeso, la cal, y el cemento. Se clasifican, según su composición, en:

Primarios

- Yeso
- Cal
- Cemento

Secundarios

- Mortero
- Hormigón

Materiales bituminosos

- Betún
- Asfalto
- Alquitrán

**Tipos de conglomerantes**

- Conglomerantes aéreos: los que endurecen en contacto con el aire.

- Conglomerantes hidráulicos: los que pueden endurecer en contacto con el aire y sumergidos en agua.

**CORROSIÓN:** se define como el deterioro de un material a consecuencia de un ataque electroquímico por su entorno. De manera más general, puede entenderse como la tendencia general que tienen los materiales a buscar su forma más estable o de menor energía interna. Siempre que la corrosión esté originada por una reacción electroquímica (oxidación), la velocidad a la que tiene lugar dependerá en alguna medida de la temperatura, de la salinidad del fluido en contacto con el metal y de las propiedades de los metales en cuestión. Otros materiales no metálicos también sufren corrosión mediante otros mecanismos.

La corrosión puede ser mediante una reacción química (oxidorreducción) en la que intervienen tres factores:

- la pieza manufacturada
- el ambiente
- el agua

**DETERIORO:** daño progresivo, en mayor o menor grado, de las facultades intelectuales o físicas de una persona. El conjunto de fenómenos mentales deficitarios debidos bien a la involución biológica propia de la vejez o bien a un trastorno patológico (arteriosclerosis, parálisis general, intoxicación, enfermedades mentales de larga duración, etc.)

**EROSIÓN:** se denomina erosión al proceso de sustracción o desgaste de la roca del suelo intacto (roca madre), por acción de procesos geológicos exógenos como las corrientes superficiales de agua o hielo glacial, el viento o la acción de los seres vivos. La erosión se refiere al transporte de granos y no a la disgregación de las rocas, por tanto, es distinta a la meteorización. El material erosionado puede estar conformado por:

- Fragmentos de rocas creados por abrasión mecánica por la propia acción del viento, aguas superficiales, glaciares y expansión-contracción térmica por variaciones estacionales o diurnas.
- Suelos, los cuales son creados por la descomposición química de las rocas mediante la acción combinada de ácidos débiles disueltos en agua superficial y meteórica, hidrólisis, ácidos orgánicos, bacterias, acción de plantas, etc.

•  
**LIXIVIACIÓN:** produce el desplazamiento de sustancias solubles o dispersables (arcilla, sales, hierro, humus, etc.); y es por ello característico de climas húmedos (Pluvisilva, etc.). Esto provoca que los horizontes superiores del suelo pierdan sus compuestos nutritivos, arrastrados por el agua; se vuelvan más ácidos, ya que queda compuestos insolubles (Aluminio); y a veces, también se origine toxicidad. También se pierden grandes cantidades de fertilizantes, al igual que los compuestos nutritivos.

**OXIDO DE ALUMINIO ( $Al_2O_3$ ):** óxido que se encuentra en la naturaleza en los minerales corindón,  $Al_2O_3$ ; diásporo,  $Al_2O_3 \cdot H_2O$ ; gibbsita,  $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ , y más frecuentemente en la bauxita, una forma impura de la gibbsita. Es el único óxido formado por el aluminio metal. Las piedras preciosas rubí y zafiro están compuestas por corindón coloreado por pequeñas impurezas.

**PUZULANAS:** son materiales silíceos o alumino-silíceos los cuales por sí solos poseen poco o ningún valor cementante, pero cuando se han dividido finamente y están en presencia de agua reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio a temperatura ambiente para formar compuestos con propiedades cementantes, según el código ASTM (1992), 618-78.

**SULFATO MAGNÉSICO:** de nombre común SAL DE EPSOM, es un compuesto químico que contiene magnesio, y cuya fórmula es  $Mg SO_4 \cdot 7H_2O$ . El sulfato de magnesio sin hidratar  $MgSO_4$  es muy poco frecuente y se emplea en la industria como agente secante. Por esta razón, cuando se dice «sulfato de magnesio» se entiende implícitamente la sal hidratada. El mismo criterio se aplica a la sal de Epsom. Para las preparaciones medicinales en las que se utilizará como solución acuosa se emplea el hidrato, porque los cristales hidratados de esta sal, que no son deliquescentes, pueden pesarse con escaso error y ser sometidos sin mayores inconvenientes a los procesos de control de calidad en la manufactura.

**TRASS:** el material vulgarmente llamado trass está formado por una toba de origen volcánico, molida, constituida generalmente por un gel amorfo de ácido silícico o un gel de  $SiO_2$  hidratado, que puede fraguar. Esta última forma constituye, en combinación con la hidratada, un silicato cálcico hidratado, que se endurece hidráulicamente (Wessely, 1961). El trass recibe también el nombre de puzolana.

**SIKA VISCOCRETE 5600** es un aditivo de tercera generación que sobrepasa ampliamente los requerimientos de los superplastificantes según las normas ASTM C494, SIA 162 y EN 934-2.

Ofrece una óptima dispersión del cementante y simultáneamente mejora su cohesión incluso a consistencias fluidas de las mezclas.

Las siguientes propiedades son obtenidas:

- Capacidad reductora de agua extremadamente alta (50%), ofreciendo una muy alta densidad y baja permeabilidad en las mezclas.
- Excelente fluidez disminuyendo radicalmente el tiempo y esfuerzo requerido en la colocación y compactación.
- Apropiado para la elaboración de concreto autocompactante • Gran desarrollo de resistencias iniciales.
- Mejora el desempeño ante la fluencia y reduce la retracción.
- Reduce la velocidad de carbonatación del concreto.

Sika ViscoCrete 5600 no contiene cloruros ni otro tipo de agentes agresores al acero de refuerzo. Por lo tanto puede ser empleado sin restricción alguna para concreto reforzado y preesforzado.

## RESUMEN

El trabajo realizado tiene como objetivo continuar las investigaciones sobre el efecto que tienen los iones cloruro sobre el comportamiento del concreto como cubierta protectora del acero de refuerzo, cuando esta expuestos a los agentes agresivos del medio ambiente.

Considerando la relevancia que tiene la relación agua/cemento en la obtención de las propiedades de compacidad del concreto y por tanto la facilidad de penetración de los cloruros en este, se realizaron varios ensayos en el laboratorio para determinar la mezcla optima que permitiera garantizar menores consecuencias en las estructuras sometidas a ataques por cloruros, se procedió.

Se realizaron varias pruebas tanto a los agregados finos y gruesos como a la pasta de cemento, con el fin de comparar con mayor facilidad cada uno de los resultados y con estos se hizo un diseño de mezclas para un volumen total de 50 Lt. Para poder realizar los cilindros y fallarlos a los 7 y 28 días, se utilizo en cada una de las mezclas el aditivo SIKA VIZCOCRETE 5600 del proveedor SIKA, escoria y ceniza equivalente al 20% del peso del concreto y como porcentaje de absorcion (%abs) tanto del agregado fino (arena) como del agregado grueso (grava) del 2%.

Después de la inmersión de los cilindros, a los 7 y 28 días se fallaron, y se obtuvo para las diferentes mezclas, resistencias a la compresión mayores para el concreto con mayor tiempo de fraguado.

## ASBTRAT

The work aims to continue investigations into the effect of chloride ions have on the behavior of concrete as a protective cover of reinforcing steel, when exposed to aggressive agents of the environment.

Considering the relevance of the water-cement ratio in securing the properties of compactness of the concrete and therefore the ease of penetration of chlorides in the east, several trials were conducted in the laboratory to determine the optimal mix that would ensure reduced impact in the structures subjected to chloride attack, we proceeded.

Several tests were conducted both fine and coarse aggregates and the cement paste, in order to more easily compare each of the results and these became a mix design for a total volume of 50 Lt. order and failed to make the cylinders at 7 and 28 days, was used in each of the additive mixtures VIZCOCRETE 5600 SIKA SIKA provider, slag and ash equivalent to 20% by weight of the concrete and as a percentage of absorption (% abs) both fine aggregate (sand) and the coarse aggregate (gravel) of 2%.

After the immersion of the cylinders, at 7 and 28 days failed, and was obtained for different mixtures, higher compressive strength for concrete with higher setting time.

## INTRODUCCIÓN

El mecanismo y la forma de evaluar la capacidad del concreto de resistir el ataque por cloruros no han sido todavía comprendidos de forma definitiva.

El método de permeabilidad al ion cloruro es uno de los tantos ensayos que tiene por objeto estudiar los mecanismos de penetración de los cloruros al concreto.

En los últimos años se ha obligado a los profesionales encargados de la construcción de obras civiles a que su trabajo sea realizado con materiales de buena calidad que satisfagan las especificaciones de sus clientes, de la sociedad y de las normas nacionales. Además que respondan a ataques externos asociados al medio ambiente.

Una de las formas para garantizar lo anterior en las obras civiles expuestas a ataques químicos, es realizar una inspección al concreto mediante ensayos de laboratorios rápidos, eficaces y económicos.

En el presente trabajo se describe un método rápido, para evaluar la permeabilidad del concreto frente a los cloruros, discutiendo la eficiencia y validez del ensayo.

Se describe de manera detallada y metodológica la forma de realizar en el laboratorio el ensayo de penetración de cloruros en el concreto.

# **1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

## **1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

A medida que pasa el tiempo el hombre ha tenido grandes inconvenientes que lo han atrasado en las construcciones realizadas en zonas marítimas, ya que en estas zonas la corrosión del acero de refuerzo a sido mayor debido a los ataques por cloruro.

En las últimas décadas se ha llevado a cabo un gran número de trabajo de investigación sobre el concreto, particularmente en lo que concierne a su resistencia a la corrosión y desgaste por acción del medio ambiente.

Determinar el comportamiento físico, químicos y mecánico del concreto bajo el efecto de los iones de cloruro asimilando a las condiciones ambientales a las cuales serán sometidas.

## **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Este problema se vuelve más importante a medida que los elementos estructurales son de proporciones mayores, estructuras cercanas a zonas marítimas, temperaturas altas para efecto del fraguado del concreto para poder determinar una vida útil del concreto. Afectando tanto al concreto como al acero de refuerzo; como es el caso de grandes edificaciones tanto en tamaño como en volumen, construcciones cercanas a mares o construcciones donde la temperatura es muy alta.

Con el ensayo se puede determinar las dosificaciones más convenientes de las mezclas y la posibilidad de mejorar sus propiedades con los aditivos y adiciones, proporcionando resistencias a compresión y a tracción; Más conveniente para la función estructural para la cual el concreto se está diseñando. Permite evaluar comparativa y cuantitativamente al hormigón, determinando que mezclas presenta mayor o menor permeabilidad de los cloruros.

## **1.3 JUSTIFICACIÓN**

Las acciones del deterioro sobre el hormigón son de tipo biológico y mecánicos, en donde alguna de sus acciones contribuye o conducen al deterioro del acero embebido en el concreto con la consecuencia final del proceso de corrosión.

El ensayo se realiza para mejorar las propiedades de la mezcla que se van a utilizar en las diferentes obras de construcción con el fin de garantizar la vida útil de las estructuras expuestas a agentes químicos

Con el ensayo se van a verificar las diferentes condiciones de la mezcla cuando está siendo penetrada por iones cloruros, para determinar las dosificaciones más convenientes de las mezclas y la posibilidad de mejorar sus propiedades proporcionando resistencia a compresión y a tracción

## **1.4 DELIMITACIÓN**

**1.4.1 Conceptual.** Se realiza el trabajo de investigación con base en ensayos de laboratorio para la evaluación de la presencia de cloruros en el concreto.

**1.4.2 Espacial.** Colombia posee en la costa atlántica una extensión de 1600 km y en la costa pacífica de 1300 km, teniendo al menos 10 ciudades costeras y una población aproximada de 6 millones.

Pero no solo en zona en este momento que son costeras se presentan estos daños por lo cloruros, también han sido estudiado zonas del centro del país, como son Bogotá y Medellín; ya que por su época antigua estos sitios antes eran zonas costeras o sumergidas en los océanos. Y en algunos casos se presentan deterioro en estas dos ciudades debido a la penetración de los cloruros por la presencia de los suelos y de las aguas subterráneas (nivel freático).

**1.4.3 Temporal.** El trabajo de investigación se realizara entre el segundo semestre académico del año 2009 y el primer semestre del 2010.

## **2 HIPÓTESIS DEL TRABAJO**

Los cloruros es un daño químico al concreto, que ataca directamente al acero de refuerzo provocando la corrosión de este, y afectando la vida útil de la estructura Este agente químico está presente desde el momento de la mezcla, o desde el exterior, ya sea porque la estructura está localizada en ambiente marino o en los suelos.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL:**

Evaluar la capacidad del concreto del ataque de los agentes agresivos del medio (cloruro), mediante el ensayo de permeabilidad al ion cloruro (ASTM C 1202 del 97)

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Verificar las diferentes condiciones de la mezcla cuando está siendo permeada por iones cloruro, caracterizando su resistencia a compresión, dependiendo de su relación a/c y del contenido del material cementante.
- Verificar las diferentes condiciones de la mezcla cuando está siendo permeada por iones cloruro cuando se está utilizando adiciones de ceniza tipo f y escoria de alto horno al material cementante.
- Elaborar un marco teórico referencial que fundamente, y que sustente todo los ensayos e investigaciones que se han realizado al concreto que es atacado por agentes químicos.

## 4 MARCO TEÓRICO

### 4.1 ASPECTOS GENERALES

- ENSAYO EN EL AGUA DE MAR

Uno de los grandes inconvenientes que ha tenido el concreto es la acción corrosiva del agua de mar, siendo esta un punto crítico para las estructuras cercanas a las zonas costeras. Por tal motivo se realizaron investigaciones de la corrosión en el campo. Comenzando por la observación a los hormigones sometidos a la acción de agua de mar. Siendo estos en los primeros que se apreciaron los daños y la solución del problema es más difícil, dada la complejidad del proceso de corrosión.

J. Smeaton y L. J. Vicat se ocuparon, ya en el año 1840, de la corrosión del hormigón causada por el agua de mar. El primer informe sobre el deterioro del hormigón debido a los ataques químicos, que tenían lugar en las instalaciones portuarias de Argel, fue emitido por L. J. Vicat, y data de 1841. En relación con los hormigones en contacto con el agua de mar, J. Smeaton y L. J. Vicat tuvieron que buscar un conglomerante que resistiera el ataque químico producido por esta causa.<sup>1</sup>

Algunos países donde se observaron los daños causados por la acción del agua de mar, y realizaron los primeros ensayos

En Alemania se realizaron ensayos en campo con bloques rompeolas de hormigón instalados en el año de 1890 y hoy en día todavía existen esta bloques rompeolas y siguen siendo observados.

Otros ensayos que realizaron en Alemania con una variación en el cemento portland (uno de ellos rico en cal y el otro al contrario) que fueron estudiadas por la Unión Alemana de Fabricantes de Cemento Portland, creando una comisión para el estudio de la acción del agua de mar sobre las obras marítimas de cemento, estos ensayos se dieron a conocer año tras año por W. Dyckerhoff, en las juntas generales de la Unión (siendo publicadas en las llamadas “actas”).

El año 1908, se formó el “Comité Especial de la Corrosión para el Hormigón Armado”, que se ocupó de los problemas de la corrosión.

Las actas levantadas por el Departamento de Obras Hidráulicas prusiano pusieron de manifiesto numerosos casos de deterioro, tomándose medidas para el esclarecimiento de sus causas. Durante la I Guerra Mundial y debido a la demolición de las fortificaciones de la isla Helgoland, se perdieron los datos más importantes. Los trabajos se continuaron por el Comité Especial para el Estudio de la acción del agua de mar, de la Comisión Alemana para el Estudio del Hormigón Armado, llevándose a cabo ensayos con probetas de hormigón, que fueron depositadas en el agua de mar en el puerto de Wilhelmshaven. Los resultados de estos ensayos fueron publicados en 1950 en el informe N° 102, “Hormigón en el agua de mar”, por A. Eckhardt y W. Kronsbein, informes que fueron completados

---

<sup>1</sup> Imbre Biczok – Dipl. Ing, La corrosión del Hormigón y su Protección. pág.: 148- 150

por A. Hummel y K. Wesche, en el informe N° 124, de 1956 con unas observaciones técnicas.<sup>2</sup>

El conjunto de los resultados de este trabajo fue valorado por la Comisión Alemana para el Estudio del Hormigón Armado, recogándose las conclusiones en las “Instrucciones para la construcción en el agua de mar”.

En Gran Bretaña también se observaron desperfectos de las construcciones que sufrían por la acción corrosiva del agua de mar. Por ello, en 1920 se organizó un comité especial para el estudio de las construcciones de las obras portuarias. En los informes publicados por el Instituto de Ingeniería de la Construcción, se intentó esclarecer las causas de los daños, mediante una comparación entre las obras que resistían el ataque del agua de mar y las obras que se destruían por dicho ataque. Este trabajo fue continuado en años posteriores por un “comité especial para el estudio de la acción del agua de mar”. Se publicó un informe que trataba, según F. Wernekke, de las experiencias que, con hormigón y especialmente con hormigón armado, fueron realizadas en las distintas partes del Imperio Británico.<sup>3</sup>

En Francia se comenzó en fecha temprana el estudio del comportamiento del hormigón sumergido en agua de mar. En el año de 1929, R. Foret, informó sobre los resultados de los trabajos ejecutados con la colaboración del Laboratoire des Ponts et Chaussées.

En Italia se han comenzado desde fecha muy remota, para las obras marítimas, cementos con adiciones puzolanas y, en ocasiones, mezclas de cal-puzolanas-cemento, ya que el país es rico en yacimientos puzolánicos. Sobre las experiencias realizadas, informaron L. Luigi y P. Periani.

En las costas de Italia, numerosas obras marítimas ejecutadas con puzolanas y cal hidráulica resisten desde hace más de 2000 años la erosión y la corrosión del agua de mar, según han comprobado en los años cincuenta una corrosión internacional de control.

En países escandinavos se llevaron a cabo ensayos masivos con los que se intentó esclarecer la influencia que las condiciones climatológicas pueden ejercer sobre la influencia del hormigón a la acción del agua de mar. Las observaciones practicadas en el mar del Norte y el mar Báltico han servido para reunir datos que, no sólo permiten conocer la influencia del clima, sino también porque en estos ensayos, en lugar de las puzolanas volcánicas corrientemente utilizadas, se empleó tierra de mole danesa (tierra de diatomeas). Los resultados fueron dados a conocer por A. Poulsen, durante los XIII y XIV Congreso Internacionales de Navegación.

En Holanda se llevaron a cabo ensayos análogos a los ejecutados en Escandinavia. Además, una comisión estudió en las Indias holandesas el comportamiento de las armaduras del hormigón armado, que estaba expuesto a la acción del agua de mar en condiciones tropicales.

En Estados Unidos de las investigaciones llevadas a cabo en los Estados Unidos de América merecen una consideración inmediata los “Informes oficiales” sobre

---

<sup>2</sup> Imbre Biczok – Dipl. Ing. La corrosión del Hormigón y su Protección. Pág.: 289-295

<sup>3</sup> Imbre Biczok – Dipl. Ing. La corrosión del Hormigón y su Protección. Pág.: 289-295

los puertos costeros. Según G. W. Atwood, que recopiló estadísticas de las obras que durante 60 años sufrieron la acción del agua de mar, se deduce que más del 62% de dichas construcciones han padecido ataques químicos. Es digno de señalar el hecho de que el estado de las obras más antiguas es relativamente bueno.<sup>4</sup>

- .LA ACCION CORROSIVA DEL AGUA DE MAR

La corrosión es la combinación de muchos factores, como los son las sales magnésicas y los sulfatos, si bien su acción ejerce, naturalmente, a largo plazo. Los muelles construidos con cemento portland.

Es el caso de del puerto de Marsella, que tan solo en 50 años se encuentra destruido. En el contenido total de sales perjudiciales en el agua de diferentes mares es el siguiente:<sup>5</sup>

TABLA 1  
CONTENIDO DE SALES TOTALES PERJUDICIALES EN EL AGUA

LUGARES	CONT. DE SALES	PORCENTAJE
MEDITERRÁNEO	38 g/l	3,80%
BÁLTICO	7 g/l	0,70%
MAR DEL NORTE Y OCEANO ATLÁNTICO	35 g/l	3,50%
MAR NEGRO	g/l	1,80%
MAR MUERTO (LAGO ASFALTITES)	53 g/l	5,30%

Fuente: La corrosión del Hormigón y su Protección.

TABLA 2  
CANTIDADES DE IONES PERJUDICIALES EN LAS AGUAS DE MAR

Iones	Cantidad de iones en mg/l		
	Mar Báltico	Mar del Norte	Océano Atlántico
[SO <sub>4</sub> ] <sup>-2</sup>	580	2 220	2810
Mg <sup>+2</sup>	260	1 110	1410
Ca <sup>+2</sup>	50	430	480
Cl <sup>-</sup>	3960	16 850	20000
Na <sup>+</sup>	2190	12 200	11100
K <sup>+</sup>	70	550	400

Fuente: La corrosión del Hormigón y su Protección.

Esta tabla recoge las cantidades de iones existentes en algunos de estos mares, según la norma DIN 4030. Debe observarse que las sales de mar están formadas

<sup>4</sup> Imbre Biczok – Dipl. Ing. La corrosión del Hormigón y su Protección. Pág.: 289-295

<sup>5</sup> Imbre Biczok – Dipl. Ing. La corrosión del Hormigón y su Protección. Pág.: 289-295

en un 88% a 89,5% por cloruro y en 8 a 10% por sulfatos. En algunas zonas costeras se encuentran las aguas llamadas salobres, mezclas de aguas dulce y salada. Mientras que en el Báltico existen zonas totalmente salobres, no es éste el caso de la zona Atlántica.<sup>6</sup>

TABLA 3  
COMPOSICIÓN SALINA DEL AGUA DE MAR

Denominación de la sal	g/1000 de agua	En % del total de sales
Cloruro sódico.....	26,9	78,32
Cloruro magnésico.....	3,2	9,44
Sulfato magnésico.....	2,2	6,40
Sulfato cálcico.....	1,3	3,94
Cloruro cálcico.....	0,6	1,69
Otras (sulfato potásico, bicarbonato cálcico, bromuro magnésico).....	---	0,21
Contenido total de sales	34,3	100

Fuente: La corrosión del Hormigón y su Protección.

El agua salobre corroe intensamente el hormigón y el acero, debido a su alto contenido de CO<sub>2</sub> y bajo PH. Caso contrario es el agua de mar que tiene una cantidad mas pequeña de CO<sub>2</sub> agresivo, y su PH es igual o superior a 8. También puede observarse a lo largo de la costa y a distintas profundidades, notables diferencias en las cantidades de sustancias disueltas en el agua. Por ello, en cada caso es necesario llevar a cabo un estudio particular. Los cementos portland y los puzolánicos se comportan mucho mejor. No se ha publicado nada todavía sobre la proporción de clínker o la composición mineralógica de estos cementos experimentales.

Como la resistencia de un hormigón frente a la corrosión del agua de mar es difícil de calcular ya que la naturaleza es poco conocida y sus ataques. La formación de sulfoaluminato cálcico en el hormigón es de origen tanto por las concentraciones de sulfatos y cloruros existentes en el agua de mar, como por la composición mineralógica del cemento portland.

La elevada concentración de sulfatos (cerca de 10% del total de sales, es decir, cerca del 3,7% g/l, si este total de sales es de 35 g/l) sería suficiente por sí sola para crear las condiciones necesarias para una corrosión del tipo III. Las sales de magnesio (que de un total de 35 g/l, representan aproximadamente 1,297 g/l de ion Mg<sup>+2</sup>) favorecen la creación de una corrosión del tipo II. Si el clínker contiene gran cantidad de C<sub>3</sub>A y el grado de saturación es elevado, los cloruros existentes en el agua de mar no puede evitar la formación de sulfoaluminato cálcico (v. la fig. 1), atacándose el hormigón. En un hormigón fabricado por cemento portland de

<sup>6</sup> Imbre Biczok – Dipl. Ing. La corrosión del Hormigón y su Protección. Pág.: 289-295

bajo contenido de  $C_3A$ , la corrosión sulfoaluminosa puede quedar totalmente inhibida por la acción de los cloruros. El papel presentado por la corrosión producida por el yeso es pequeño, pues, en presencia del  $NaCl$ , la solubilidad del yeso aumenta de tal manera que no es probable una cristalización del  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ . Por ello, el hormigón compactado e impermeable de cemento portland no se corroe o se corroe con gran lentitud en el agua de mar.<sup>7</sup>



Figura 1

Pilas de hormigón fabricados con cemento portland de alto contenido de  $C_3A$  sumergidos en agua de mar, con claros indicios de no resistir dicha agresión.

Fuente: La corrosión del Hormigón y su Protección.

El hidróxido magnésico se presenta en estado amorfo y se deposita en los poros del hormigón (Kind, 1954). También se destruye rápidamente los cristales de sulfoaluminato cálcico hidratado en una solución de sales de magnesio. Esta circunstancia impide también el desarrollo del proceso de corrosión. La corrosión magnésica producida por el agua de mar es poco importante, pues la cantidad de iones magnésicos es suficientemente pequeña para ser percibida en forma de  $Mg(OH)_2$ . La resistencia del hormigón a la corrosión producida por el agua de mar se controla realmente por la posibilidad de formación de sulfoaluminato cálcico hidratado. Papel de la densidad es impórtate en este aspecto.

El proceso de la destrucción del hormigón por los ataques del agua de mar está constituido por una gran cantidad de reacciones diferentes y más o menos simultáneas. La validez de esta afirmación se reconoce si recordamos que el agua de mar contiene cloruros y sulfatos, unidos tanto a los álcalis como al magnesio, y que, además, también adsorbe el anhídrido carbónico de la atmósfera. El hecho de que las aguas de mar se encuentren sometidas a un movimiento perpetuo debe también tenerse en cuenta, pues cada uno de sus ataques al hormigón va reforzado por la acción del oleaje, que intenta arrancar de sitio los trozos reblandecidos de hormigón, exponiendo a la acción química de las aguas las nuevas partes que quedan al descubierto.

---

<sup>7</sup> Imbre Biczok – Dipl. Ing. La corrosión del Hormigón y su Protección. Pág.: 289-295

También tiene importancia la influencia de la temperatura. Creemos poder afirmar que la resistencia a la congelación es el factor decisivo de la duración de las construcciones marinas de hormigón que se encuentran en las zonas polares, mientras que la resistencia a la agresión es un factor decisivo en las zonas tropicales.

El comportamiento de distintos cementos frente a las aguas de mar, según el boletín N° 1 de la "British Institution Of Civil Engineers", publicado en 1920, el hormigón de cemento portland de buena dosificación y adecuada fabricación resiste, en general, en buenas condiciones la acción de agua de mar, aunque puede aparecer desperfectos. Las construcciones marítimas de hormigón armado las resisten en peores condiciones, apareciendo los desperfectos al cabo de algunos años.

Un informe de la "Asociación de Fabricantes escandinavos de cemento Portland", del año 1923, comunica los resultados obtenidos en ensayos efectuados a lo largo de 20 años. Según dicho informe, la corrosión del hormigón causada por la heladas es de mayor intensidad que la provocada por las acciones químicas.

Según los resultados de los ensayos llevados a cabo por investigadores Alemanes, los hormigones fabricados con cemento portland, que contenían mayores cantidades de óxido de aluminio y hierro, presenta resistencia menores. Los hormigones fabricados con dosificaciones de cemento portland, siderúrgicos y de horno alto, comprendidos entre los 400 y 500 Kg/m<sup>3</sup>, relación agua/cemento entre 0,35 y 0,50, con y sin adición de trass, han permanecido durante más de 50 años bajo la acción del agua de mar sin presentar desperfectos (Seidel, 1959). Los hormigones no siempre resisten la acción química del agua de mar cuando la relación agua/cemento es excesivamente elevada, o cuando el hormigón no es impermeable.

E. Ferret publicó en 1922 los resultados de los ensayos realizados en Francia. Según ellos, el empleo del cemento portland de trass es más conveniente que el cemento portland. Los ensayos Italianos corroboran dicha afirmación.

Según los investigadores norteamericanos, debe existir en el cemento Portland pequeñas cantidades de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y CaO, lo que equivale a afirmar que el cemento Portland de alta resistencia es menos conveniente que el cemento Portland corriente. Es conveniente que el hormigón esté expuesto al aire después de su tratamiento de curado húmedo (Tyler, 1960).

Según R. Grun, el hormigón preparado con un conglomerante formado por un 70% a 80% de escorias pobres en cal y un 20 a 30% de cemento portland resiste bien la acción del agua de mar, siendo suficiente su resistencia mecánica. Bajo su punto de vista, las construcciones marítimas realizadas en la isla de Helgoland, mediante el empleo de cementos siderúrgicos pobres en cal, resistirían satisfactoriamente la acción de las aguas.

Según el "Comité de Hormigón del Congreso de Navegación", que tuvo lugar en el año 1949 en Lisboa, son apropiadas para las construcciones marítimas tanto el cemento de horno alto como el Portland normal, con adiciones puzolanas. No se han obtenido resultados favorables del empleo del cemento aluminoso en obras

marítimas de los Trópicos. Por el contrario, son favorables los resultados obtenidos en climas moderados.

Según los resultados de los resultados en gran escala efectuados por los Belgas P. Campus y J. Verschave, el ataque químico del agua de mar es tanto más lento cuanto más compacto e impermeable es el hormigón y mayor es la cantidad de  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 / \text{CaO}$  en el aglomerante. Los cementos Portland normales y de alta resistencia con un mínimo del 64% de CaO, se comportan de un modo débil incluso con adiciones de trass. La principal causa de destrucción resulta de la disolución de la cal, mientras que la absorción del  $\text{So}_3$  permanece dentro de los límites moderados (según comunicación al Congreso Internacional de Navegación, Lisboa, 1949).

Según H. E. Fernández (España), puede conseguir buenos resultados mediante el empleo de una mezcla de 50% de cemento Portland y un 50% de cemento Zumaya.

F. M. Lea y C. H. Desch (1956) citan innumerables ejemplos del comportamiento del Hormigón de cementos siderúrgicos frente al agua de mar. En Calais, el rompeolas construido con cemento siderúrgico hace 16 años se encuentra en muy buen estado. En Inglaterra el malecón construido en Skinningrove hace más de 50 años también se encuentra en buen estado. Para las grandes obras marítimas, ejecutadas en Helgoland los años 1908 a 1913, también se emplearon cementos siderúrgicos.

Según los ensayos de R. Ferret, realizados durante 10 años en el agua de mar, los hormigones de cemento de trass y horno alto resisten bien la acción de la misma.

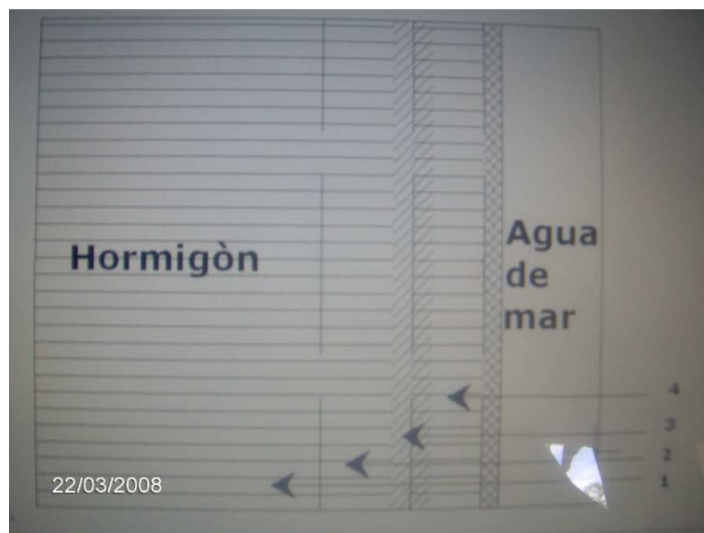


Figura 2

Esquema de la corrosión producida por el agua de mar (W. M. Moskwin): 1= zona de lixiviación (corrosión, tipo I); 2= zona de corrosión por los sulfatos (corrosión del tipo II); 3= parte de la zona de corrosión por los sulfatos en los que predomina la formación de yeso; 4= zona de la corrosión magnésica (corrosión del tipo II).

Fuente: La corrosión del Hormigón y su Protección.

El posible proceso de la corrosión producida por el agua de mar, según Moskwin, está representada en la figura 2. Inicialmente, el agua que penetra desde la derecha de la figura se libera de su ácido carbónico agresivo, formando una capa en el hormigón, en la que la cal se disuelve en forma de bicarbonato. La acción de las sales de magnesio de la solución que continúa introduciéndose crea corrosión del tipo II, haciendo que la cal se transforme en cloruro fácilmente soluble, o en sulfato poco soluble. La segunda capa se caracteriza por su carencia de cal, o porque ésta se encuentra en forma de yeso. En esta zona tiene lugar reacciones de intercambio, resultado que en la fase sólida se forma hidróxido magnésico y, en la fase líquida, cloruro cálcico.

Se trata, pues, en esta zona de corrosión típica de tipo II. Los productos de la corrosión, sueltos y amorfos, se depositan en los poros y grietas del hormigón. Forman una masa blanca y lechosa, citada por los investigadores que han estudiado este campo. El papel desempeñado por los restantes tipos de corrosión es insignificante.

También se libera hidróxido de magnesio. Los sulfatos sobrantes y no combinados con el magnesio continúan introduciéndose y forman en una tercera zona, de acuerdo con la corrosión del tipo III, yeso y bacilos del cemento. Debe tenerse en cuenta que tanto la zona segunda, como en su límite en la zona tercera, la presencia del magnesio hace que solo se forme yeso y no se formen bacilos del cemento. El agua liberada del ácido carbónico agresivo, de las sales magnésicas y de los sulfatos, continúa penetrando en el interior del hormigón, en el que, por lixiviación, produce una corrosión del tipo I.

Los límites de estas zonas no permanecen fijos, sino que varían constantemente al progresar la destrucción del hormigón, desplazándose hacia el interior, pero manteniendo su ordenación.

Las series de zonas citadas nos explica por qué los cristales de sulfoaluminato aparece con tan poca frecuencia en el hormigón, incluso en circunstancias que parecen propias para su formación, como se sabe, los cristales de sulfoaluminato cálcico se destruye con relativa rapidez en una solución de sales magnésicas se desplaza en la dirección de la corrosión sulfática. Esto ocurre cuando disminuye la difusión del  $\text{Ca(OH)}_2$  procedente de las capas internas del hormigón, penetrando el agua de mar, cargada de sales magnésicas, en la parte interna del hormigón.

En algunas islas oceánicas podemos encontrar condiciones que no sólo favorecen la corrosión de cimientos y otras obras subterráneas, sino también la de las construcciones sobre la tierra. Mientras que los cimientos son atacados por las aguas subterráneas, la parte de las edificaciones situadas por encima del nivel del terreno sufren el ataque provocado por el ambiente marítimo. El aire, que posee una riqueza de sales, penetra en los muros porosos de los edificios y destruye el mortero de cemento de las juntas.

La corrosión es más intensa en invierno y otoño, pues el aire en estas estaciones del año presenta una mayor humedad y está más saturado de sales. Los morteros se desmenuzan al mes y medio o dos meses, formando masas pastosas. En una isla del mar Caspio, se construyó una estructura de hormigón en los meses de

febrero y marzo de 1952, y ya en mayo pudieron observarse huellas de los ataques.

En los morteros, el sulfoaluminato se forma por la acción de un agua agresiva mucho más lentamente que por la acción de los gases atmosféricos, pues la infiltración del agua en los morteros, además de provocar la formación de sulfoaluminato de cálcico, va acompañada de la progresiva hidratación de las partículas del cemento.

Las nuevas combinaciones formadas a rellenar los poros del mortero, compactándolo y, simultáneamente, reduciendo la infiltración del agua agresiva.

Bajo la acción del aire, la corrosión tiene lugar como resultado de la formación del sulfoaluminato cálcico. El viento deposita nuevas dosis de las sales agresivas en la superficie del hormigón. El proceso de corrosión provocado por ellas va acompañado de la formación de cristales, lo que intensifica su acción, resultando una rápida acción, resultando una rápida destrucción del mortero y muro.

El agua utilizada en la mezcla del concreto debe estar limpia y libre de cantidades perjudiciales de cloruros, aceites, ácidos, álcalis, sales, materiales orgánicos u otras substancias que puedan ser dañinas para el concreto o el refuerzo. (Se recomienda cumplir la norma NTC 3459)<sup>1</sup>

## 4.2 REFERENTE CONCEPTUAL

**4.2.1 Concreto.** El concreto es una piedra artificial que el hombre ha desarrollado para usar en construcción donde otros materiales no son adecuados por su baja resistencia, fragilidad o alto costo.

La mezcla de grava, arena, cemento, aire y algunas veces aditivos origina un proceso químico que forma el concreto. Este proceso se realiza en cinco etapas independientes e interrelacionadas:

Dosificación

Mezclado

Transporte

Colocación

Curado

La calidad final depende de cómo se haya realizado cada una de estas etapas.

Por la tanto la resistencia en obra puede ser distinta a la resistencia de los cilindros de prueba que solo indica el comportamiento de la mezcla hasta la etapa en la que se tomó la muestra.

- **Concreto endurecido.** Es la piedra artificial lograda para la construcción de estructuras, la propiedad más importante del concreto endurecido en su vida útil debe ser la resistencia a las acciones de impacto, flexión, compresión, tracción, desgaste, corte y la duración a la intemperie.

En general, y sin exceso de agua, la resistencia se obtiene con cantidad generosa de grava. Con poca grava los concretos son poco resistentes al desgaste, a las fuerzas externas y son poco durables.

Aumento de la resistencia con el tiempo, el cemento se compone de cuatro elementos que no reaccionan al mismo tiempo, si no que lo hacen por tiempos. Se logra un aumento de la resistencia en la medida en que más cantidad de cemento reaccione en presencia de agua. Por lo tanto, para que el concreto alcance la resistencia proyectada, es indispensable al agua para el curado.

Permeabilidad o porosidad, esta propiedad también depende de la cantidad de agua agregada al concreto, se produce porosidad por una mala compactación de la mezcla. los concretos porosos tienen una menor durabilidad, pues el agua y el aire penetran y producen de corrosión en el acero de refuerzo que al aumentar de volumen, fisura y descascara el concreto que, en adelante, se deteriora rápidamente.

Expansión y contracción térmica, el concreto se expande con el calor y se contrae con el frío, lo cual hace necesarias las juntas de dilatación y de contracción. El concreto permanece tibio mientras se coloca y endurece y cuando termina el fraguado y la temperatura ambiente disminuye, tiende a contraerse. Si no se hacen juntas de expansión o dilatación, se ocasionarían fisuras. El origen de las fisuras son:

Se retracción: producidas por evaporación del agua en el concreto fresco.

Se contracción: producidas por la disminución de la temperatura en el concreto.

- **Concreto fresco.** Es la mezcla preparada y lista para transportar y colocar.

La manejabilidad es la principal característica del concreto fresco, debe garantizar que al colocar el concreto llegue a todos los rincones de la formaleta y pasa por entre las varillas de refuerzo.

La segregación, es la separación de la grava y el mortero cuando se transporta o coloca una mezcla. Si la mezcla se está en un balde o en una carreta, las piedras se van al fondo y el agua y la arena suben a la superficie. Si la mezcla baja por un canal, las piedras rodarán delante del mortero. En ambos casos el producto debe remezclarse para homogeneizarlo antes de ser colocado y vibrado.

El aire atrapado, Durante el mezclado y vaciado del concreto quedan burbujas de aire atrapadas de la mezcla, se debe efectuar una adecuada compactación para sacarlas y darle una mayor densidad. Puede hacerse con una varilla siempre que esta atraviese, en toda su profundidad, la capa de concreto.

La sedimentación, Se produce después de colocado y alisado el concreto; es el descenso lento de las piedras y el ascenso de agua, a través del mortero. Por este proceso el concreto del fondo queda más compacto, más denso, con menos agua y, por lo tanto, más resistente, mientras que, el de la parte superior queda más poroso y menos resistente.

La exudación, Parte del agua que asciende queda atrapada bajo las piedras y crea allí una cavidad. El agua que llega a la superficie se llama de exudación o

sangrado, e indica el proceso de sedimentación en el interior de la masa de concreto.

Las causas de la exudación son: Exceso de agua en la mezcla, Exceso de agregado grueso, Exceso de arena gruesa o falta de arena fina

Calor de hidratación, Se produce cuando el cemento reacciona con el agua, iniciándose aproximadamente una hora después de su mezcla y dura 24 horas o más. El calor de hidratación, el sol y el calor de los agregados, calientan la mezcla y aceleran la evaporación del agua, y se producen fisuras por retracción cuando no se toman las medidas sugeridas.

**4.2.2 Agregado.** Los agregados constituyen aproximadamente el 70% del volumen total del concreto e influyen notablemente en las propiedades del concreto recién mezclado y endurecido, en las proporciones de la mezcla, y en la economía. Los agregados finos comúnmente consisten en arena natural o piedra triturada siendo la mayoría de sus partículas menores que 5mm.

Los agregados gruesos consisten en una grava o una combinación de grava o agregado triturado cuyas partículas sean predominantemente mayores que 5mm y generalmente entre 9.5 mm y 38mm. Algunos depósitos naturales de agregado, a veces llamados gravas de mina, río, lago o lecho marino. El agregado triturado se produce triturando roca de cantera, piedra bola, guijarros, o grava de gran tamaño. La escoria de alto horno enfriada al aire y triturada también se utiliza como agregado grueso o fino.

Los agregados pueden provenir de fuentes naturales estimándose que el 16 km superiores de corteza terrestre están conformados por 95% de rocas ígneas, 5 % de rocas sedimentarias.

Rocas sedimentarias están formadas por productos de meteorización de la superficie de la tierra que se han re combinados y consolidado, sus características físicas como durabilidad, porosidad, y su peso específico, varían con las condiciones de calor y presión que haya existido cuando se formaron.

Las rocas ígneas aportan el mayor volumen de agregados para concreto. Se forma al enfriarse el magma que consiste especialmente en silicatos fundidos que provienen del interior de la tierra. La rapidez con que se enfrían las rocas ígneas cuando se forman, es un factor importante para determinar su carácter y propiedades.<sup>8</sup>

Las especificaciones, define dos tipos de formas de agregado

- **partículas largas** aquella cuya relación entre longitud y ancho ( $l/b$ ) es mayor de 1.5.

L= longitud de La partícula

B= ancho de la partícula

---

<sup>8</sup> P.K. Mehta y Milos Polivka, concreto fresco. Materiales y propiedades, pág. 25 y 26

- **partículas planas** aquellas cuya relación entre el espesor y el ancho ( $d/b$ ) es menor de 0.5

D= espesor de la partícula

B= ancho de la partícula<sup>9</sup>

### CURVA IDEALES DEL AGREGADO GRUESO Y FINO

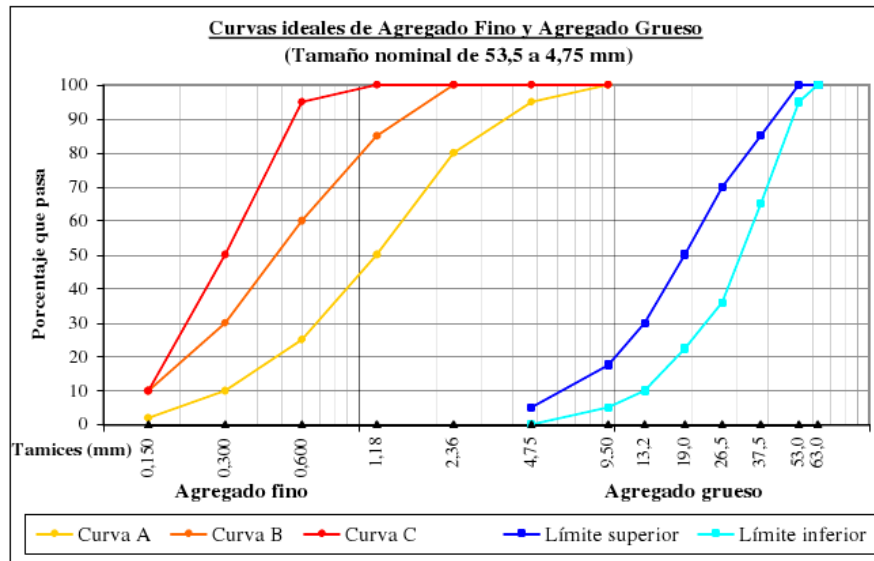


Figura 3 zonas granulométricas IRAM – CIRSOC  
[www.fing.uncu.edu.ar/catedras/tecnologia\\_hormigon/](http://www.fing.uncu.edu.ar/catedras/tecnologia_hormigon/)

TABLA 4 – GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO

Tamaño nominal (mm)	Porcentaje en masa, acumulado, que pasan por los tamices IRAM de mallas cuadradas									
	63,0mm	53,0mm	37,5mm	26,5mm	19,0mm	13,2mm	9,5mm	4,75mm	2,36mm	1,18mm
53 a 4,75	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	-	0 a 5	-	-
37,5 a 4,75	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	0 a 5	-	-
26,5 a 4,75	-	-	100	95 a 100	-	25 a 60	-	0 a 10	0 a 5	-
19,0 a 4,75	-	-	-	100	90 a 100	-	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-
13,2 a 4,75	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	-
53 a 26,5	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-
37,5 a 19,0	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-
9,5 a 2,36	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5

Fuente: <http://docs.google.com/>

<sup>9</sup> ICONTEC NTC 174

**4.2.3 Agua.** El agua es un factor importante para el mezclado de los materiales que conforman el concreto, esta debe de ser lo suficientemente buena para ser un excelente concreto. Sin embargo, el sabor, el olor o la fuente de abastecimiento sola no deben tomarse como razones suficientes para rechazar cualquier agua. En relación con su empleo en el concreto, el agua tiene dos diferentes aplicaciones: como ingrediente en la elaboración de las mezclas y como forma de curado de las estructuras recién construidas.

Aunque en estas aplicaciones las características del agua tienen efectos de diferente importancia sobre el concreto, es usual que se recomiende emplear agua de una sola calidad en ambos casos. Así, normalmente, en las especificaciones para concreto se hace referencia en primer término a los requisitos que debe cumplir el agua para elaborar el concreto, porque sus efectos son más importantes, y después se indica que el agua que se utilice para curarlo debe ser del mismo origen, o similar, para evitar que se subestime la segunda aplicación y se emplee agua de curado con características inadecuadas.

Como componente del concreto convencional, el agua suele representar aproximadamente entre 10 y 25 por ciento del volumen del concreto recién mezclado, dependiendo del tamaño máximo de agregado que se utilizó y del revenimiento que se requiera. Esto le concede una influencia importante a la calidad del agua de mezclado en el comportamiento y las propiedades del concreto, pues cualquier sustancia dañina que contenga, aun en proporciones reducidas, puede tener efectos adversos significativos en el concreto.

Las impurezas en el agua de mezcla, cuando son excesivas, pueden afectar el tiempo del fraguado, la resistencia del concreto, su constancia de volumen y también pueden producir corrosión en el refuerzo.

Para que tener un agua óptima para la mezcla esta debe contener menos de 2000 ppm (partículas por millón) de sólidos totales disueltos.

**TABLA 5 - CONCENTRACIONES TOLERABLES DE IMPUREZAS EN EL AGUA DE MEZCLA**

IMPUREZAS	MÁXIMA CONCENTRACIÓN TOLERADA.ASTM C-94
Carbonato de sodio y potasio	1,000 ppm
Cloruro de sodio	20,000 ppm
Cloruro como Cl (concreto preesforzado)	500 ppm
Cloruro como Cl (concreto húmedo o con elementos de aluminio, metales similares galvanizados.)	1,000 ppm
Sulfato de sodio	10,000 ppm
Sulfato como SO <sub>4</sub> <	3,000 ppm

Carbonato de calcio y magnesio, como ion bicarbonato	400 ppm
Cloruro de magnesio	40,000 ppm
Sulfato de magnesio	25,000 ppm
Cloruro de calcio (por peso de cemento de concreto)	2%
Sales de hierro	40,000 ppm
Yodato, arretando, fosfato y borato de sodio	100 ppm
PH	6.0 a 8.0
Hidróxido de sodio (por peso de cemento de concreto)	0.50%
Hidróxido de potasio (por peso de cemento de concreto)	1.20%
Azúcar	500 ppm
Aceite mineral (por peso de cemento de concreto)	2%
Agua con algas	0
Materia orgánica	20 ppm
Agua de mar (contenido total de sales para concreto no reforzado)	35,000 ppm
Agua de mar para concreto reforzado o preesforzado	No recomendable
Álcalis totales como Na+	-----
Dióxido de carbono disuelto CO <sub>2</sub>	-----
Sólidos en suspensión en agua natural	2,000 ppm
Sólidos en suspensión en agua reciclada	-----
Magnesio como Mg <sup>++</sup>	-----
Total de impurezas en solución	-----

Fuente : <http://www.imcyc.com/revista/2001/abril2001/concretos.htm>

El agua de mar que contenga hasta 35000 ppm de sales disueltas es generalmente buena para concreto sin refuerzo. Aunque la rapidez con la que adquiere resistencia puede no resultar afectada y aunque resulta ligeramente aumentada.<sup>10</sup>

**4.2.4 Aditivo.** Son productos capaces de disolverse en el agua duran el proceso de mezclado en porcentajes no superiores al 5% del peso del cemento. Teniendo los aditivos un propósito de producir una modificación en el comportamiento del concreto tanto en su estado fresco y/o en condiciones de trabajo.

<sup>10</sup> P.K. Mehta y Milos Polivka, concreto fresco. Materiales y propiedades, pág. 25 y 26

Los aditivos para el concreto pueden clasificarse en tres clases: aditivos químicos para reducir la cantidad de agua, para obtener manejabilidad y para controlar el fraguado; aditivos inclusores de aire para mejorar la manejabilidad, reducir el exudado y aumentar la durabilidad; y aditivos minerales para controlar el calor de hidratación y las reacciones entre los álcalis del cemento y los agregados.<sup>11</sup>

Aditivos químicos se clasifican como:

Tipo A reductores de agua

Tipo B retardadores de fraguado

Tipo C aceleradores de fraguado

Tipo D reductores de agua y retardadores de fraguado

Tipo E reductores de agua y aceleradores de fraguado<sup>12</sup>

Los aditivos se pueden clasificar la modificación que se tiene en estado fresco y en estado endurecido:

- **Estado fresco.** Incrementar la trabajabilidad sin aumento de agua o reducir el contenido de agua con similar trabajabilidad, Retardar o acelerar el fraguado, Modificar el asentamiento, Disminuir la exudación, Reducir la segregación, Mejorar la actitud del bombeo
- **Estado endurecido.** Acelerar la ganancia de resistencia temprana, Incrementar la resistencia, Mejorar la durabilidad frente a exposición severa Disminuir la permeabilidad, Producir expansión o controlar la contracción, Incrementar la adherencia con las barras de acero de refuerzo, Impedir la corrosión de las barras de refuerzo, Controlar la reacción álcali-agregado

**4.2.5 Cemento.** El cemento es un conglomerante hidráulico que, mezclado con agregados pétreos (árido grueso o grava, más árido fino o arena) y agua, crea una mezcla uniforme, maleable y plástica que fragua y se endurece al reaccionar con el agua, adquiriendo consistencia pétreo, denominado hormigón o concreto . Su principal función la de aglutinante. Es uno de los elementos más importantes que conforman el hormigón

El más conocido de todos es el cemento Portland, es un cemento hidráulico que proviene de materiales carcaridos, pulverizados y mezclados.

Esta mezcla se calcina a más o menos 1350°C, esto da como resultado una sustancia llamada CLINKER. Esta mezcla llamada clinker se vuelve a moler, se le adiciona yeso para mejorar y regular el fraguado.

A mayor cantidad de cemento en una mezcla, mayor será su resistencia, pero al mismo tiempo mayor será la retracción del fraguado y mayor será el costo de la obra.

- **Cemento portland.** es el tipo de cemento mas utilizado como aglomerante para la preparación del hormigón o concreto.

---

<sup>11</sup> P.K. Mehta y Milos Polivka, concreto fresco. Materiales y propiedades, pág. 36

<sup>12</sup> ASTM C494

TIPO I: se utiliza para elaborar hormigones de uso general en la construcción, como morteros de albañilería, de mampostería, hormigones simples y reforzados.

TIPO II: Se utiliza cuando se desea un bajo calor de hidratación. (La pérdida del agua sea muy lenta).

TIPO III: se utiliza cuando se desea un uso estructural o temprana edad, estos cementos no requieren de aditivos acelerantes. Muy utilizados para hormigones de alta resistencia mayores  $400 \text{ Kg/cm}^2$ , fragua más rápido.

TIPO IV : se utiliza para construir obras en gran masa y donde se requiera también un bajo calor de hidratación.

TIPO V: se utiliza donde se requiera una gran protección a ataques químicos, bajo calor de hidratación y no se requieran altas resistencias iniciales. Especial para construcciones marítimas.

- **Cementos portland especiales.** Son los cementos que se obtienen de la misma forma que el portland, pero que tienen características diferentes a causa de variaciones en el porcentaje de los componentes que lo forman.

El portland férrico está caracterizado por un *módulo* de fundentes de 0,64.

Esto significa que este cemento es muy rico en hierro. En efecto se obtiene introduciendo cenizas de pirita o minerales de hierro en polvo. Este tipo de composición comporta por lo tanto, además de una mayor presencia de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , una menor presencia de  $3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$  cuya hidratación es la que desarrolla más calor. Por este motivo estos cementos son particularmente apropiados para ser utilizados en climas cálidos.<sup>13</sup>

Los mejores cementos férricos son los que tienen un módulo calcáreo bajo, por lo tanto son más resistentes a las aguas agresivas.

- **Cementos blancos.** Contrariamente a los cementos férricos, los cementos blancos tienen un módulo de fundentes muy alto, aproximadamente 10. Estos contienen por lo tanto un porcentaje bajísimo de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . El color blanco es debido a la falta del hierro que le da una tonalidad grisácea al Portland normal y un gris más oscuro al cemento férrico. La reducción del  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  es compensada con el agregado de fluorita ( $\text{CaF}_2$ ) y de criolita ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ), necesarios en la fase de fabricación en el horno.<sup>14</sup>

**4.2.6 Arena.** El árido fino o arena constituye la mayor parte del porcentaje en peso del hormigón. Este porcentaje usualmente supera el 60% del peso en el hormigón fraguado y endurecido. La adecuación de un árido para la fabricación de hormigón debe cumplir un conjunto de requisitos usualmente recogidos en las normas. Dichos requisitos se refieren normalmente a la composición química, la granulometría, los coeficientes de forma y el tamaño.

El agregado fino consistirá en arena natural proveniente de canteras aluviales o de arena producida artificialmente. La forma de las partículas deberá ser

---

<sup>13</sup> M. ADAM, Aspectos del Hormigón, pág. 68

generalmente cúbica o esférica y razonablemente libre de partículas delgadas, planas o alargadas. La arena natural estará constituida por fragmentos de roca limpios, duros, compactos, durables.<sup>14</sup>

En general, el agregado fino o arena deberá cumplir con los requisitos establecidos en la norma ASTM C33, es decir, no deberá contener cantidades dañinas de arcilla, limo, álcalis, mica, materiales orgánicos y otras sustancias perjudiciales.

El máximo porcentaje en peso de sustancias dañinas no deberá exceder de los valores siguientes, expresados en porcentaje del peso:

**TABLA 6 - PESO SUSTANCIAS DAÑINAS**

<b>Sustancia</b>	<b>Norma</b>	<b>Límite máximo (%)</b>
Material que pasa por el tamiz nº 200	(ASTM C 117)	3%
Materiales ligeros	(ASTM C 123)	1%
Grumos de arcilla	(ASTM C 142)	1%
Total de otras sustancias dañinas (como álcalis, mica, limo)	-	2%
Pérdida por meteorización	(ASTM C 88, método Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	10%

Fuente: T. William Lambe. Robert V. Whitman. Mecánica de suelos.

El agregado fino deberá estar bien gradado entre los límites fino y grueso y deberá llegar tener la granulometría siguiente:

**TABLA 7 - GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO**

<b>Tamiz U.S.Standard</b>	<b>Dimensión de la malla (mm)</b>	<b>Porcentaje en peso que pasa</b>
Nº 3/8"	9,52	100
Nº 4	4,75	95 - 100
Nº 8	2,36	80 - 100
Nº 16	1,18	50 - 85
Nº 30	0,60	25 - 60
Nº 50	0,30	10 - 30
Nº 100	0,15	2 - 10

Fuente: T. William Lambe. Robert V. Whitman. Mecánica de suelos.

<sup>14</sup> T. William Lambe. Robert V. Whitman. Mecánica de suelos, pág. 148

Además de los límites granulométricos indicados arriba, el agregado fino deberá tener un **módulo de finura** que no sea menor de 2,3 ni mayor de 3.1.

El módulo de finura se determina dividiendo por 100 la suma de los porcentajes acumulados retenidos en los tamices U.S. Standard N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50 y N°100.

**4.2.7 Hormigón Armado.** La técnica constructiva del hormigón armado consiste en la utilización de hormigón reforzado con barras o mallas de acero, llamadas armaduras. También es posible armarlo con fibras, tales como fibras plásticas, fibra de vidrio, fibras de acero o combinaciones de barras de acero con fibras dependiendo de los requerimientos a los que estará sometido. El hormigón armado es de amplio uso en la construcción siendo utilizado en edificios de todo tipo, caminos, puentes, presas, túneles y obras industriales.

El hormigón en masa es un material moldeable y con buenas propiedades mecánicas y de durabilidad, y aunque resiste tensiones y esfuerzos de compresión apreciables tiene una resistencia a la tracción muy reducida. Por eso se usa combinado con acero, que cumple la misión de resistir las tensiones de tracción que aparecen en la estructura.

En los elementos lineales alargados, como vigas y pilares las barras longitudinales, llamadas armado principal o longitudinal. Estas barras de acero se dimensionan de acuerdo a la magnitud del esfuerzo axial y los momentos flectores, mientras que el esfuerzo cortante y el momento torsor condicionan las características de la armadura transversal o secundaria.<sup>15</sup>

### 4.3 REFERENTE LEGAL

#### \*1 EXPOSICION A AMBIENTE HUMEDO O MARINO

De acuerdo con la norma NSR-98 en el numeral C.4.2.1 - El concreto que esté expuesto a ciclos de congelamiento y descongelamiento, o a químicos que impidan el congelamiento, debe tener aire incorporado, en las cantidades indicadas en la tabla C.4-1. La tolerancia en el contenido de aire debe ser  $\pm 1.5$  por ciento. Para resistencias nominales a la compresión,  $f_{c\phi}$ , mayores de 35 MPa, los contenidos de aire dados en la tabla C.4-1 pueden reducirse hasta 1.0 por ciento.

---

<sup>15</sup> ROSELL, JAUME; CÁRCAMO, JOAQUÍN . Los orígenes del hormigón armado y su introducción

Tabla 8

TABLA C.4-2  
REQUISITOS PARA CONDICIONES ESPECIALES DE EXPOSICION

Condiciones de exposición	Máxima relación agua-material cementante, por peso para concretos de peso normal	Resistencia mínima a la compresión, $f'_c$ , en MPa
Concreto de baja permeabilidad para ser expuesto al agua	0.50	24
Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y descongelamiento en una condición húmeda, o a químicos que impidan el congelamiento	0.45	31
Para la protección contra la corrosión del refuerzo de concreto expuesto a cloruros, sal, agua salina o que puede ser salpicado por agua salina	0.40	35

Norma Sismo Resistente de 1998 (NSR 98)

Tabla 9

TABLA C.4-1  
CONTENIDO TOTAL DE AIRE PARA CONCRETO CON AIRE INCORPORADO

tamaño nominal máximo del agregado, mm (nota-1)	Contenido de aire, porcentaje	
	exposición severa	exposición moderada
9.5 (3/8")	7.5%	6.5%
12.7 (1/2")	7.0%	5.5%
19.1 (3/4")	6.0%	5.0%
25.4 (1")	6.0%	4.5%
38.1 (1-1/2")	5.5%	4.5%
50.8 (2") (nota-2)	5.0%	4.0%
76.2 (3") (nota-2)	4.5%	3.5%

Nota - 1: Véase la norma NTC 174 (ASTM C33) para las tolerancias en el tamaño nominal máximo de los agregados, Nota - 2: Estos contenidos de aire corresponden a la mezcla total, al igual que los anteriores. En estos casos, cuando se esté realizando el ensayo de contenido de aire, los agregados mayores de 38.1 mm (1-1/2") se retiran, ya sea manualmente o por medio de tamizado, y el contenido de aire se determina sobre los agregados restantes (la tolerancia en el contenido de aire se aplica sobre este valor). El contenido de aire de la mezcla total se calcula sobre los agregados restantes después de que se retiran los mayores de 38.1 mm (1-1/2").

Norma Sismo Resistente de 1998 (NSR 98)

#### C.4.4 - CORROSIÓN DEL REFUERZO

**C.4.4.1** - Con el fin de proteger el acero de refuerzo contra la corrosión, las concentraciones máximas de ion cloruro soluble en agua, medidas en el concreto endurecido con edades entre 28 y 42 días, aportado por los ingredientes del concreto incluyendo el agua, los agregados, el material cementante y los aditivos, no debe exceder los límites de la tabla C.4-5. El procedimiento de ensayo para

determinar el contenido de ion cloruro soluble en agua debe ser el dado por la norma NTC 4049 (ASTM C1218 o AASHTO T260).

**C.4.4.2** - Cuando el concreto reforzado pueda verse expuesto a agua salina o marina, o a salpicaduras de esta agua, deben cumplirse los requisitos de relación agua-material cementante dados en la tabla C.4-2 y los requisitos de recubrimiento del refuerzo dados en C.7.7. Véase C.18.14 respecto a tendones de preesfuerzo no adheridos.

Tabla 10  
TABLA C.4-5  
MAXIMO CONTENIDO DEL ION CLORURO, PARA PROTECCION CONTRA LA CORROSION

Tipo de Elemento	Máximo contenido del Ion Cloruro (Cl <sup>-</sup> ) en el concreto expresado como porcentaje del peso del cemento
Concreto preesforzado	0.06
Concreto reforzado expuesto al cloruro en servicio	0.15
Concreto reforzado que estará seco o protegido de la humedad en servicio	1.00
Otros tipos de construcción en concreto reforzado	0.30

**Norma Sismo Resistente de 1998 (NSR 98)**

\*1 obtenido de la Norma Sismo Resistente de 1998 (NSR 98), del Título C "concreto estructural".

**NORMA ASTM C 1202 DEL 97 ver anexos.**

**NORMA NTC 5551 ver anexos.**

## 5 DISEÑO METODOLÓGICO

### 5.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación mixta es aquella que participa de la naturaleza de la investigación documental y de la investigación de campo. La investigación documental es aquella que se realiza a través de la consulta de documentos (libros, revistas, periódicos, memorias, anuarios, registros, códigos, constituciones, etc.). La de campo o investigación directa es la que se efectúa en el lugar y tiempo en que ocurren los fenómenos objeto de estudio.

Para nuestra investigación nosotros aplicamos este tipo de investigación ya que consultamos sobre nuestro tema en diferentes fuentes de información como libros de concretos, memorias de congresos e internet. También nos basamos en los ensayos, cálculos y análisis realizados.

### 5.2 POBLACIÓN

La población en la que se basa nuestra investigación es principalmente a la que se encuentre relacionado con el sector de la construcción que se realicen en las zonas costeras de nuestro territorio colombiano. Ya que nuestro proyecto no ha sido muy estudiado en nuestro país, pero además somos uno países donde tenemos gran parte del territorio nacional con zonas marinas y poseemos dos océanos.

### 5.3 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Para nuestra investigación la forma de recolección de información se basa básicamente en dos técnicas que son:

- Consulta de información, que se realiza mediante textos descritos según las fichas bibliográficas de esta tesis, Con el cual se elabora el marco teórico o concepto del presente trabajo.
- Ensayos de laboratorio, los cuales son básicamente los factores determinantes en el análisis de la investigación.
- Análisis de resultados
- Conclusiones

### 5.4 FUENTES DE INFORMACIÓN

**5.4.1 Fuentes primarias.** Wilmar Alberto Echeverri Patiño: Ingeniero Civil  
Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid

**5.4.2 Fuentes secundarias.**

- Libros
- Revistas

- Internet
- Ensayos de laboratorios

## 5.5 ACTIVIDADES Y RESPONSABLES

### 5.5.1 Actividad.

- Recopilación de información.
- Ensayos de laboratorio.

**5.5.2 Responsables.** Los responsables de las actividades serán:  
Clara Isabel Arbeláez García, Diana Marcela Maya Gallego, Johan Arbey Tamayo Arango.

## 5.6 CRONOGRAMA DE TRABAJO

#	ACTIVIDAD	2009 1° SEMESTRE						2009 2° SEMESTRE					2010 1° SEMESTRE							
		ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO
1	RECOPIACION DE LA INFORMACION																			
2	PRUEBAS DE LABORATORIO																			
3	ANALISIS DE RESULTADOS																			
4	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA																			
5	CONCLUSIONES FIN DEL PROYECTO																			

## 6 DESARROLLO METODOLÓGICO

Se realiza una matriz de ensayos que consiste en la recolección de los datos obtenidos en las diferentes pruebas realizadas tanto a los agregados finos y gruesos como a la pasta de cemento con el fin de comparar con mayor facilidad cada uno de los resultados.

### 6.1 MATRIZ DE ENSAYOS

#### 6.1.1 Caracterización de los materiales

- Agregado fino "Procopal S.A."

Tabla 11 caracterización del agregado fino

<b>Contenido de limos y arcillas NTC 78</b>	
Peso del material antes de lavar	500 gr
Peso del material desoues de lavar	487,92 gr
% de materia pasante malla N° 200	2,416 %

<b>Contenido de materia organica NTC 127</b>	
Muestra numero	1
Color de la muestra	Nº

<b>Densidad y porcentaje de absorción NTC237</b>		
Peso de la arena en estado seco S.S.S	500	grs
Lectura inicial frasco "CHAPMAN"	200	cc
Lectura final frasco "CHAPMAN"	387	cc
Peso seco de la arena	493,9	grs
Volumen desalojado	187	cc
Densidad aparente seca	2,64	g/cc
Densidad aparente S.S.S	2,67	g/cc
Porcentaje de absorción	1,42	%

- **Agregado grueso "Canteras Delbia"**

Tabla 12 caracterización del agregado grueso

<b>Densidad y porcentaje de absorción NTC 237</b>		
Peso de la arena en estado seco S.S.S	2000	grs
Peso de canastilla sumergida	0	grs
peso de canastilla + material sumergidos	1282	grs
volumne desalojado	718	cc
peso seco del material	1982	grs
Densidad aparente seca	2,75	g/cc
Densidad aparente S.S.S	2,79	g/cc
Porcentaje de absorción	0,91	%

<b>TAMIZADO DE MATERIALES GRANULADOS NTC 77</b>			
<b>NUMERO DEL TAMIZ</b>	<b>% RETENIDO</b>		
	<b>PESO grs</b>	<b>INDIVIDUAL</b>	<b>ACOMULADO</b>
1"			
3/4"	301	7,53	7,53
1/2"	1789	44,73	52,25
3/8"	1059,9	26,50	78,75
Nº4	696,9	17,42	96,17
Fondo	153	3,83	100,00
	3999,8		

- **Escoria de alto horno**

Tabla 13 caracterización de la escoria

<b>COMPOSICIÓN QUIMICA ASTM c 989</b>	
P.I.	0,85%
SiO <sub>2</sub>	31%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,10%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,60%
CaO	41%
MgO	6%
SO <sub>3</sub>	2,10%
K <sub>2</sub> O	0,20%
Na <sub>2</sub> O	0,40%

- **Ceniza tipo F**

Tabla 14 caracterización de la ceniza

<b>QUIMICOS Y I.A DE CENIZA TIPO F ASTM C 618</b>	
Inquemados	9%
Retenidos malla 45 micras	45%
Humedad	3%
Indice de actividad	75%
Oxido de hierro	8,25%
Oxido de aluminio	28%
Oxido de azufre	0,02%
Oxido de silice	50%

- **Cemento Estructural tipo I**

Tabla 15 caracterización del cemento

<b>PARAMETROS SEGÚN ASTM 1157 Y NTC 121</b>	
<b>FISICOS</b>	
Blaine	4190,61 cm <sup>2</sup> /g
PF	110,89 min
FF	216,43 min
Expansión	0,003%
<b>RESISTENCIAS A COMPRESIÓN A:</b>	
1 día	13,64 Mpa
3 días	23,78 Mpa
7 días	30,02 Mpa
28 días	38,54 Mpa

<b>PARAMETROS SEGÚN ASTM 1157 Y NTC 321</b>	
<b>QUIMICOS</b>	
SiO <sub>2</sub>	19,90%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,40%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,29%
CaO	61,57%
MgO	2,58%
Na <sub>2</sub> O	0,10%
K <sub>2</sub> O	0,27%
SO <sub>3</sub>	2,02%
Cal libre	1,09%
EA	0,27%
P.P.C	4,32%
R.I	1,38%
C3A	6,10%

### 6.1.2 Diseño de mezcla

- **Cemento estructural**

TABLA 16 diseño de mezcla de cemento estructural

<b>COMPONENTES DEL DISEÑO DE RELACION A/C= 0,4</b>					
<b>MATERIALES</b>	<b>CEMENTO (kg)</b>	<b>ARENA (kg)</b>	<b>GRAVA (kg)</b>	<b>AGUA</b>	<b>ADITIVO 1</b>
<b>CANTIDAD</b>	18,00	48,70	52,05	7,20	1,00%
<b>DENSIDAD</b>	3,05	2,67	2,79	1,00	1,26
<b>VOLUMEN</b>	5,90	18,24	18,66	7,20	0,01
<b>AGUA/CEMENTO</b>	0,4				
<b>ARENA/AGREGADO</b>	48,3%				
<b>COMPONENTES DEL DISEÑO DE RELACION A/C 0,45</b>					
<b>MATERIALES</b>	<b>CEMENTO (kg)</b>	<b>ARENA (kg)</b>	<b>GRAVA (kg)</b>	<b>AGUA</b>	<b>ADITIVO 1</b>
<b>CANTIDAD</b>	18,00	46,85	51,48	8,10	1,00%
<b>DENSIDAD</b>	3,05	2,67	2,79	1,00	1,26
<b>VOLUMEN</b>	5,90	17,55	18,45	8,10	0,01
<b>AGUA/CEMENTO</b>	0,45				
<b>ARENA/AGREGADO</b>	47,6%				

- **Diseño de mezcla para escoria**

TABLA 17 diseño de mezcla de la escoria

<b>COMPONENTES DEL DISEÑO DE RELACION A/C= 0,4</b>						
<b>MATERIALES</b>	<b>CEMENTO (kg)</b>	<b>ESCORIA (Kg)</b>	<b>ARENA (kg)</b>	<b>GRAV A (kg)</b>	<b>AGUA</b>	<b>ADITIVO 1</b>
<b>CANTIDAD</b>	18,00	3,60	46,79	50,15	8,64	1,40%
<b>DENSIDAD</b>	3,05		2,67	2,79	1,00	1,26
<b>VOLUMEN</b>	5,90		17,52	17,97	8,64	0,01
<b>AGUA/CEMENTO</b>	0,40					
<b>ARENA/AGREGADO</b>	48,3%					
<b>COMPONENTES DEL DISEÑO DE RELACION A/C 0,45</b>						
<b>MATERIALES</b>	<b>CEMENTO (kg)</b>	<b>ESCORIA (Kg)</b>	<b>ARENA (kg)</b>	<b>GRAV A (kg)</b>	<b>AGUA</b>	<b>ADITIVO 1</b>
<b>CANTIDAD</b>	18,00	3,60	44,71	49,25	9,72	0,01
<b>DENSIDAD</b>	3,05		2,67	2,79	1,00	1,26
<b>VOLUMEN</b>	5,90		16,75	17,65	9,72	0,01
<b>AGUA/CEMENTO</b>	0,45					
<b>ARENA/AGREGADO</b>	47,6%					

- **Diseño de mezcla para ceniza**

TABLA 18 diseño de mezcla de la ceniza

<b>COMPONENTES DEL DISEÑO DE RELACION A/C= 0,4</b>						
<b>MATERIALES</b>	<b>CEMENTO (kg)</b>	<b>CENIZA (Kg)</b>	<b>ARENA (kg)</b>	<b>GRAV A (kg)</b>	<b>AGUA</b>	<b>ADITIVO 1</b>
<b>CANTIDAD</b>	18,00	3,60	46,81	50,15	8,57	0,01
<b>DENSIDAD</b>	3,05		2,67	2,79	1,00	1,26
<b>VOLUMEN</b>	5,90		17,53	17,97	8,57	0,01
<b>AGUA/CEMENTO</b>	0,40					
<b>ARENA/AGREGADO</b>	48,3%					
<b>COMPONENTES DEL DISEÑO DE RELACION A/C 0,45</b>						
<b>MATERIALES</b>	<b>CEMENTO (kg)</b>	<b>CENIZA (Kg)</b>	<b>ARENA (kg)</b>	<b>GRAV A (kg)</b>	<b>AGUA</b>	<b>ADITIVO 1</b>
<b>CANTIDAD</b>	18,00	3,60	44,84	49,38	9,64	0,01
<b>DENSIDAD</b>	3,05		2,67	2,79	1,00	1,26
<b>VOLUMEN</b>	5,90		16,79	17,70	9,64	0,01
<b>AGUA/CEMENTO</b>	0,45					
<b>ARENA/AGREGADO</b>	47,6%					

Las mezclas de concreto depende del porcentaje de absorción (%abs) y porcentaje de humedad (%W) que el material tanto fino (arena) y grueso (grava) posee a la hora de la elaboración de las mezclas. Las correcciones de las mezclas por estos dos factores son mencionadas a continuación.

### 6.1.3 Resultados.

- Resistencias obtenidas para la mezcla realizada con cemento estructural

TABLA 19 Resistencia del cemento estructural

CEMENTO ESTRUCTURAL						
DIAS	A/C	RESISTENCIA				
		KN	PROMEDIO (KN)	PROMEDIO (N)	PROMEDIO Pa	PROMEDIO PSI
7	0,4	430,9	438,1	438100	24016705,78	3483,33
		445,3				
	0,45	387	376,95	376950	20664453,88	2997,13
		366,9				
28	0,4	498,1	502,45	502450	27544382,15	3994,98
		506,8				
	0,45	586	588,5	588500	32261655,68	4679,17
		591				

FIG 4 Resistencias del cemento estructural A/C = 0,40

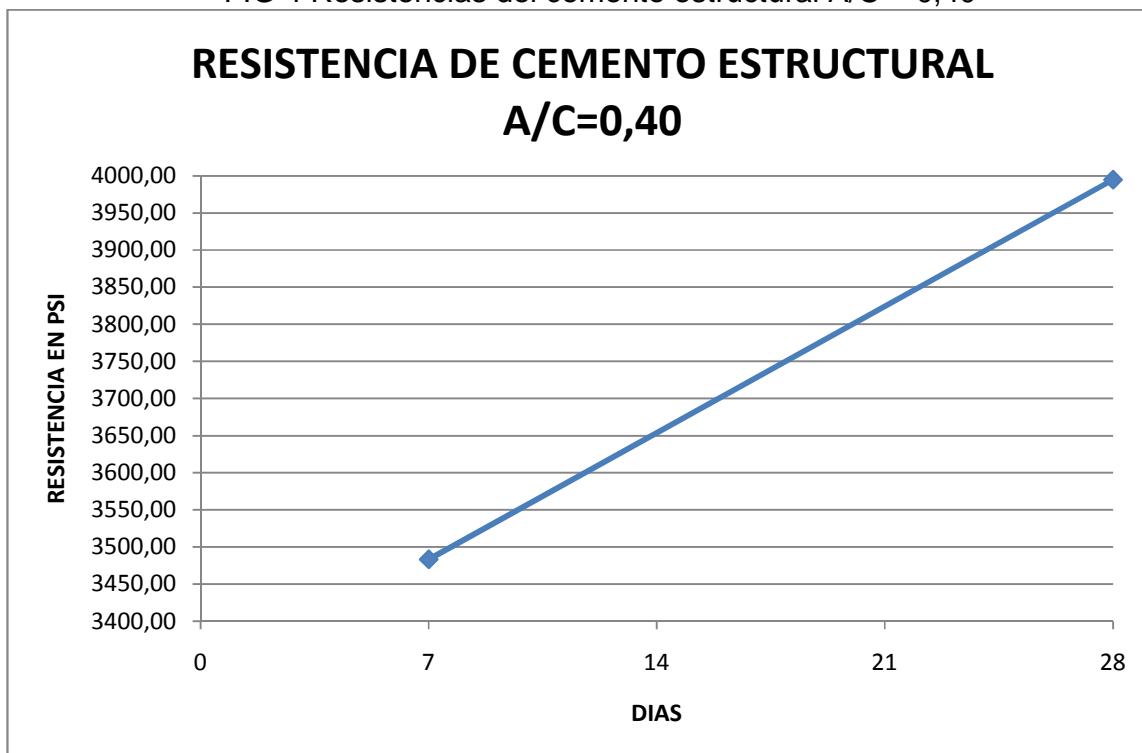
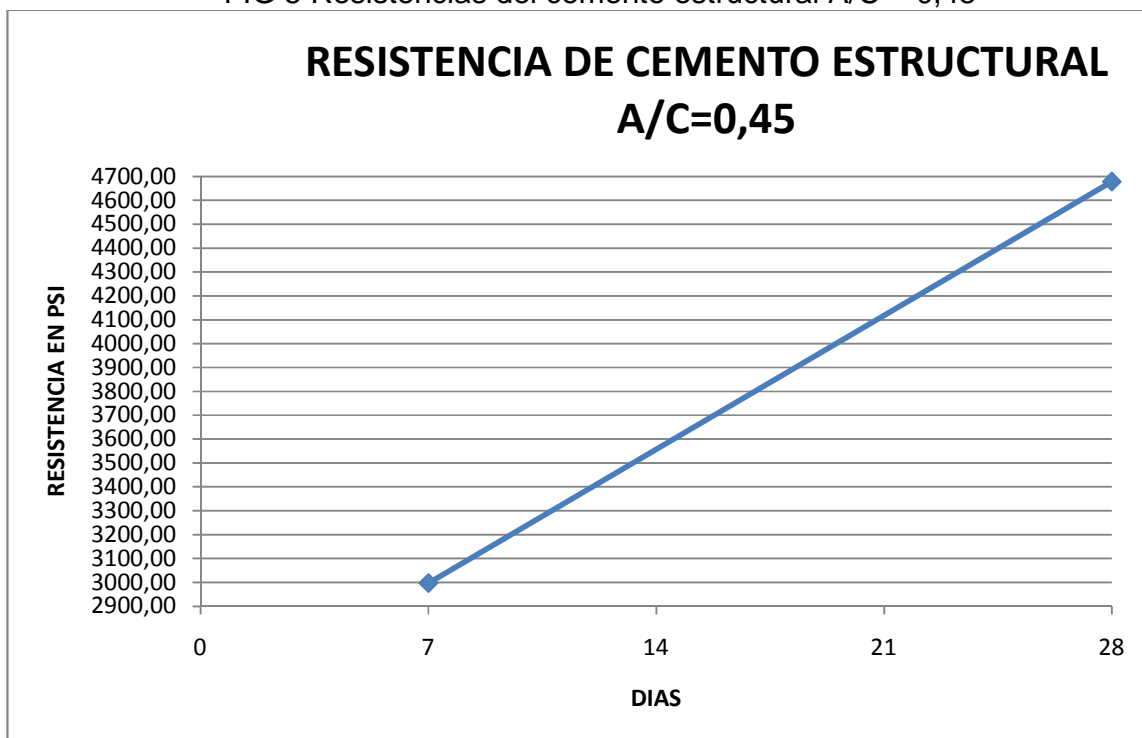


FIG 5 Resistencias del cemento estructural A/C = 0,45



- Resistencias obtenidas para la mezcla realizada con escoria

TABLA 20 Resistencia de la escoria

ESCORIA						
DIAS	A/C	RESISTENCIA				
		KN	PROMEDIO (KN)	PROMEDIO (N)	PROMEDIO Pa	PROMEDIO PSI
7	0,4	471,5	481,9	481900	26417828,16	3831,59
		492,3				
	0,45	503,8	512,7	512700	28106288,65	4076,48
		521,6				
28	0,4	603,4	554,4	554400	30392288,72	4408,04
		505,4				
	0,45	694,6	663,45	663450	36370425,59	5275,09
		632,3				

FIG 6 Resistencias de la escoria A/C = 0,40

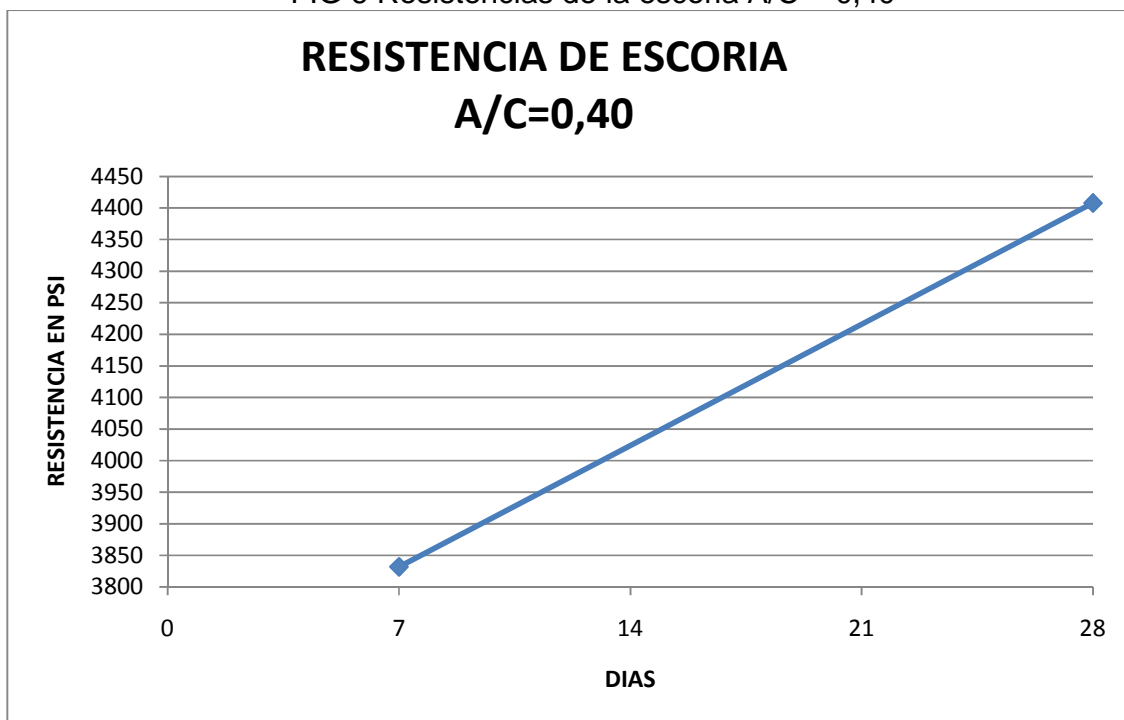
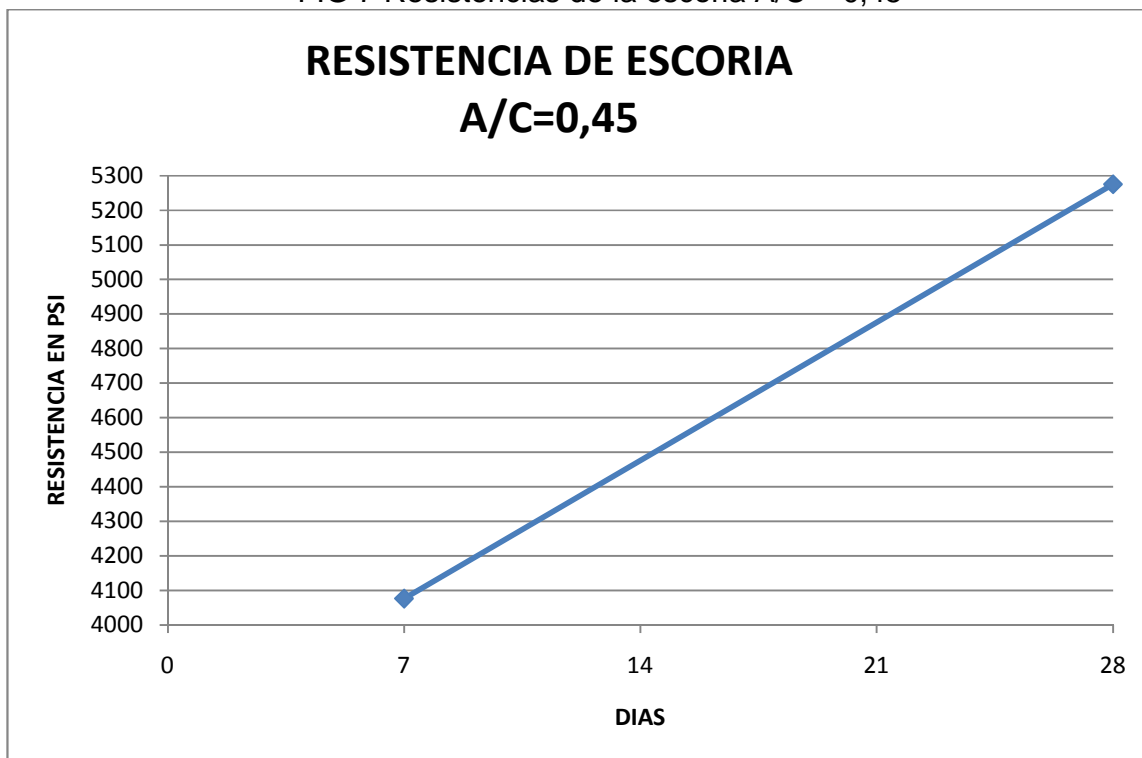


FIG 7 Resistencias de la escoria A/C = 0,45



- Resistencias obtenidas para la mezcla realizada con ceniza

TABLA 21 Resistencia de la ceniza

CENIZA						
DIAS	A/C	RESISTENCIA				
		KN	PROMEDIO (KN)	PROMEDIO (N)	PROMEDIO Pa	PROMEDIO PSI
7	0,4	386	369,4	369400	20250561,78	2937,10
		352,8				
	0,45	488,5	469,65	469650	25746281,38	3734,19
		450,8				
28	0,4	564,5	572,35	572350	31376310,33	4550,76
		580,2				
	0,45	604,5	600,4	600400	32914015,41	4773,78
		596,3				

FIG 8 Resistencias de la ceniza A/C = 0,40

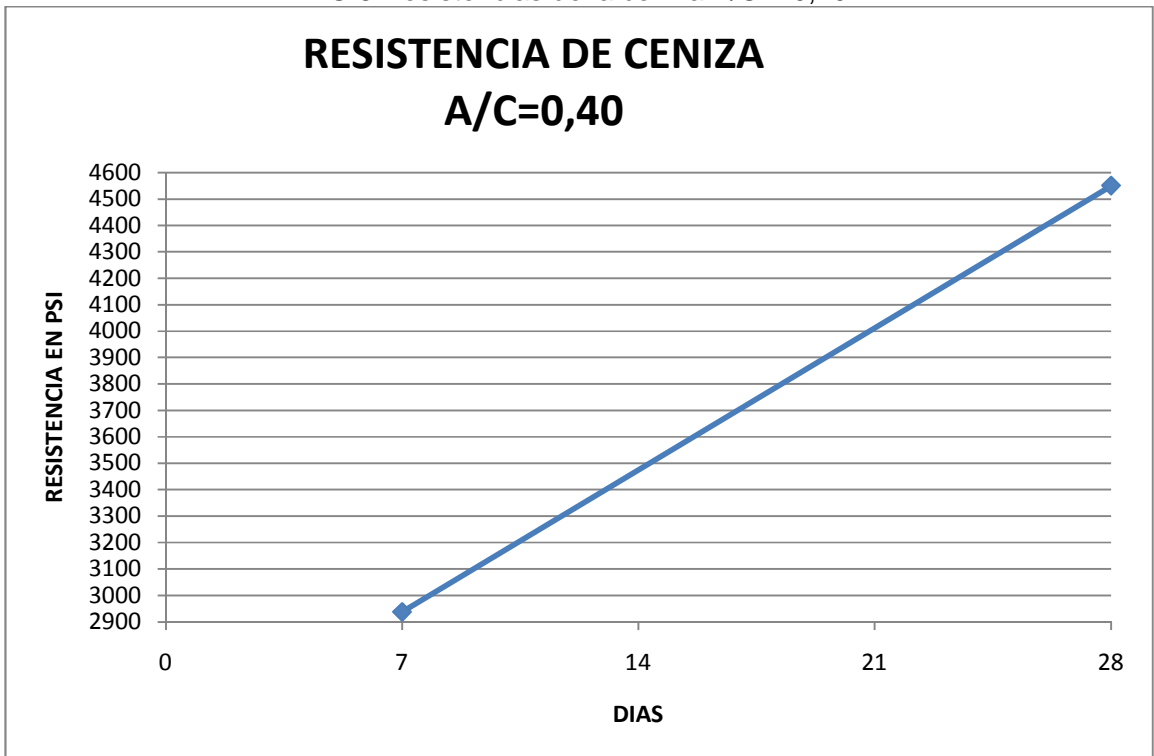


FIG 9 Resistencias de la ceniza A/C = 0,45

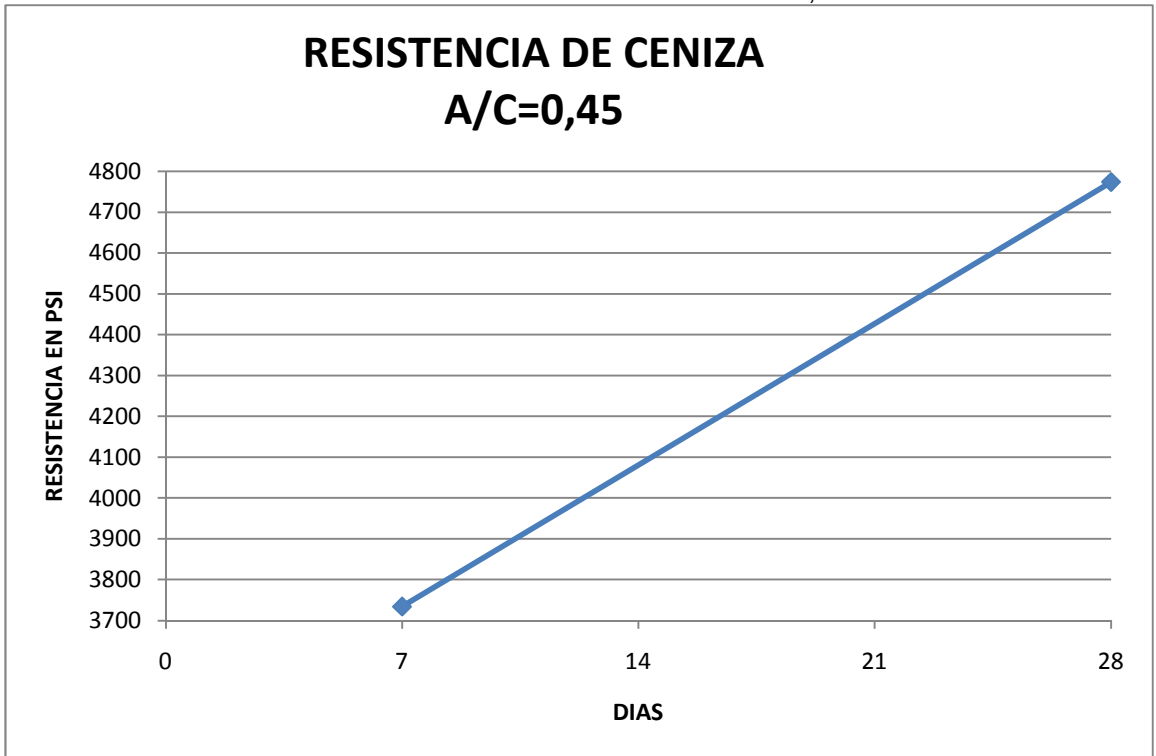


FIG 10 CEMENTO ESTRUCTURAL VS ESCORIA

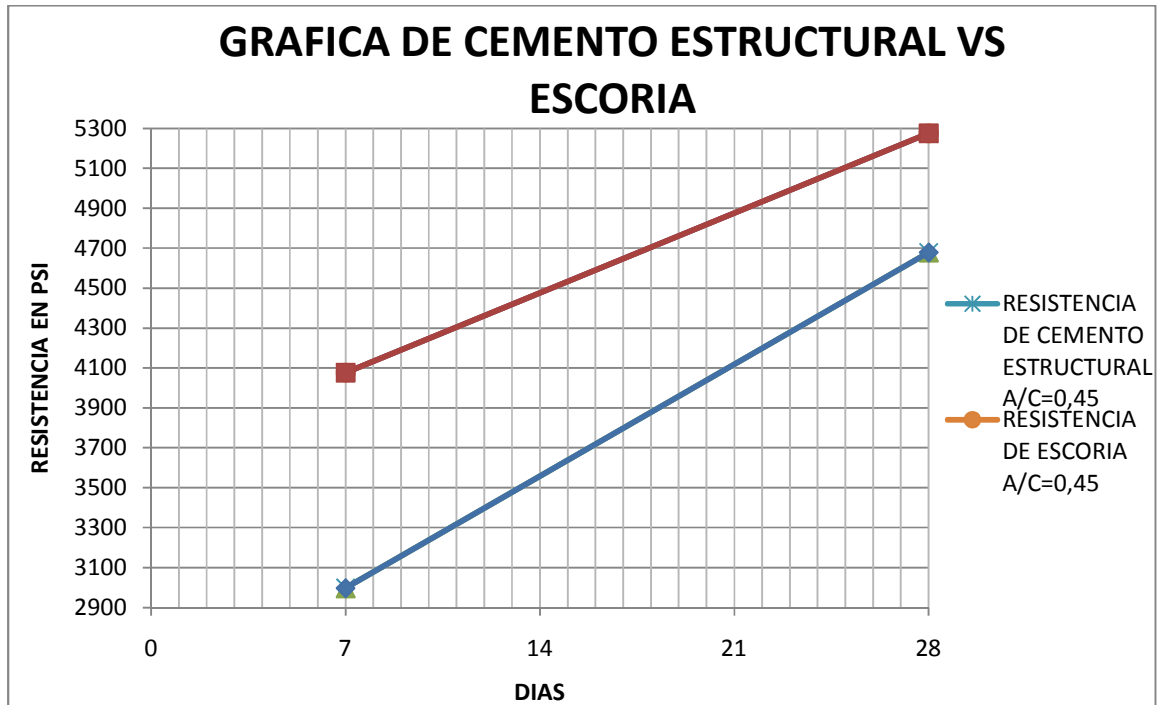


FIG 11 CEMENTO ESTRUCTURAL VS CENIZA

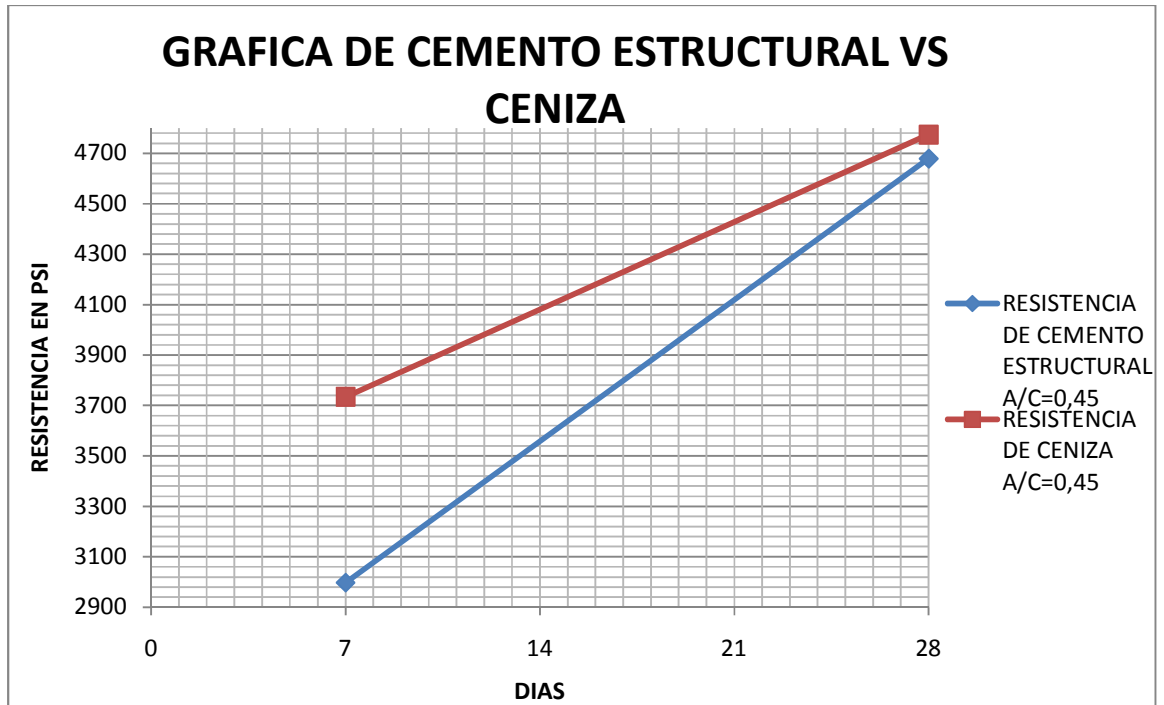


FIG 12 CENIZA VS ESCORIA

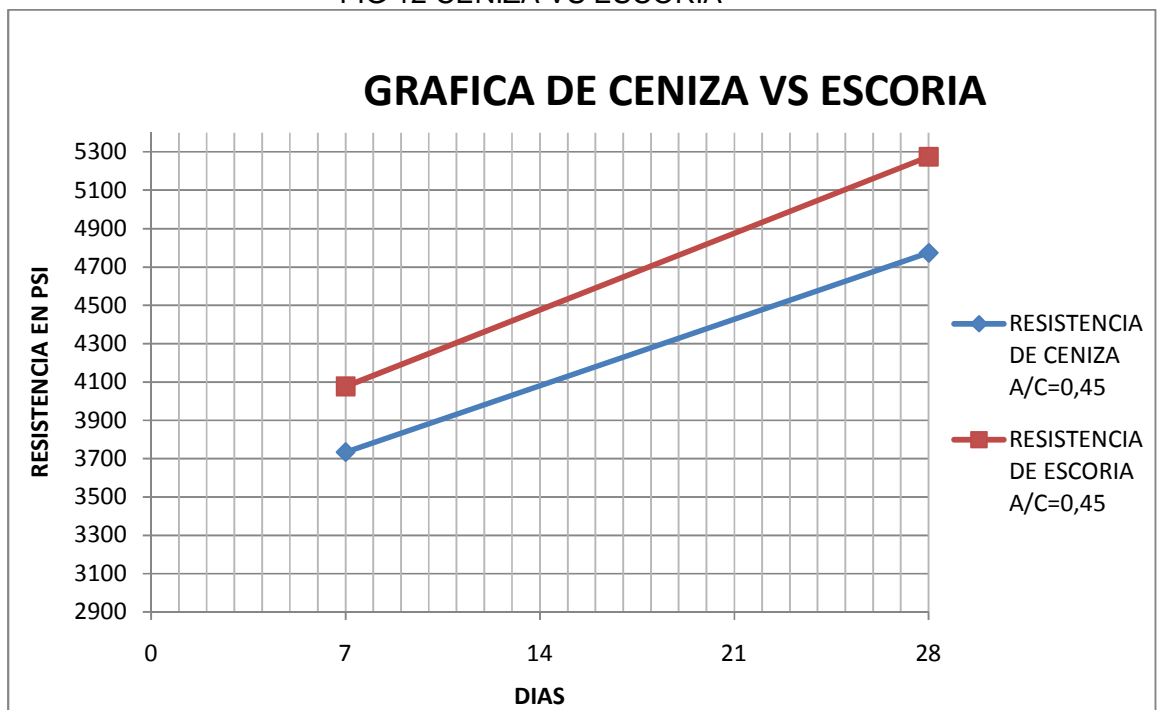


TABLA 22 lectura según norma ASTM c 1202 de cemento estructural

CEMENTO ESTRUCTURAL			LECTURAS EN COLUMBS SEGÚN ASTM
A/C	DIAS	RESISTENCIA Psi	(COULOMBS)
0,40	7	3483	4000
0,40	28	3995	2500
0,45	7	2997	3800
0,45	28	4679	2100

FIG 13 Cemento estructural permeabilidad vs resistencia

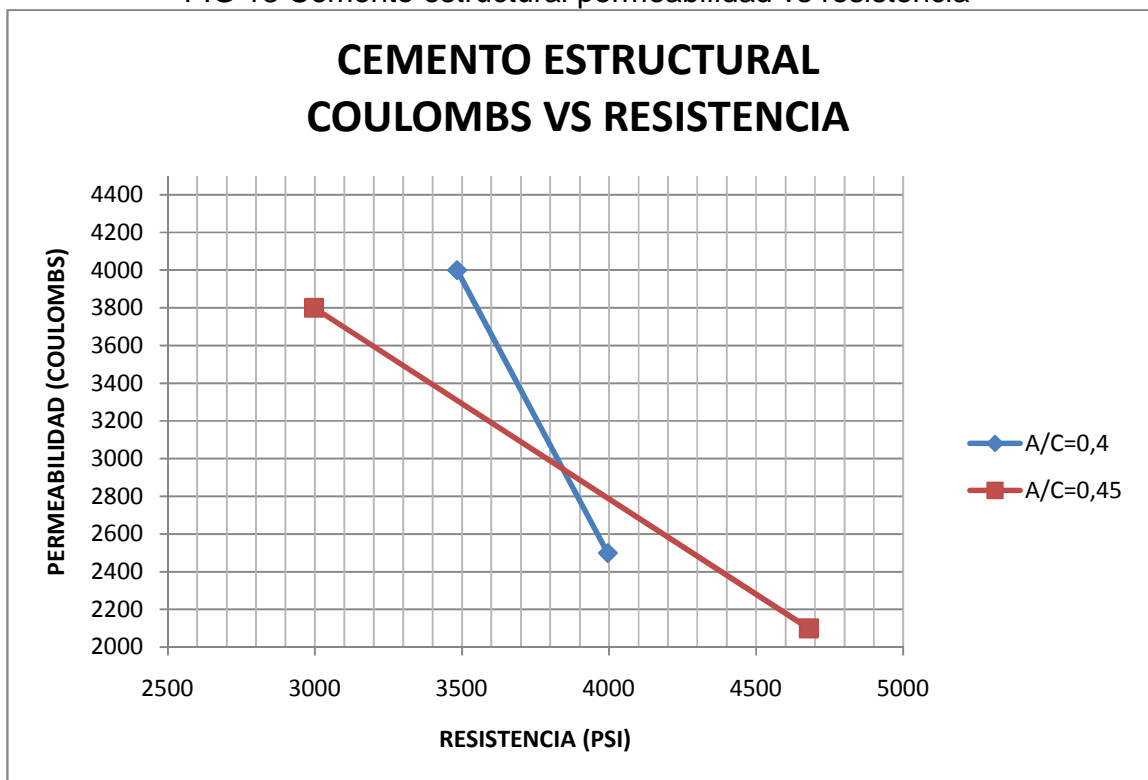


TABLA 23 lectura según norma ASTM c 1202 de escoria

ESCORIA			LECTURAS EN COLUMBS SEGÚN ASTM
A/C	DIAS	RESISTENCIA Psi	(COULOMBS)
0,40	7	3831,59	2100
0,40	28	4408,04	3200
0,45	7	4076,48	2000
0,45	28	5275,09	2900

FIG 13 Escoria permeabilidad vs resistencia

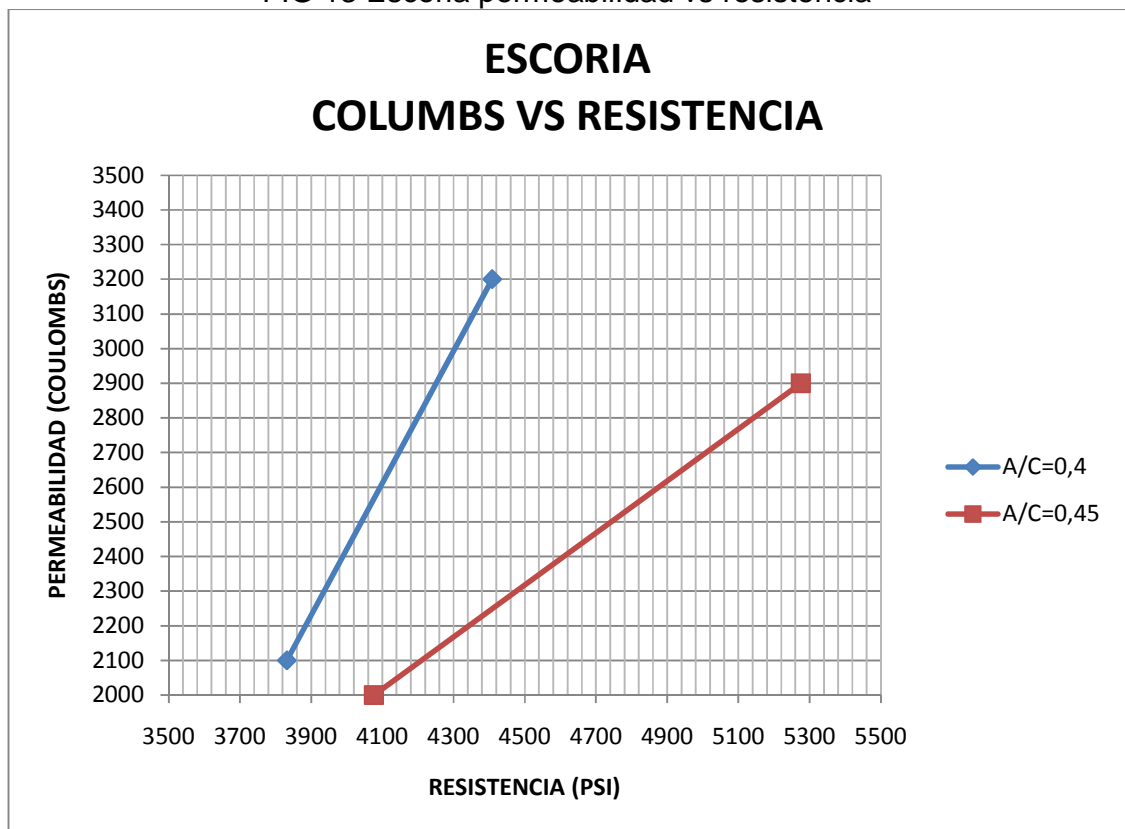
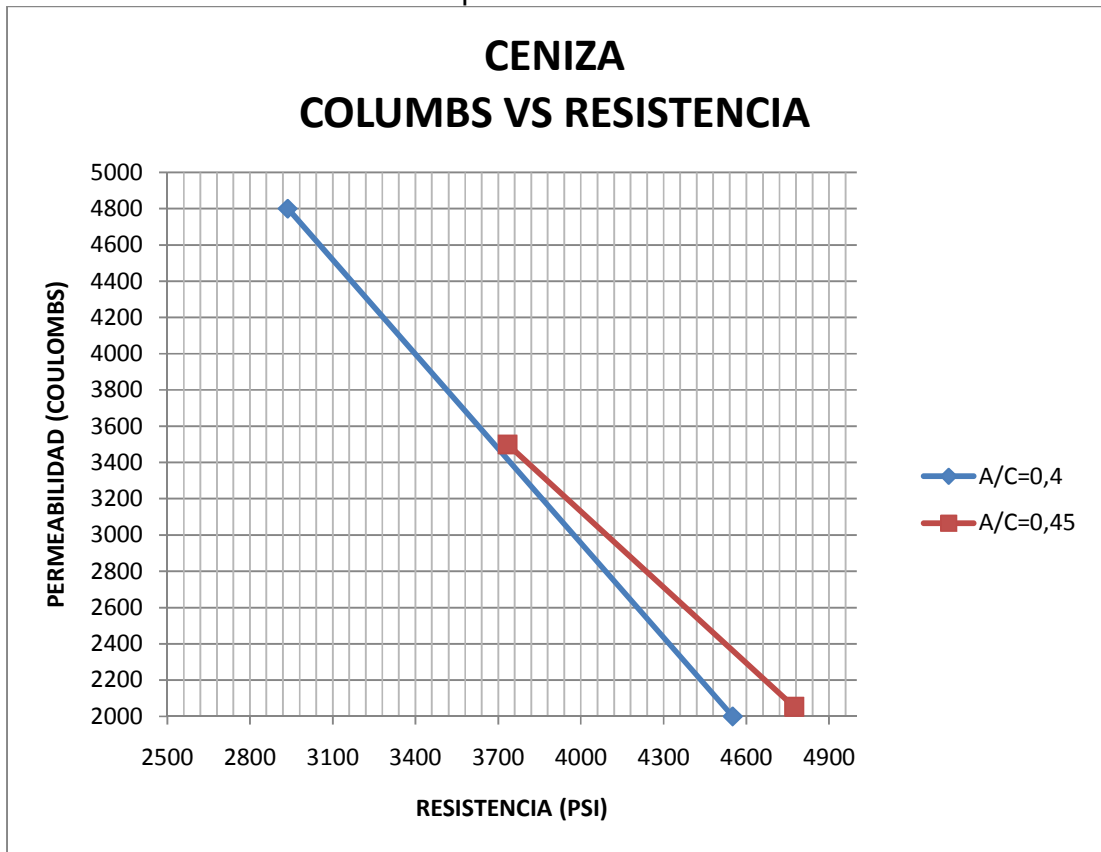


TABLA 24 lectura según norma ASTM c 1202 de ceniza

CENIZA			LECTURAS EN COLUMBS SEGÚN ASTM
A/C	DIAS	RESISTENCIA Psi	(COULOMBS)
0,40	7	2937,10	4800
0,40	28	4550,76	2000
0,45	7	3734,19	3500
0,45	28	4773,78	2053

FIG 14 Ceniza permeabilidad vs resistencia



## 7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

- En el diseño de mezclas la resistencia a la compresión se incrementa conforme a su edad

Cemento estructural (A/C=0,40)

7 días 3483,33 PSI = 100%

28 días 3994,98 PSI = 114,69%

Cemento estructural (A/C=0,45)

7 días 2997,13 PSI = 100%

28 días 4679,17 PSI = 156,12%

Ceniza (A/C=0,40)

7 días 3831,59 PSI = 100%

28 días 4076,48 PSI = 106,39%

Ceniza (A/C=0,45)

7 días 4408,04 PSI = 100%

28 días 5275,09 PSI = 119,67%

Escoria (A/C=0,40)

7 días 2937,10 PSI = 100%

28 días 4550,76 PSI = 154,94%

Escoria (A/C=0,45)

7 días 3734,19 PSI = 100%

28 días 4773,78 PSI = 127,84%

- Realizando un análisis comparativo de las diferentes mezclas realizadas en cemento estructural, (A/C 0,45) = 4679,17 PSI, (A/C 0,40) = 3994,98 PSI, ceniza (A/C 0,45) = 4776,78 PSI, (A/C 0,40) = 4550,76 PSI, y escoria (A/C 0,45) = 5275,09 PSI, (A/C 0,40) = 4408,4 PSI. En la relación agua cemento (A/C 0,45) presenta mayor resistencia a la compresión, que la relación agua cemento (A/C 0,40). pero a menor relación A/C mayor es la resistencia. según los datos obtenidos existe un problema en el proceso de elaboración de los cilindros.
- La permeabilidad del ion cloruro en las mezclas de cemento estructural de relación A/C=0.40 es de 2500 columbs, A/C=0.45 es de 2100 columbs, ceniza de relación A/C=0.40 es de 2000 columbs, A/C=0.45 es de 2053 columbs y escoria de relación A/C=0.40 es de 3200 columbs, A/C=0.45 es de 2900 columbs a los 28 días, dieron una permeabilidad moderada según la norma

ASTM C1202 tabla 1. Donde permite catalogar al material como un concreto con permeabilidad moderada a los cloruros.

- Las mezclas de cemento estructural y ceniza para las relaciones agua cemento de 0.40 y de 0.45, la permeabilidad de cloruro es más baja a mayor resistencia. según las graficas de columbs vs resistencia esto se debe al apropiado proceso de curado de las mezclas
- Según las graficas comparativas de resistencia vs penetración de cloruros se observa que en la mezcla de escoria, a menor resistencia menor es la permeabilidad del ion cloruro.

## 8. CONCLUSIONES

- Los diferentes diseños de mezclas presentados tanto de cemento estructural, ceniza y escoria presentan que a mayor tiempo de curado mayor es la resistencia y a menor tiempo menor es la resistencia.
- La alta resistencia a la compresión del concreto en estado endurecido, se debe a una buena dosificación y al uso de un aditivo superplastificantes.
- Los diferentes diseños de mezclas presentados tanto de cemento estructural y escoria presentan menor permeabilidad del ion cloruro debido a mayor tiempo de curado.
- Entre más baja es la calidad del concreto, mayor es la corriente a un voltaje dado y por lo tanto mayor es la energía producida, debido a que la baja resistencia de la mezcla permiten un mayor aumento de la temperatura.
- De acuerdo a los resultados obtenidos en los estudios se deben utilizar mezclas con adición de ceniza (las mismas utilizadas en esta investigación) con un porcentaje del 20% del total de cemento, con una relación agua cemento menores a 0.45, mezclas con estas características presentan permeabilidad a los cloruros bajas.

## 9 RECOMENDACIONES

- Realizar mayor número de muestras aumentando las variaciones de relaciones A/C, también aumentar los días en que son fallados los cilindros a 3, 7, 14 y 28 días.
- Utilizar en las mezclas diferentes clases de aditivos que mejoren las propiedades de la mezcla.

## **BIBLIOGRAFIA**

### **NORMA**

- Norma ASTM C 494
- Norma ASTM C 618
- Norma ASTM C 989
- Norma ASTM C 1202 del 97
- Norma ASTM 1157
- Norma NTC 77
- Norma NTC 78
- Norma NTC 121
- Norma NTC 127
- Norma NTC 174
- Norma NTC 237
- Norma NTC 321
- Norma NTC 5551
- Norma Sismo Resistente de 1998 (NSR 98), del Titulo C concreto estructural. Pág. C-23 y C-24

### **LIBROS**

- Andrade, María Carmen. Ataque por cloruros, limite de cloruros, cálculo de las velocidades de penetración, condiciones ambientales. Pág. 33.
- Eduard B. Grunau – Institut For Baustoff-Sorschung, Los lones Cloruros en el Hormigón, págs. 08-14.

- Imbre Biczok – Dipl. Ing. La corrosión del Hormigón y su Protección. Págs. 148- 150 y 289-295
- Por el Instituto de Ingeniería, UNAN, Manual de Tecnología Del Concreto, págs. 246-253
- P.K. Mehta y Milos Polivka, concreto fresco. Materiales y propiedades, págs. 25- 26 y 36

### **PAG WEB**

- [www.fing.uncu.edu.ar/catedras/tecnologia\\_hormigon/archivos](http://www.fing.uncu.edu.ar/catedras/tecnologia_hormigon/archivos)
- [www.asocem.org.pe/SCMRoot/bva/f\\_doc/concreto/MGC57\\_Corrosion.pdf](http://www.asocem.org.pe/SCMRoot/bva/f_doc/concreto/MGC57_Corrosion.pdf) para MGC57
- [www.imcyc.com/revista/1998/oct/ataque.htm](http://www.imcyc.com/revista/1998/oct/ataque.htm)

## ANEXOS

### **NORMA ASTM C 1202 DEL 97**

Designación: C 1202 – 97

### **Método de evaluación estándar de indicación eléctrica de habilidad del concreto para resistir la penetración del ion cloruro<sup>1</sup>.**

#### **1. Alcance**

**1.1** Este método de evaluación cubre la determinación de la conductividad eléctrica del concreto para proveer un rápido indicador de su resistencia a la penetración de iones cloruro. Este método de evaluación es aplicable a tipos de concreto donde correlaciones han sido establecidas entre este procedimiento de evaluación y procedimientos de ensayo de estancamiento de cloruro como los descritos en la AASHTO T-259. Ejemplos de tales correlaciones son discutidos en las referencias 1-5.<sup>2</sup>

**1.2** Los valores en pulgadas-libra son para ser considerados como los estándares, excepto donde las unidades del sistema internacional son dadas primero, seguidas por pulgada-libra en paréntesis. Los valores dados en pulgada libra son solo para información.

**1.3** *Este estándar no se propone ser dirigido a asuntos de seguridad, si alguno, asociado con su uso. Esta es la responsabilidad del usuario de este estándar de establecer apropiada seguridad y prácticas sanas y determinar la aplicabilidad de los límites de regulación antes de usarlo.*

#### **2. documentos referenciados**

##### **2.1 Estándares ASTM**

C 31 practica para la elaboración y curado del concreto, evaluación de especímenes en campo<sup>3</sup>

C 42 Método de evaluación para obtener y evaluar núcleos perforados y vigas de concreto fisuradas de Concreto<sup>3</sup>

C192 practica para la elaboración y curado del concreto, evaluación de especímenes en laboratorio<sup>3</sup>

C 670 practica para la precisión en la preparación para métodos de evaluación con propósitos constructivos<sup>3</sup>

##### **2.2 estándares AASHTO**

T 259 Método de evaluación de resistencia del concreto a la penetración del ion cloruro

<sup>1</sup> este método de evaluación esta bajo la jurisdicción del comité ASTM C-9 en concreto y agregados del concreto. Es directa responsabilidad del subcomité C09.66 en resistencia del concreto a penetración de fluidos.

La actual edición aprobada en Enero 10 1997, publicada en Marzo 1997, originalmente publicada como C1202-91, la ultima previa edición C1202-94

<sup>2</sup> Los números en paréntesis se refieren a la lista de referencia al final de este estándar

<sup>3</sup>Libro anual de estándares ASTM. Vol. 04, 02, 4. Métodos de muestreo y evaluación, 1986 asociación americana de estado de autopistas y transporte oficial, 444 N. Capital st, NW, Washington DC 20001

### **3 resumen del método de evaluación**

3.1 Este método consiste en monitorear el ascenso en la corriente eléctrica pasada a través de 2 pulgadas (51 mm) cortes de 4 pulgadas (102 mm) diámetro nominal en núcleos o cilindros durante un periodo de 6 horas. Una diferencia potencial de 60 voltios dc es mantenida a través del fondo del espécimen, uno de los cuales es sumergido en una solución de cloruro de sodio, el otro en solución de hidróxido de sodio. La carga total pasada en columbos, ha sido hallada para ser relacionada con la resistencia del espécimen a la penetración del ion cloruro.

### **4 significado y uso**

**4.1** este método de evaluación cubre la evaluación en el laboratorio de la conductividad eléctrica de muestras de concreto para proveer un indicador rápido de la resistencia a la penetración del ion cloruro. En la mayoría de los casos la conductividad eléctrica ha mostrado buena correlación con la evaluación de estancamiento de cloruros, tal como AASHTO T 259 en compañía de moldes de losa de la misma mezcla de concreto (refs 1-5)

**4.2** este método de evaluación es apropiado para la evaluación de materiales y proporción de materiales para propósitos de diseño e investigación y desarrollo.

**4.3** los resultados numéricos (la carga total pasada en columbos) de este método de evaluación deben ser usados con cuidado, especialmente en aplicaciones tales como control de calidad y evaluación de aceptación. Los términos cualitativos en la columna a mano de recha de la tabla 1 deberían ser usados en la mayoría de los casos.

**4.4** se debe tener cuidado en la interpretación de los resultados de esta evaluación, cuando esta es usada en superficies de concreto tratado, por ejemplo, concretos tratados con sellantes.

Los resultados de esta evaluación en algunos concretos indican baja resistencia a la penetración del ion cloruro, mientras que la evaluación de estancamiento de cloruros a 90 días en losas muestra una resistencia mas alta.

**4.5** los detalles del método de evaluación aplican para especímenes de concreto con un diámetro nominal de 4 pulgadas (102 mm) esto incluye especímenes con diámetros actuales entre 3.75 pulgadas (95mm) a 4 pulgadas (102 mm). Otros diámetros de especímenes pueden ser evaluados con cambios apropiados en el voltaje aplicado (ver 7.5 y figura 1)

**4.5.1** Para especímenes mayores a 3.75 pulgadas (95 mm) el valor del resultado del test para carga total pasada debe ser ajustado siguiendo el procedimiento 11.2. para especímenes con diámetros menores a 3.75 pulgadas (95 mm), un particular cuidado debe ser tomado en cubrir y aumentar el especimen para asegurar que las soluciones conductoras sean capaces de contactar todas las areas del fondo durante el ensayo.

**4.6** la edad de las muestras pueden tener efectos significativos en los resultados del ensayo, dependiendo del tipo de concreto y el procedimiento de curado. La mayoría de los concretos, si se curan apropiadamente llegan a ser progresivamente y significativamente menos permeables con el tiempo.

#### **Penetrabilidad del ion cloruro basado en la carga**

<b>Paso de carga (columbios)</b>	<b>Penetrabilidad del ion cloruro</b>
> 4000	alto
2000 - 4000	moderado
1000 - 2000	bajo
100 - 1000	muy bajo
<100	insignificante

Tabla 1 penetrabilidad del ion cloruro basado en la carga pasada

### **5. interferencias**

**5.1** Este método de evaluación puede producir resultados engañosos cuando el nitrato de calcio se ha adicionado al concreto. Los resultados de este ensayo en

tales concretos indica valores en columbos mayores, esto es, menor resistencia a la penetración del ion cloruro que concretos con idénticas dosificaciones (controles) sin nitrato de calcio. Sin embargo, los test a largo término de estancamiento de cloruro indican que los concretos con nitrato de calcio eran por lo menos tan resistentes a la penetración del ion cloruro como en el control de mezclas.

NOTA 1. Otras adiciones pueden afectar los resultados de este ensayo similarmente. El ensayo a largo termino de estancamiento es recomendado si se sospecha el efecto de una adición.

**5.2** desde que los resultados del ensayo son una función de la resistencia eléctrica del espécimen, la presencia de acero de refuerzo o de otros materiales conductores eléctricos embebidos puede tener un efecto significativo. El ensayo no es valido para especímenes que tienen acero de refuerzo longitudinal ya que provee un camino eléctrico continuo entre las dos caras del espécimen

## **6 aparatos**

**6.1** aparato de saturación de vacio (ver figura 2 por ejemplo)

**6.1.1** separador chimenea, u otro sellante, contenedor con sumidero de fondo con un mínimo de capacidad de 500 ml

**6.1.2** Beaker (100 ml o mayor) u otro contenedor capacitado para contener especímenes de concreto y disecador de forma en el vacio (ver 6.1.3).

**6.1.3** disecador de vacio – 250 ml (9.8 pulgadas) diámetro interior o mayor. El disecador debe permitir dos conexiones de manguera a través de un tapón de goma y funda o solo a través de un tapón de goma, cada conexión debe estar equipada con una llave.

**6.1.4** Bomba de vacio—con capacidad de mantener una presión de menos de 1mm Hg (133 Pa) en el disecador

NOTA 2—Ya 1 que el vacio será extraído sobre el agua la bomba debería estar protegida con una trampa de agua o el aceite en la bomba debería ser cargado después de cada operación.

**6.1.5** Medidor de vacio o manómetro—precisión 6 0.5 mm Hg (6 66Pa) por encima del rango 0-10 mm Hg (0 1330 Pa) de presión.

## **6.2 cobertor de aparatos y materiales**

**6.2.1** Cobertor—rápida postura, sin conductividad eléctrica, capaz de sellar el centra de la superficie de concreto.

**6.2.2** Balanza o escala—vasos de papel, espátulas de madera y cepillos desechables—para mezclar y aplicar el cobertor

**6.3 equipo para dar medida al especimen (no requeridas si las muestras son vaciadas para la medida final del especimen)**

**6.3.1** Cama móvil de agua—cierra de diamante o cierra de carburo de silicio

**7 reactivos, materiales, y celda de prueba**

**7.1** Especimen-celda sellante-capaz de sellar el concreto al poli (metilmetacrilato) por ejemplo acrílico contra el agua y diluido en soluciones de hidróxido de sodio y cloruro de sodio a temperaturas mayores a 200 F (90 C); los ejemplos incluyen gomas de silicona RTV, macillas de goma de silicona, otros sellantes de goma sintéticos, grasas de silicona y juntas de goma.

**7.2** Solución de cloruro de sodio—3% por masa (grado del reactivo) en agua destilada.

**7.3** Solución de hidróxido de sodio 0.3 N (grado de reactivo) en agua destilada.

**7.4** Papeles filtro—No 2, 90mm (3.5 pulgadas) de diámetro (no requerido en juntas de goma, es usado para sellante (ver 7.1) o si el sellante puede ser aplicado sin sobre flujo.

**7.5** Celda de voltaje aplicado (ver figura 1 figura 3), 2 cámaras poli (metilmetacrilato) simétricas cada una contiene conductividad eléctrica en malla y conectores externos. El uso para un diseño en común es mostrado en la figura 1 y la figura 3, sin embargo otros diseños son aceptables. Proporcione sobretodo dimensiones (incluyendo dimensiones de reserva de fluido). Son los mismos como es mostrado en la figura 1 y ancho de la pantalla y delgado como es mostrado.

**7.6** dispositivo para medir temperatura (opcional)

**7.7** aplicador de voltaje y aparato lector de datos—capaz de aguantar  $60 \pm 0.1$  v dc a través de la celda de voltaje aplicado y por encima del rango total de corriente y de corriente acumulada a  $\pm 1$  v y corriente a  $\pm 1$  mA. Aparato auditivo, en 7.7.1 y 7.7.5 es posible encontrar este requerimiento.

**7.7.1** Voltímetro-digital (DVM) 3 dígitos mínimo un rango de 0 a 99.9 V, tasa acumulada  $\pm 0.1\%$

**7.7.2** Voltímetro-digital (DVM) 4 1/2 dígitos mínimo un rango de 0 a 200 V, tasa acumulada  $\pm 0.1\%$

**7.7.3 Resistencia (SHUNT)** —100 mV, 10 A, tolerancia  $\pm 0.1\%$ , alternativamente uno de 0.01 V, tolerancia  $\pm 0.1\%$ , debe ser usado, pero tener cuidado al usar conectores de resistencia muy baja.

**7.7.4 Suministro constante de voltaje**—0-80 V dc, 0-2 A, capaz de mantener un voltaje constante de 60  $\pm$  0.1 V por encima del rango total de corriente.

**7.7.5 Cable**—2 conductores No 14 (1.6 mm) aislado, 600 V

## 8. evaluación de especímenes

**8.1** La selección y preparación de la muestra depende del propósito del ensayo. Para la evaluación de materiales o sus proporciones, las muestras deben ser (a) núcleos tomados de losas o cilindros con grandes diámetros o (b) 4 pulgadas (102 mm) de diámetro, moldes de cilindro. Para la evaluación de estructuras, las muestras deben ser (a) núcleos de la estructura o (b) 4 pulgadas (102 mm) de diámetro, moldes de cilindro y curados in situ. El núcleo debe ser hecho con un

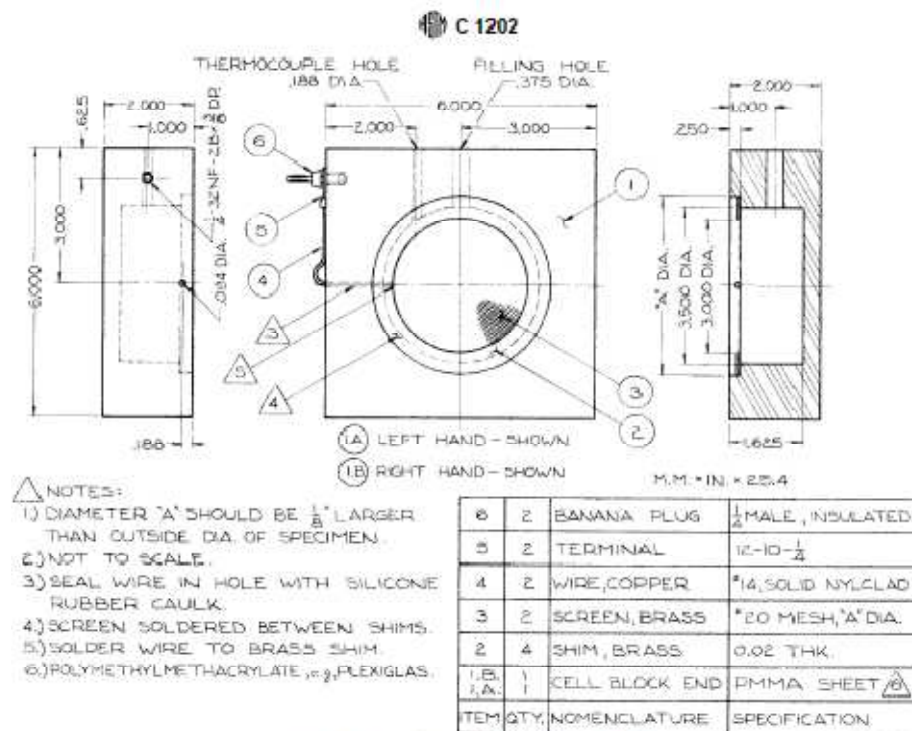


FIG. 1 Applied Voltage Cell (construction drawing)

Figura 1 celda de voltaje aplicado

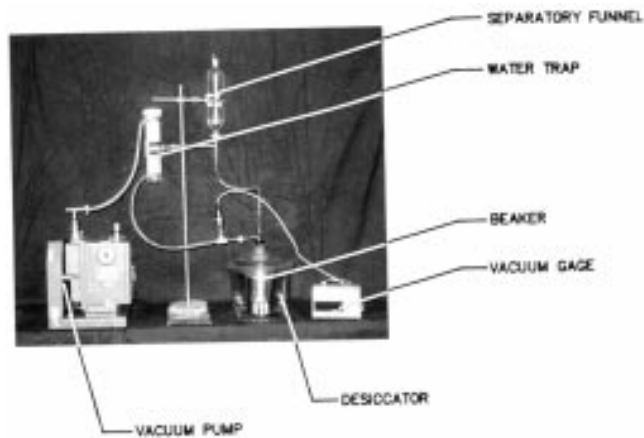


Figura 2 aparato de saturacion de vacio

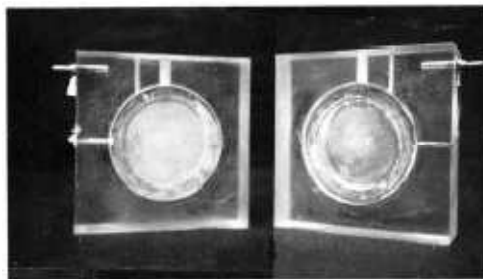


Figura 3 celda de voltaje aplicado (vista de frente)

La plataforma de perforación esta equipada con un trozo de núcleo con 4 pulgadas (102 mm) de diámetro y revestido de diamante.

Seleccionar y tomar el núcleo siguiendo los procedimientos del método de evaluación C 42. Los cilindros fundidos en el laboratorio serán preparados siguiendo los procedimientos de la práctica C 192. Cuando los cilindros son fundidos en el campo para evaluar la estructura, se debe tener cuidado que los cilindros reciban el mismo tratamiento que la estructura. Por ejemplo similar ángulo de consolidación, curado, y temperatura durante el curado.

NOTA 3—El tamaño máximo del agregado permitido no ha sido establecido para este ensayo. Usuarios han indicado que la repetitividad en el ensayo es satisfactoria para especímenes de concreto con el mismo grupo de agregados, mayores a 25 mm (1 pulgada) de tamaño máximo nominal.

**8.1** transportar los núcleos o cilindros curados en campo al laboratorio en bolsas plásticas selladas. Si el espécimen debe ser embarcado, deberían estar

empacados de tal manera que estén protegidos apropiadamente de el congelamiento y de los daños producidos en el transporte y el almacenamiento.

**8.3** usando agua helada, cierra diamante o cierra de carburo de silicio, cortar a 2 6 1/8 de pulgada (51 6 3 mm) rebanar desde el tope del núcleo o cilindro con el corte paralelo al tope del cilindro, esta rebanada será el espécimen de ensayo, use una lija para remover cualquier irregularidad en el fondo del espécimen.

**8.4** un procesamiento especial es necesario para muestras de concreto donde la superficie ha sido modificada. Por ejemplo, por texturas o por la aplicación de compuestos para el curado, sellantes u otros tratamientos superficiales, y donde el efecto del ensayo no incluye el efecto de las modificaciones. En estos casos, la porción modificada del núcleo 2 6 1/8 de pulgada (51 6 3 mm) adyacente será la usada para el ensayo.

## **9. condicionamiento.**

**9.1** Hervir vigorosamente un litro o más de agua del grifo en un contenedor grande sellado, remover el contenedor del calor, cubrir suavemente y permitir que el agua se enfríe a temperatura ambiente.

**9.2** permitir que el espécimen preparado en la sección 8 para superficie seca este al aire por lo menos una hora, prepare aproximadamente 1 onza (10 gramos) de cobertor rápido y aplicar en el lado de la superficie del espécimen, ubique la muestra sobre un soporte apropiado mientras se esta seguro de que cubre los lados, permitir que el cobertor cure de acuerdo con las instrucciones de manufactura.

**9.3** el cobertor debería estar permitido para curar mientras que no este pegajoso al tacto, llene algunos aparentes hoyos en el cobertor y permita un tiempo de curado adicional, como necesario. Ubique el espécimen en un Beaker u otro contenedor (ver 6.1.2), luego ubique el contenedor en el disecador de vacio. Alternativamente, ubique el espécimen en el disecador de vacio, ambas caras del espécimen deben ser expuestas, sellar el disecador y comenzar a bombear vacio, la presión debe ser decreciente a menos de 1 mm Hg (133 Pa) en unos pocos minutos, mantenga el vacio por 3 horas.

**9.4** llene el separador chimenea u otro contenedor (ver 6.1.1) con el agua preparada en la sección 9.1, con la bomba de vacio aun corriendo, abra la llave de paso y vierta suficiente agua dentro del Beaker o contenedor para cubrir el espécimen (no permita que el aire entre al disecador a través de la llave de paso)

**9.5** cierre la llave de paso y permita que la bomba de vacio continúe corriendo por una hora adicional.

**9.6** cierre la llave de línea de vacío, luego apague la bomba (cargue la bomba de aceite si la trampa de agua no está siendo usada) mueva la llave de línea de vacío para permitir que el aire regrese al desecador.

**9.7** ponga el remojo el espécimen bajo el agua (el agua usada en los pasos 9.4 y 9.6) en el Beaker por 18 6 2 horas

## **10. procedimiento**

**10.1** remueva el espécimen del agua, seque el exceso de agua, transfiera el espécimen a otro contenedor en el cual mantendrá el espécimen a 95% o más alto de humedad relativa

**10.2** montura del espécimen (todos los sellantes otros que las juntas de goma; use 10.2.2 o 10.2.3 como sea apropiado)

**10.2.1** si usa dos partes de celda del espécimen, prepare aproximadamente 0,7 a 1.4 onzas (20 a 40 gramos)

**10.2.2** *sellante de celda de baja viscosidad*, si el papel filtro es necesario, centre el papel filtro sobre una pantalla de la celda de voltaje aplicado. Aplique el sellante con paleta adyacente al cuerpo de celda de voltaje aplicado. Cuidadosamente remueva el papel filtro. Presione el espécimen en la pantalla. Remueva o lije el exceso de sellante el cual ha fluido fuera del límite de la celda espécimen.

**10.2.3** *sellante de celda de alta viscosidad* prepare el espécimen en la pantalla, aplique el sellante en los límites de la celda espécimen.

**10.2.4** cubra la cara expuesta del espécimen con un material impermeable como goma o revestimiento plástico, ubique el tapón de goma en la celda llenando el orificio para restringir el movimiento de la humedad, permita que el sellante cure para instrucciones de manufactura.

**10.2.5** Repita los pasos 10.2.2 o (10.2.3) en la segunda mitad de la celda.(el espécimen en voltaje aplicado ahora aparece como se muestra en la figura 4)

**10.3** Montura del espécimen (alternativa de junta de goma) ubique una junta de goma circular vulcanizada de 4 pulgadas de diámetro exterior por 3 pulgadas de diámetro interior por ¼ de pulgada (10mm diámetro exterior por 75 mm diámetro interior por 6 mm) en cada mitad de la celda de ensayo. Inserte la muestra y abraze las dos mitades de la celda de ensayo juntas para que sellen.

**10.4** llene el contenedor del lado de la celda a la superficie tope del espécimen con 3.0 % de solución de NaCl (ese lado de la celda estará conectado con la terminal negativa del suministro de poder en 10.5), llene el otro lado de la celda (el

cual estará conectado a la terminal positiva del suministro de poder) con 0.3 n de solución de NaOH.

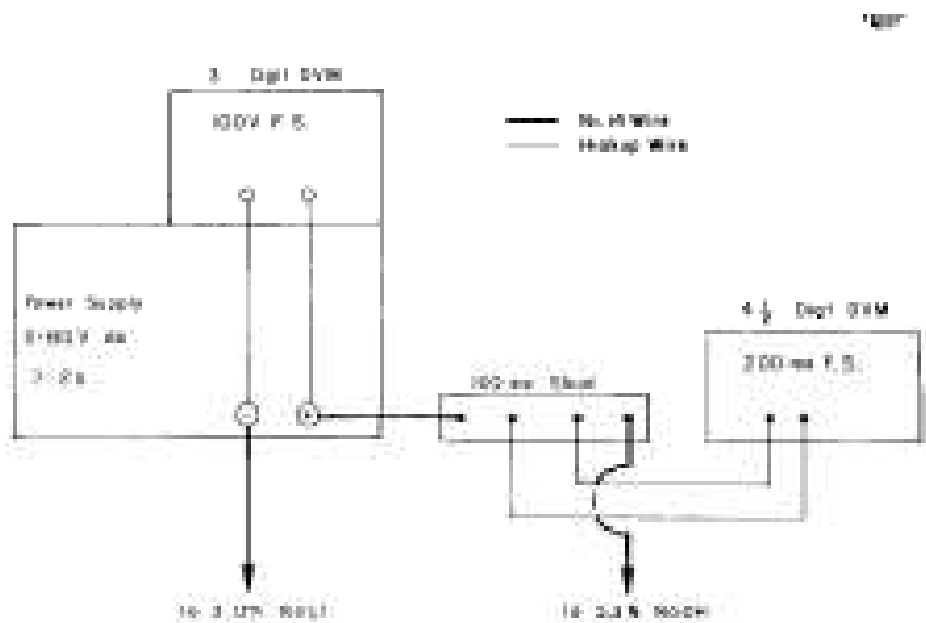
**10.5** una los cables de cobre a los postes banana de la celda, haga las conexiones eléctricas para la aplicación del voltaje y lea datos en el aparato como es apropiado; por ejemplo, para el sistema escuchado en 7.7.1 – 7.7.5, conecte como se muestra en la figura 5, encienda el suministro de poder, colóquelo a 60.0 6 0.1 V y grave la lectura inicial. Temperatura del espécimen, voltaje de celda aplicado, y las soluciones estarán entre 68 y 77 grados Fahrenheit (20 a 25 grados centígrados) en el momento el ensayo inicia, eso es, cuando el suministro de poder es encendido.

**10.6** durante el ensayo, la temperatura del aire de los especímenes será mantenida en el rango de 68 a 77 F (20 a 25 C).

**10.7** Lea y tome la corriente por lo menos cada 30 minutos, si un voltímetro está siendo usado en combinación con una resistencia de cambio (o maniobra) para la lectura de corriente (ver figura 5), use el factor de escala apropiado para convertir la lectura del voltaje a amperios. Cada media celda de ensayo debe permanecer llena con la apropiada solución para el periodo total del ensayo..



Figura 4 espécimen listo para el ensayo



NOTA 4 – Durante el ensayo, la temperatura de la solución no debe permitirse que exceda los 190 F (90 C) en orden para evitar daños en la celda y evitar que las soluciones hiervan. Aunque no es un requerimiento del método, la temperatura puede ser monitoreada con termostatos instalados a través de 1/8 de pulgada (3 mm) orificio de respiración en el tope de la celda. Altas temperaturas ocurren solo para concretos altamente penetrables. Si un ensayo de un espécimen de 2 pulgadas (51 mm) de espesor es terminado debido a las altas temperaturas, este debería ser anotado en el reporte, durante el tiempo de terminación y el concreto es clasificado como de muy alta penetrabilidad del ion cloruro (ver 12.1.9)

**10.8** Terminar el ensayo después de 6 horas, excepto lo discutido en la nota 4.

**10.9** Remover el espécimen, lavar la celda completamente con agua del grifo, quitar y desechar el residuo de sellante.

## 11. cálculo e interpretación de resultados

**11.1** Graficar la corriente (amperes) versus el tiempo (segundos), dibujar una curva suave a través de los datos e integrar el área bajo la curva en orden de obtener la carga pasada durante las seis horas del periodo del ensayo en Ampere-segundos o columbos (ver NOTA 5). Alternativamente, use el equipo de procesamiento de datos automático para llevar a cabo la integración durante o después del ensayo y para mostrar el valor en columbos. La carga total pasada es una medida de la conductividad eléctrica del concreto durante el periodo del ensayo.

NOTA 5—*calculo de la muestra*—Si la corriente es registrada en intervalos de 30 minutos, la siguiente formula basada en la regla trapezoidal, puede ser usada con una calculadora electrónica para llevar a cabo la integración.

$$Q = 900 (I_0 + 2I_{30} + 2I_{60} + \dots + 2I_{300} + 2I_{330} + I_{360}) (1)$$

Donde:

Q: carga pasada (columbos)

$I_0$ : corriente (Amperes) inmediatamente después de que el voltaje es aplicado

$I_t$ : corriente (Amperes) en t minutos después de que el voltaje es aplicado.

**11.2** si el diámetro del especimen es otro que 3.75 pulgadas (95 mm) el valor para la carga total pasada establecida en 11.1 debe ser ajustada, el ajuste es hecho mediante la multiplicación de el valor establecido en 11.1 por la porción de área de la sección transversal de el estándar y de las especímenes actuales. Esto es:

$$Q_s = Q_x \left( \frac{3.75}{x} \right)^2$$

Donde:

$Q_s$ : carga pasada (columbos) a través de 3.75 pulgadas (95 mm) de diámetro del especimen

$Q_x$ : carga pasada (columbos) a través de X pulgadas de diámetro del especimen

X: diámetro (pulgadas) de un especimen no estándar

**11.3** Use la tabla 1 para evaluar los resultados del ensayo, estos valores son revelados de datos de cortes de núcleos tomados de trozos tomados del laboratorio de varios tipos de concretos.

**11.3.1** Entre los factores que son conocidos que afectan la penetración del ion cloruro se incluyen: relación agua cemento, presencia de adiciones de polímeros, edad de la muestra, sistema aire-vacio, tipo del agregado, grado de consolidación y tipo de curado.

## **12. reporte**

**12.1** Reporte lo siguiente, si se conoce:

**12.1.1** fuente del núcleo o cilindro, en términos de la localización particular del núcleo o cilindro

**12.1.2** identificación del número del núcleo o cilindro y espécimen.

**12.1.3** localización del espécimen dentro del núcleo o cilindro

**12.1.4** Tipo de concreto, incluyendo tipo carpeta, relación agua cemento, y otros datos relevantes suministrados con las muestras.

**12.1.5** Descripción del espécimen, incluyendo presencia y localización del acero de refuerzo, presencia y espesor del revestimiento, y presencia y espesor de la superficie de tratamiento.

**12.1.6** Historia de curado del espécimen.

**12.1.7** Preparación de espécimen inusual, por ejemplo, eliminación de la superficie de tratamiento.

**12.1.8** Resultados del ensayo, reportados como la carga total pasada sobre el periodo del ensayo (ajustado por 11.2)

**12.1.9** El equivalente cualitativo de la penetración del ion cloruro para el cálculo de la carga pasada (de la tabla 1)

### **13. precisión y tendencia<sup>5</sup>**

#### **13.1** precisión

**13.1.1** *único—operador de precisión*—El resultado del coeficiente de variación de operador simple de un ensayo simple ha sido hallado para estar en 12.3% (NOTA 6) de esta manera, los resultados de dos propiamente conducidos ensayos por el mismo operador en muestras de concreto del mismo conjunto y de el mismo diámetro no diferiría por mas de 42% (NOTA 6)

**13.1.2** Precisión multilaboratorio El resultado del coeficiente de variación de operador multilaboratorio de un ensayo simple ha sido hallado para estar en 18% (NOTA 6) de esta manera, los resultados de dos propiamente conducidos ensayos en diferentes laboratorios en el mismo material no diferiría por mas del 51% (NOTA 6) el promedio de los resultados de tres ensayos en dos diferentes laboratorios no diferiría en mas de 42% (NOTA 7)

NOTA 6—Estos números representan, respectivamente el (1s %) y (d 2 s %) límites como se describen en la práctica c 670. La precisión en la declaración están basadas en las variaciones en los ensayos en tres diferentes concretos, cada ensayado en triplicado en once laboratorios. Todos los especímenes tenían los mismos diámetros actuales pero las longitudes variaron en un rango entre 2 6 1/8 de pulgada (51 6 3 mm).

NOTA 7—Aunque el método de ensayo no requiere el reporte de más de un resultado de ensayo, el ensayo de especímenes duplicados es deseable. La precisión de la información para los promedios de tres resultados es dado desde laboratorio frecuentemente

Cuando los promedios de tres resultados son establecidos en cada laboratorio, el coeficiente de variación multilaboratorio,  $s_{ML}$  es calculado así:

$$S_{ML} = \sqrt{\frac{S^2_{ML}}{3} + S^2_{BL}}$$

Donde:

$S^2_{ML}$ : varianza dentro de laboratorio

$S^2_{BL}$ : varianza entre laboratorio

El porcentaje citado representa el (d 2 s %) limite basado en el valor de el coeficiente de variación multilaboratorio.

**13.2 tendencia**—El procedimiento de este método de ensayo para medir la resistencia del concreto a la penetración del ion cloruro no tiene tendencia, ya que el valor de esta resistencia puede ser definido solo en términos de un método de prueba.

## 14. palabras claves

**14.1** Contenido de cloruro, corrosión, deshielo químico, resistencia a la penetración de cloruro.

## Referencias

(1) Whiting, D “Rápida determinación de la permeabilidad a cloruros del concreto”. Reporte final No. *FHWA/RD-81/119*, administración federal de autopistas, Agosto 1981. NTIS No. PB 82140724.

(2) Whiting, D “Permeabilidad de concretos seleccionados”, *permeabilidad del concreto*, SP-108 Instituto Americano del concreto, Detroit, Michigan, 1988, pp. 195-222

(3) Whiting, D, y Dziedzic, W. “Resistencia a la infiltración de cloruros en concretos superplásticos comparado con los actuales sistemas superficiales usados en concreto. Reporte final No *FHWA/OH-89/009*, laboratorios de tecnología en la construcción, Mayo 1989.

(4) Berke, N. S., Pfeifer, D. W., and Weil, T. G., "Proteccion contra la corrosion inducida por cloruros," *Concrete International*, Vol. 10, No. 12, Diciembre 1988, pp. 45-55.

(5) Ozyildirim, C., and Halstead, W. J., "Uso de adiciones para conseguir concretos de baja permeabilidad," *Final Report No. FHWA/VA-88-R11*, Virginia Transportation Research Council, February 1988, NTIS No. PB 88201264.

La sociedad americana de ensayos y materiales no toma posición respecto a la validez o con algunos derechos de patente afirmados en conexión con algún ítem mencionado en este estándar. Los usuarios de este estándar están expresamente advertidos sobre la validez de algunos derechos de patentes, y de que el riesgo de infringir tales derechos son enteramente su propia responsabilidad.

Este estándar es objeto de revisión en cualquier momento por el comité técnico responsable y debe ser revisado cada cinco años, de no ser así, tampoco será aprobado o retirado. Sus comentarios son invitados también para la revisión de este estándar o para estándares adicionales y deberían ser enviados a los cuarteles generales de ASTM. Sus comentarios serán recibidos con suma consideración en una reunión del comité técnico responsable, el cual usted podrá atender. Si siente que sus comentarios no son recibidos con la apropiada atención, usted debería hacer publicas sus observaciones ante el comité de estándares del ASTM. 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428.

Este estándar es reproducido por ASTM, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959, Estados Unidos. Las reimpresiones individuales (simples o copias múltiples) de este estándar pueden ser obtenidos contactando la ASTM en la dirección anterior o en el teléfono 610-832-9585, al fax 610-832-9555, o en el e mail [service@astm.org](mailto:service@astm.org); o a través de la pagina de ASTM <http://www.astm.org>

## **NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 5551 2007-12-12**

### **CONCRETOS.**

#### **DURABILIDAD DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO**

##### **PRÓLOGO**

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

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

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

La NTC 5551 fue ratificada por el Consejo Directivo de 2007-12-12.

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

A continuación se relacionan las empresas que colaboraron en el estudio de esta norma a través de su participación en el Comité Técnico 100 Concretos, morteros, agregados y grouts, que coordina ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE PRODUCTORES DE CONCRETO –ASOCRETO quien es reconocido por ICONTEC como secretaría Técnica de Normalización.

AGRECÓN S.A.	GRAVILLERA ALBANIA S.A.
ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE PRODUCTORES DE CONCRETO	GRUPO ARGOS
BASF QUÍMICA COLOMBIANA S.A.	HOLCIM COLOMBIA S.A.
CEMEX COLOMBIA	INSTITUTO COLOMBIANO DE PRODUCTORES DE CEMENTO
CONCONCRETO S.A.	MANUFACTURAS DE CEMENTO
CONCRELAB	TITAN S.A.
CONCRETERA TREMIX S.A.	MBT COLOMBIA S.A.
CONCRETOS PREMEZCLADOS S.A.	ORGANIZACIÓN MINUTO DE DIOS
EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTA	SIKA COLOMBIA
ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA	TOXEMENT S.A.
GEOGRAL LTDA.	UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
	UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS DE AQUINO

Ad consideración de las siguientes empresas:

o a

AGREGADOS DE LA SABANA  
LTDA.  
ASOCIACIÓN DE INGENIERIA  
SISMICA  
ASOGRAVAS  
CONCRETOS DE OCCIDENTE  
S.A.  
CONINSA S.A.  
CONSTRUCTORA COLPATRIA  
S.A.  
EMPRESA COLOMBIANA DE  
PETROLEOS  
ESCUELA MILITAR DE CADETES  
UNIVERSIDAD AGRARIA  
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES

INGENIERIA DEL CONCRETO  
INGENIESA S.A.  
INSTITUTO TECNOLÓGICO  
METROPOLITANO  
LABORATORIOS CONTECON-  
URBAR  
MANUFACTURAS DE CEMENTO  
S.A.  
PROYETOS Y DISEÑOS  
SUPERINTENDENCIA DE  
INDUSTRIA Y  
COMERCIO  
UNIVERSIDAD AGRARIA  
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES  
UNIVERSIDAD JAVERIANA  
UNIVERSIDAD MILITAR

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

DIRECCIÓN DE NORMALIZACIÓN

## **CONCRETOS.**

### **DURABILIDAD DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO**

#### **0. INTRODUCCIÓN**

En los últimos años, la durabilidad del concreto ha sido uno de los temas más estudiados, por su incidencia en la seguridad pública, la economía y en el aspecto social, entre otras causas; por esta razón, la mayoría de los códigos estructurales en el mundo, desde hace algún tiempo contemplan la durabilidad como factor crítico de diseño.

En la presente norma se presentan los parámetros más relevantes relacionados con la durabilidad del concreto y se fijan límites en los más importantes, de modo que se constituyan en factores de diseño.

Esta norma ofrece la información y las herramientas básicas para el diseño y la construcción de estructuras estables. Sin embargo, no busca abarcar el estado de avance de la tecnología en relación con las estructuras durables. Para este propósito se recomiendan publicaciones especializadas.

Como parte importante de esta norma, al final se proporcionan Anexos Informativos donde se amplían algunos conceptos y se plantean sugerencias, con el fin de que el usuario de la norma tenga mayor conocimiento.

## **1. OBJETO**

1.1 Esta norma establece las especificaciones aplicables a concretos hidráulicos sometidos a condiciones de exposición ambiental específicas, a las cuales estará expuesta la estructura durante su vida útil total (véase la Tabla 1). Además, se hace referencia a algunos métodos de ensayo.

1.2 Esta norma no busca señalar todos los problemas de seguridad; si hay alguno, asociado con su uso, es responsabilidad del usuario de esta norma establecer las prácticas de seguridad y salud, y determinar la aplicabilidad de las regulaciones que debe a usar.

1.3 Los valores normativos se indican de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades. NTC 1000 (ISO 1000).

## **2. REFERENCIAS NORMATIVAS**

Los siguientes documentos normativos referenciados son indispensables para la aplicación de este documento normativo. Para referencias fechadas, se aplica únicamente la edición citada. Para referencias no fechadas, se aplica la última edición del documento normativo referenciado (incluida cualquier corrección).

NTC 121, Ingeniería civil y arquitectura. Cemento Pórtland. Especificaciones físicas y mecánicas (ASTM C150).

NTC 174, Concretos. Especificaciones de los agregados para concreto (ASTM C33).

NTC 175, Ingeniería civil y arquitectura. Método químico para determinar la reactividad potencial álcali-sílice de los agregados (ASTM C289).

NTC 220, Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico usando cubos de 50 mm ó 50,8 mm de lado (ASTM C109).

NTC 321, Cemento Pórtland. Especificaciones químicas (ASTM C150).

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

NTC 1032, Ingeniería civil y arquitectura. Método de ensayo para la determinación del contenido de aire en el concreto fresco. Método de presión (ASTM C231).

NTC 1299, Concretos. Aditivos químicos para concreto (ASTM C494).

NTC 3318, Concretos. Producción de concreto (ASTM C94).

NTC 3493, Ingeniería civil y arquitectura. Cenizas volantes y puzolanas naturales, calcinadas o crudas, utilizadas como aditivos minerales en el concreto de cemento Pórtland (ASTM C618).

NTC 3459, Concretos. Agua para la elaboración de concreto (BS 3148).

NTC 3502, Ingeniería civil y arquitectura. Aditivos incorporadores de aire para concreto (ASTM C260).

NTC 3773, Guía para la inspección petrográfica de agregados de concreto (ASTM C295).

NTC 3823, Ingeniería civil y arquitectura. Muestreo y ensayo de cenizas volantes o puzolanas naturales para uso como aditivo mineral en el concreto de cemento Pórtland (ASTM C311).

NTC 3828, Método de ensayo para la determinación de la reactividad potencial a los álcalis de mezclas de cemento-agregado (método de la barra de mortero) (ASTM C227).

NTC 4018, Escoria de alto horno granulada y molida para uso en concretos y morteros (ASTM C989).

NTC 4023, Ingeniería civil y arquitectura. Especificaciones para aditivos químicos usados en la producción de concreto fluido (ASTM C1017).

NTC 4045, Ingeniería civil y arquitectura. Agregados livianos para concreto estructural (ASTM C330).

NTC 4578, Ingeniería civil y arquitectura. Cementos. Cemento hidráulico expansivo (ASTM C845).

NTC 4637, Ingeniería civil y arquitectura. Concretos. Especificaciones para el uso de microsílica como mortero y concretos de cemento hidráulico (ASTM C1240).

ASTM C595, *Standard Specification for Blended Hydraulic Cements.*

ASTM C1157, Especificación normalizada de desempeño para cemento hidráulico.

ASTM C1293, *Standard Test Method for Determination of Length Change of Concrete Due to Alkali-Silica Reaction.*

NSR 98, Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente.

### **3. TERMINOLOGÍA**

Para los propósitos de este documento normativo, se aplican los siguientes términos y definiciones:

3.1 Durabilidad. La durabilidad de una estructura de concreto reforzado es la capacidad de comportarse satisfactoriamente frente a las acciones físicas o químicas -o la combinación de ambas- agresivas y así proteger adecuadamente las armaduras y demás elementos metálicos embebidos en el concreto, durante su vida útil total.

NOTA Las definiciones de vida útil total para las estructuras de concreto presentadas en los numerales 3.2 a 3.5 están en función del grado de deterioro.

3.2 Vida útil de proyecto. Periodo de tiempo o vida de diseño prevista por el diseñador o el especificador, para el cual ni el tipo de agresión, ni la profundidad alcanzada por el agresor, ni la cuantía de ese agresor en el concreto son suficientes para dar inicio al deterioro del concreto reforzado. La vida útil de proyecto coincide con la fase de iniciación del ataque del medio agresor contra la estructura; durante esta fase alguna barrera protectora es vencida por el agresor, no obstante, no se ha debilitado aún la estructura ni los materiales que la componen.

3.3 Vida útil de servicio. Periodo que inicia desde la ejecución de la estructura hasta que se completa un nivel evidente de deterioro. La vida útil de servicio coincide con la fase de propagación del daño. En esta etapa se empiezan a evidenciar síntomas de deterioro tales como fisuras, desprendimientos del recubrimiento, manchas de óxido, exposición del agregado, entre otros. Desde el punto de vista de funcionalidad y aspecto estético, para algunas estructuras, el simple hecho de presencia de humedades, descascaramientos del recubrimiento, olores y presencia de hongos, será suficiente para considerar que se agotó el nivel aceptable de deterioro.

3.4 Vida útil total. Período de tiempo que va desde la ejecución de la estructura hasta su colapso parcial o total.

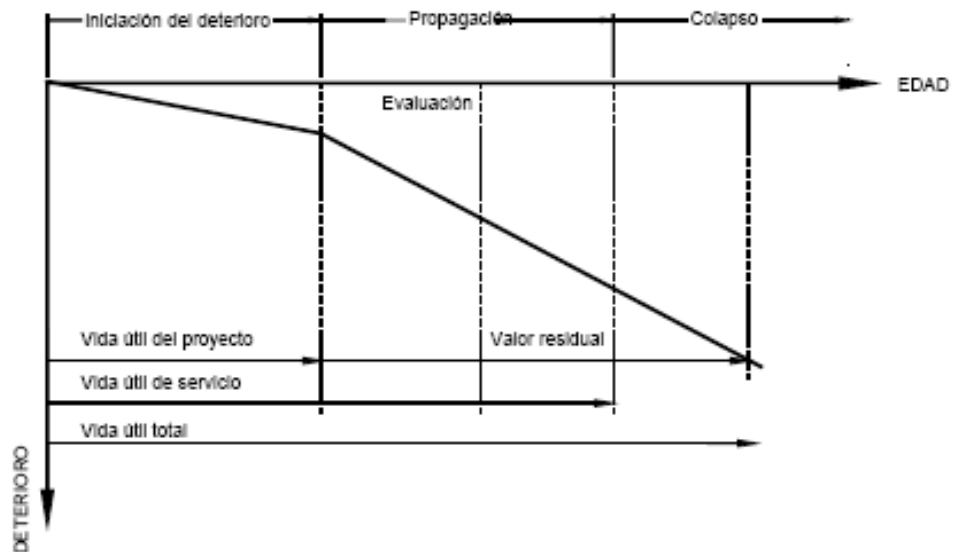
3.5 Vida residual. Si durante la vida en servicio de una estructura tiene lugar una evaluación con su correspondiente diagnóstico, se podrá determinar, con alguna aproximación, la vida residual de la estructura. Si la estructura se rehabilita (es decir, se sana, repara, refuerza y protege, ejecutando las anteriores acciones, las que se estimen necesarias), se origina una nueva vida útil de proyecto, cuya extensión dependerá del tipo de rehabilitación efectuada y de la calidad de los materiales usados.

NOTA La técnica actual no dispone de modelos comprobados para determinar con precisión la vida útil total de una estructura. La estimación de dicha vida útil total parte del análisis de las características del ambiente que rodea una estructura y de la determinación de las características del concreto que resistirá este ataque. Existen modelos matemáticos que permiten predecir la velocidad de avance del frente de carbonatación y la presencia de cloruros; sin embargo, no existe aún un modelo para predecir el avance de sulfatos en una estructura, por tal razón las

mediciones de permeabilidad del concreto al agua o al aire, pueden ser de gran utilidad para inferir el comportamiento futuro de una estructura frente a la mayoría de los agresores que causan deterioro por expansión (sulfatos, reacción álcali-agregado) o por lixiviación (por ejemplo, aguas blandas).

En la Figura 1 se resumen los conceptos expresados en este numeral.

Iniciación del deterioro Propagación Colapso



*Tuutti, K "Corrosion of steel in concrete" Report 4.82, Cement and Concrete Association, Stockholm, 1982.*

Figura 1. Vida útil de las estructuras

Adicionalmente, la durabilidad de una estructura de concreto reforzado depende de varios factores, los cuales aparecen relacionados en la Figura 2.

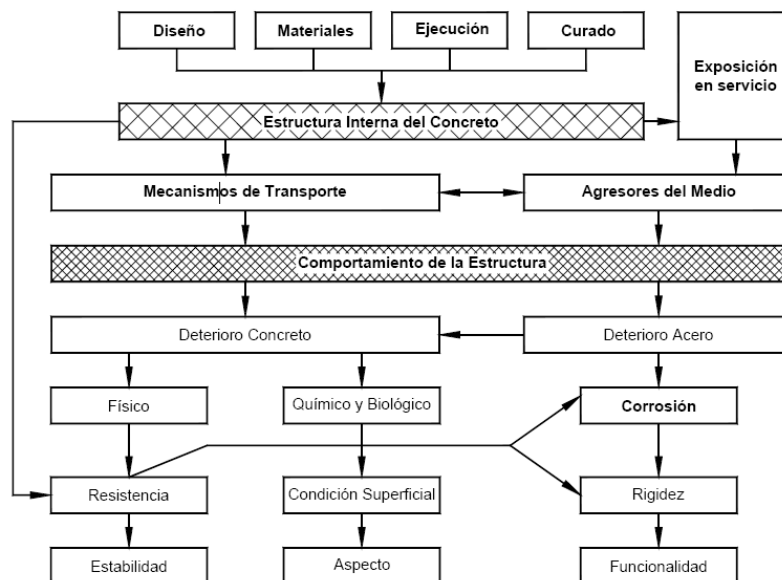


Figura 2. Factores que afectan la durabilidad

En la Figura 2 se puede observar que la estructura interna del concreto dependerá de cuatro factores fundamentales:

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

Véase el Anexo B.

NOTA Información más detallada sobre los factores que se encuentran indicados en la Figura 2 así como las recomendaciones para tener en cuenta durante la construcción se pueden encontrar en el libro CEB-GEHO (Grupo Español del Hormigón-Comité Europeo del Concreto), Boletín 12. "Durabilidad de las estructuras de Hormigón", Guía de diseño CEB).

#### 4. CONDICIONES DE EXPOSICIÓN

En relación con la durabilidad, el grado de agresividad del ambiente al que se ve expuesta una estructura depende del microclima que la rodea (humedad relativa, temperatura, viento) con sus respectivas fluctuaciones, así como del conjunto de procesos físicos y químicos a los que se ve expuesta en servicio y de la presencia de sustancias que la degraden, como consecuencia de efectos diferentes a los de las cargas y demandas mecánicas consideradas en el análisis estructural.

El tipo de ambiente está definido por la combinación de:

- Una o las dos clases generales de exposición frente a la corrosión de armaduras indicadas en la Tabla 1. Carbonatación o ataque por cloruros.
- Las clases específicas de exposición relativas a los otros procesos de degradación que aplican para cada caso, las cuales están señaladas en la Tabla 1.

Tabla 1. Clases generales de exposición

Clase	Subclase	Tipo de proceso	Descripción del ambiente de exposición	Ejemplos
1		Ningún riesgo de corrosión o ataque.	Interiores de edificios, no sometidos a condensaciones. Elementos de concreto en masa.	Interior de edificios, protegidos de la intemperie.
2		Corrosión inducida por carbonatación.		
	2.1	Humedad alta	Interiores sometidos a humedades medias altas > 85 % o condensaciones. Exteriores en ausencia de cloruros y expuestos a lluvia en zonas con precipitación media anual superior a 600 mm. Elementos enterrados o sumergidos.	Sótanos no ventilados, cimentaciones, tableros
	2.2	Humedad media	Exteriores en ausencia de cloruros sometidos a la acción del agua de lluvia, en zonas con precipitación media anual menor o igual a 600 mm.	Construcciones exteriores protegidas de la lluvia. Tableros y pilas de puentes en zonas de precipitación media anual menor o igual a 600 mm.
	2.3	Humedecimiento-secado	Ciclos de humedecimiento y secado.	Superficies en contacto con el agua, estructuras sometidas a ciclos de humedad y secado, tanques, pilas.
3		Corrosión inducida por cloruros del agua de mar		
	3.1	Aérea	Elementos de estructuras marinas por encima del nivel de pleamar. Elementos exteriores de estructuras situadas en las proximidades de la línea costera (a menos de 5 km).	Estructuras en las proximidades de la costa, zonas aéreas de diques y otras obras de defensa.
	3.2	Sumergida	Elementos de estructuras marinas sumergidas permanentemente por debajo del nivel mínimo de bajamar.	Zonas sumergidas de diques y otras obras de defensa litoral, cimentaciones y zonas sumergidas de pilas de puentes en pleamar.
	3.3	En zona de mareas	Elementos de estructuras marinas situadas en la zona de cambio de mareas.	Zonas situadas en el recorrido de marea de diques y otras obras de defensa litoral. Zonas de pilas de puentes sobre el mar, situadas en el recorrido de marea.

Clase	Subclase	Tipo de proceso	Descripción del ambiente de exposición	Ejemplos
4		Corrosión inducida por cloruros diferentes a los que provienen del agua de mar.	Concreto reforzado o con metal embebido en contacto con agua con cloruros diferente al agua de mar.	
	4,1	Humedad moderada.	Concreto con exposición directa a salpicaduras con cloruros.	Piscinas, plantas de tratamiento
	4,2	Humedad	Concretos expuestos a cloruros provenientes de procesos industriales. Instalaciones no impermeabilizadas en contacto con agua que presente un contenido elevado de cloruros, no relacionados con el ambiente marino.	Piscinas, plantas de tratamiento
	4,3	Ciclos de humedecimiento y secado.	Estructuras expuestas a humedecimiento y secado de aguas con contenidos de cloruros.	Estructuras de puentes Pavimentos Placas de parqueaderos.
5	5,1	Ataque por hielo y deshielo.	Elementos situados en contacto frecuente con el agua, o zonas con humedad relativa media superior al 75 % y que tengan una probabilidad anual superior al 50 % de alcanzar al menos una vez temperaturas por debajo de -5 °C.	Construcciones en zonas de alta montaña, estaciones invernales, cuartos fríos temperaturas por debajo de -5 °C.
6		Ataque químico		
	6,1	Débil	Elementos situados en ambientes con contenidos de sustancias químicas capaces de provocar la alteración del concreto con velocidad lenta. Véase la Tabla 2.	Instalaciones industriales con sustancias débilmente agresivas de acuerdo con la Tabla 2, construcciones en proximidades de áreas industriales, con agresividad débil según la Tabla 2
	6,2	Medio	Elementos en contacto con el agua de mar. Elementos situados en ambiente con contenidos de sustancias químicas capaces de provocar alteración del concreto con velocidad media, de acuerdo con la Tabla 2.	Estructuras marinas en general. Instalaciones industriales con sustancias de agresividad media.
	6,3	Fuerte	Elementos expuestos a fuertes alteraciones del concreto. Véase Tabla 2.	Instalaciones industriales con sustancias de alta agresividad, de acuerdo con la Tabla 2. Instalaciones de conducción y tratamiento de aguas residuales.
7	7,1	Desgaste	Abrasión, cavitación. Elementos sometidos a desgaste superficial. Elementos de estructuras hidráulicas en los que el nivel piezométrico pueda descender por debajo de la presión de vapor de agua.	Pilas de puente en cauces muy torrenciales, elementos de diques, tuberías de alta presión, tránsito ligero de pavimentos, tráfico mediano o pesado.

Tipo de medio	Parámetros	Subclase		
		6,1	6,2	6,3
		Ataque débil	Ataque medio	Ataque fuerte
AGUA	Valor del Ph	6,5 - 5,5	5,5 - 4,5	< 4,5
AGUA	CO <sub>2</sub> disuelto (mg/L)	15 - 40	40 - 100	> 100
AGUA	IÓN AMONIO, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	15 - 30	30 - 60	> 60
AGUA	IÓN MAGNESIO Mg <sup>2+</sup> (mg/L)	300 - 1 000	1 000 - 3 000	> 3 000
AGUA	IÓN SULFATO SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	200 - 600	600 - 3 000	> 3 000
AGUA	RESIDUO SECO (mg/L)	75 - 150	50 - 75	< 50
SUELO	GRADO DE ACIDEZ BAUMANN-GULLY	> 20		
SUELO	IÓN SULFATO SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/kg de suelo seco)	2 000 - 3 000	3 000 - 12 000	> 12 000
EJEMPLOS		Instalaciones Industriales con sustancias débilmente agresivas.	Estructuras marinas, Instalaciones de conducción y tratamiento de aguas residuales con sustancias de agresividad media.	Instalaciones de tratamiento de agua con sustancias de agresividad media e instalaciones industriales con sustancias fuertemente agresivas.

NOTA La Tabla 2 presenta los valores límite de las características químicas del ambiente (agua o suelo) que tienen especial influencia sobre la durabilidad del concreto sujeto a las distintas subclases de exposición ambiental definidas en la Tabla 1 como clase 6 (ataque químico).

## 5. REQUISITOS DE DURABILIDAD

Para que los elementos de concreto estructural tengan una expectativa de durabilidad adecuada, se deben definir las acciones por tomar para contrarrestar en forma práctica y eficiente los mecanismos específicos de deterioro que pueden presentarse sobre la estructura de concreto y que atentan contra su durabilidad; ya que los diversos procesos reconocidos de degradación pueden evitarse o mitigarse aprovechando los conocimientos actuales de la tecnología del concreto, de los materiales en general y de los parámetros involucrados en el proceso.

Antes de utilizar nuevos materiales como cemento, adiciones, aditivos, agregados y acero de refuerzo o nuevas tecnologías, se debe analizar su posible influencia respecto a la durabilidad. Se deben realizar las pruebas necesarias sobre el concreto para garantizar el desempeño de estos nuevos materiales, de acuerdo con de las características del ambiente a las que estará sometida la estructura.

En la Tabla 3 se relacionan los requisitos de durabilidad en términos de máximas relaciones agua-material cementante, contenidos mínimos de material cementante

y resistencia especificada mínima a la compresión para las diferentes condiciones de exposición.

El cálculo de la relación agua-material cementante debe hacerse utilizando el peso del cemento que cumpla las normas NTC 121, NTC 321 o ASTM C595, más el peso de las cenizas volantes u otras puzolanas que cumplan la NTC 3493, la escoria siderúrgica que cumpla la NTC 4018 y el humo de sílice (microsílica) que cumpla la NTC 4637, si se utiliza cualquiera de estas adiciones.

Tabla 3. Valores límite para composición y propiedades del concreto Clase

Parámetro	Subclases	Clase														
		1	2			3			4			5	6			7
		1	2,1	2,2	2,3	3,1	3,2	3,3	4,1	4,2	4,3		6,1	6,2	6,3	
Maxima relación a/m.c.	Concreto no reforzado	0,65	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0,45	0,5	0,5	0,45	0,5
Maxima relación a/m.c.	Concreto reforzado	0,65	0,6	0,55	0,5	0,5	0,45	0,4	0,55	0,55	0,45	0,45	0,5	0,45	0,45	0,5
Maxima relación a/m.c.	Concreto preesforzado	0,6	0,6	0,55	0,5	0,5	0,45	0,4	0,5	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,5
Resistencia especificada mínima a compresión MPa		---	24	28	28	28	35	35	28	28	35	31	31	35	35	28
Contenido mínimo de material cementante (kg/m <sup>3</sup> )	Concreto no reforzado	200	---	---	---	---	---	---	---	---	---	275	275	300	325	275
Contenido mínimo de material cementante (kg/m <sup>3</sup> )	Concreto reforzado	250	300	300	300	300	325	350	300	320	340	300	325	350	350	300
Contenido mínimo de material cementante (kg/m <sup>3</sup> )	Concreto preesforzado	275	300	300	300	300	325	350	300	320	340	300	325	350	350	300
Contenido de aire incorporado mínimo (%)									**	**	**	**	**	**	**	
Otros requerimientos													-	-	-	

\* Cemento resistente a sulfatos (Tipo II, Tipo V) o una adecuada dosis de microsilica o cemento adicionado que cumpla con las normas.

\*\* Según Tabla 4 relación a/m.c. = relación agua / material cementante

NOTA Para estructuras especiales, como tuberías y prefabricados de concreto, se deberían tener en cuenta las recomendaciones, especificaciones, normativa existente y requisitos de durabilidad de organizaciones como el American

Concrete Institute (ACI), o de otras instituciones o asociaciones que hayan estudiado el tema. Adicionalmente, para agresiones de la clase 6 debería considerarse el uso de protecciones secundarias cuando sea necesario.

Tabla 4. Requisitos de contenido de aire total para concretos con aire incorporado

Tamaño nominal máximo del agregado (mm)	Contenido de aire para ambientes 4.2, 4.3, 5.1, 6.2 y 6.3	Contenido de aire para ambientes 4.1 y 6.1	Tolerancias
9,5	7,5%	6,5%	+/- 1,5%
12,7	7,0%	5,5%	+/- 1,5%
19,1	6,0%	5,0%	+/- 1,5%
25,4	6,0%	4,5%	+/- 1,5%
38,1	5,5%	4,5%	+/- 1,5%
50,8	5,0%	4,0%	+/- 1,5%
76,2	4,5%	3,5%	+/- 1,5%

NOTA El aire total corresponde al aire incorporado más el aire atrapado. Contenido de aire determinado mediante el método de presión establecido en la NTC 1032.

## 5.1 MATERIALES

Se deben cumplir los parámetros definidos en la NTC 3318 como condición básica para un concreto durable. A menos que se incluyan otras especificaciones, los materiales deben cumplir las siguientes:

### 5.1.1 Cemento

El cemento debe cumplir con las normas NTC 121 y NTC 321. Se permite el uso de cementos fabricados bajo las normas ASTM C150, ASTM C595 y ASTM C1157 (véase la Nota de este numeral). El cliente debe especificar el tipo o tipos requeridos; en caso de no hacerlo, se aplican los requisitos del Tipo 1, según las normas NTC citadas. Estos requisitos deben estar documentados y almacenados para verificar su cumplimiento.

NOTA Los diferentes tipos de cemento producen concretos con diferentes propiedades y, por tanto, no se deben utilizar indiscriminadamente.

### 5.1.2 Agregados

Los agregados deben cumplir los requisitos de la NTC 174; los agregados que no cumplan con la norma anterior, pero que hayan demostrado mediante ensayos especiales o en uso, que producen concreto con resistencia y durabilidad adecuadas, se pueden utilizar cuando se compruebe, mediante los métodos de laboratorio existentes y autorizados por el supervisor técnico.

El tamaño máximo nominal del agregado no debe ser mayor que:

- a)  $1/5$  de la dimensión menor entre los lados de las formaletas,
- b)  $1/3$  del espesor de las losas
- c)  $3/4$  del espaciamiento libre mínimo entre las barras o alambres individuales del refuerzo, paquetes de barras o los tendones o ductos de preesforzado.

Pueden utilizarse agregados livianos en la producción de concreto estructural, siempre y cuando éstos cumplan los requisitos de la NTC 4045. Estos requisitos deben estar documentados y almacenados para verificar su cumplimiento (véase la Nota de este numeral).

NOTA Diferentes tipos de agregados producen concreto con diferentes propiedades y, por tanto, se deben caracterizar para realizar los ajustes al diseño de mezcla correspondiente.

### **5.1.3 Agua**

El agua utilizada en la mezcla del concreto debe estar limpia y libre de cantidades perjudiciales de cloruros, aceites, ácidos, álcalis, sales, materiales orgánicos y otras sustancias que puedan ser perjudiciales para el concreto o el refuerzo. El agua debe cumplir la NTC 3459.

El agua de mezcla para el concreto preesforzado o para el concreto que vaya a contener elementos embebidos de aluminio, o el agua asociada a la humedad libre de los agregados, no debe contener cantidades perjudiciales del ión cloruro, según lo indicado en la Tabla 6.

El agua no potable no debe utilizarse en el concreto, a menos que se cumplan las siguientes requisitos:

- a) Que la dosificación esté basada en mezclas de concreto que utilicen agua de la misma fuente.
- b) Que los cubos para ensayo de morteros hechos con agua no potable de mezcla, tengan resistencias a la compresión a los 7 d y 28 d de edad, iguales o mayores al 90 % de las resistencias a la compresión de probetas similares hechas con agua potable. La comparación de los ensayos de resistencia debe hacerse sobre morteros idénticos, con excepción del tipo de agua empleada en la muestra, preparados y ensayados de acuerdo con la NTC 220.

### **5.1.4 Aditivos químicos**

Los aditivos químicos reductores de agua, retardantes y acelerantes deben cumplir las especificaciones de las normas NTC 1299 para aditivos incorporadores

de aire, la NTC 3502 para superfluidificantes y la NTC 4023 para aditivos usados en la producción de concreto fluido, (véase la nota de este numeral).

Los aditivos empleados en la fabricación de concreto que contenga cementos expansivos, de acuerdo con la NTC 4578, deben ser compatibles con el cemento y no deben producir efectos perjudiciales.

NOTA En algunas circunstancias las dosis requeridas de incorporadores de aire, acelerantes y de aditivos retardantes pueden variar. Por consiguiente, se debe permitir un intervalo de dosificaciones, con el fin de obtener los efectos deseados.

### **5.1.5 Adiciones**

La ceniza volante y la puzolana natural cruda o calcinada deben cumplir con la NTC 3493. La escoria de alto horno granulada y triturada debe ser conforme a la NTC 4018. La microsilica debe cumplir la NTC 4637 y la NTC 3823 para cuando se adicionen cenizas volantes.

### **5.1.6 Otros materiales**

Se permite el uso de otros materiales (colorantes, pigmentos minerales, fibras, poliestileno expandido) siempre y cuando no afecten la durabilidad del concreto y su desempeño se encuentre certificado.

## **5.2 CURADO**

El proceso de curado se encuentra entre los factores más importantes para asegurar la integridad de una estructura que ha sido bien diseñada y hecha con un concreto de buena calidad. Curar el concreto es mantener en el material las condiciones de humedad y temperatura que garanticen la completa hidratación del cementante y el desarrollo de su resistencia potencial. El curado temprano de las estructuras es un método apropiado para evitar fisuras por contracción plástica y por contracción de secado.

El curado de una estructura de concreto debe iniciarse tan pronto sea posible, generalmente tan pronto el material se ha vuelto rígido, a causa de su fraguado inicial. El cambio del aspecto brillante a mate en las losas anuncia que la evaporación del agua ha llegado a un punto en que debe ser controlada.

Una baja humedad relativa combinada con alta temperatura ambiente y alta velocidad del viento obligarán a extremar las necesidades de curado y a prolongarlo.

El mejor método de curado lo constituye la aspersion de agua fría sobre su superficie, una vez el concreto ha fraguado. La literatura sugiere curar las estructuras por un tiempo mínimo que depende del tipo de cementante usado, así:

- 7 d para estructuras elaboradas con cemento Pórtland.



especial en los casos en que la reacción es lenta, el método de ensayo, de acuerdo con la norma ASTM C1293, si la expansión después de un año, según esta prueba, resulta ser mayor de 0,04 %, el agregado es potencialmente reactivo.

## 5.5 CONCRETOS EXPUESTOS A ATAQUE POR SULFATOS

Para el concreto expuesto a concentraciones perjudiciales de sulfatos solubles procedentes de suelos y aguas, las medidas preventivas deben determinarse de las Tablas 2, 3 y 4. Para un buen comportamiento frente a la acción de sulfatos se recomienda el uso de un cemento resistente a los sulfatos o adicionado con puzolanas, o usar concreto con una adecuada dosis de humo de sílice. Para estos ambientes se debe realizar una apropiada elección de los componentes del concreto, incluyendo cemento, adiciones y agregados.

## 5.6 RECUBRIMIENTO DEL ACERO DE REFUERZO

Se requieren recubrimientos mínimos de concreto, de acuerdo con las condiciones ambientales y si el acero actúa como refuerzo normal o preesforzado, según el numeral C.7.7 de la NSR 98.

## 5.7 CONTENIDO DE IÓN CLORURO

El contenido máximo permitido de ión cloruro aportado por los ingredientes de la mezcla no debe ser mayor a lo establecido en la Tabla 6.

Tabla 6. Contenido máximo de ión cloruro para prevenir la corrosión

Tipo de elemento	Contenido máximo del ión cloruro (Cl expresado como porcentaje de peso de material cementante)
Concreto preesforzado	0,06
Concreto reforzado expuesto al cloruro en servicio	0,15
Concreto reforzado que estará seco o protegido de la humedad en servicio	1,00
Otros tipos de construcción en concreto reforzado	0,30

NOTA El contenido máximo de ión cloruro, en el concreto endurecido, para evitar la despasivación del acero de refuerzo por picado es del orden de 0,25 % del peso del material cementante, según la literatura disponible al respecto.

## PROTECCIÓN DEL CONCRETO

### A.1 PROTECCIÓN CONTRA ACCIONES FÍSICAS Y MECÁNICAS

Se puede distinguir entre dos tipos de grietas, de acuerdo con la edad del concreto. En el concreto recién colocado, antes de su endurecimiento, se pueden generar grietas por retracción plástica y por asentamiento plástico. En los siguientes días se pueden generar grietas por contracción térmica inicial. Las

grietas por contracción de secado aparecen generalmente entre 1 mes y un año. Las grietas debidas a la reacción álcali-agregado, a la influencia de ciertas cargas o a la corrosión electroquímica del refuerzo serán de aparición tardía. Este proceso puede tardar años en desarrollarse, dependiendo de las condiciones de exposición.

Los cambios volumétricos y las correspondientes tensiones que se generan en las estructuras, están asociados a cambios en el contenido de humedad, diferenciales de temperatura, gradiente térmico en estructuras masivas y contracción de fraguado, entre otros.

Las fisuras de una estructura se pueden evitar con un adecuado curado, la escogencia de un adecuado espesor de recubrimiento, separación entre barras, diámetro de barras, cuantía de refuerzo, consistencia adecuada del concreto, diseño de mezcla apropiado, diseño adecuado de juntas, entre otros.

#### **A.1.1 Agrietamiento por retracción plástica y por asentamiento plástico**

Existe el riesgo de desarrollo de agrietamiento por retracción plástica en el concreto cuando está fraguando y la velocidad de evaporación del agua de la superficie expuesta del concreto alcanza un valor crítico (más de un litro por hora en una superficie de un metro cuadrado). Las precauciones que deben tomarse para disminuir la velocidad de evaporación pueden ser una o varias de las siguientes alternativas:

- Humedecer la subrasante y formaletas previamente a la fundida;
- Colocar el concreto a la temperatura más baja permisible;
- Erigir barreras para desviar el viento;
- Mantener a la sombra los componentes del concreto;
- Agregar agua helada o escarcha de hielo como parte del agua de mezclado o usar nitrógeno líquido para enfriar los componentes del concreto o el concreto.
- Reducir el tiempo entre la colocación del concreto y el inicio del curado; y,
- Minimizar la evaporación por medios apropiados; por ejemplo, aumentar la humedad ambiente relativa aplicando una llovizna en forma de niebla, cubriendo la superficie con materiales apropiados (plásticos, lonas saturadas o similares) o aplicando membranas de curado.

En el caso de la aparición de grietas por retracción plástica o por asentamiento plástico, el apisonamiento o revibrado del concreto, antes de iniciarse el fraguado, puede cerrarlas sin originar daño al concreto y proceder de inmediato al curado.

#### **A.1.2 Agrietamiento causado por cargas o deformaciones**

El agrietamiento es inevitable en las estructuras de concreto, tanto reforzadas como presforzadas, en las zonas de máximos esfuerzos, ya que al tomar el acero la carga de tensión el concreto se agrieta. Estas grietas no son indicio de defectos en las condiciones de servicio de la estructura, siempre que el ancho de la grieta no supere lo especificado por los códigos estructurales vigentes. El ancho aceptable de una grieta es un valor que depende de la función de este elemento en la estructura. La cantidad de acero de refuerzo debe ser la suficiente para controlar el ancho del agrietamiento en las áreas donde ocurre la tensión.

Un excesivo espaciamiento del acero de refuerzo conduce a la aparición incontrolada de grietas entre barras; por tanto, el diámetro y espaciamiento máximo de las varillas de refuerzo debe limitarse. Véase el numeral C.7.7 de la NSR-98.

La utilización de barras con la relación diámetro–recubrimiento mayor que el recubrimiento del concreto da lugar a grietas longitudinales en dirección del acero de refuerzo. La separación máxima entre barras debe cumplir los requisitos del numeral C.7.6 de la NSR-98.

En zonas donde se concentran esfuerzos de tensión por cambios en la sección de la estructura o empotramientos debe evitarse, desde el diseño de la estructura, esa concentración de esfuerzos, permitiendo el libre movimiento del elemento como suele suceder cuando se implementan juntas de expansión en edificios y puentes. Es necesario calcular y colocar adecuadamente la cuantía requerida de refuerzo en aquellas secciones de la estructura en donde los cambios de temperatura generen gradientes térmicos, las contracciones u otras acciones den como resultado la aparición de altos esfuerzos de tensión.

El agrietamiento por amplios gradientes térmicos debidos al calor de hidratación del cementante, el cual origina cambios volumétricos y tensiones, puede aparecer en el concreto masivo, (se entiende por concreto masivo aquel cuyo espesor es mayor a 60 cm, como losas de cimentación, pilas, etc.), por lo cual será necesario seleccionar materiales adecuados para la producción de concreto, efectuar diseños especiales de mezclas, adoptar medidas especiales y seguir estrictos procedimientos constructivos que aseguren un adecuado comportamiento del concreto.

### **A.1.3 Congelamiento**

El concreto húmedo expuesto a ciclos de congelamiento y descongelamiento se deteriora, a menos que éste sea de la calidad necesaria para soportar este efecto. Cualquier ataque al concreto por congelamiento se inicia desde la superficie; por tanto, la calidad de la capa exterior del concreto tiene mayor influencia en la resistencia del concreto al congelamiento. Se mejora la calidad de esta capa, mediante la reducción de la relación agua/material cementante, el uso de aditivos incorporadores de aire y un curado eficiente.

Se debe tener especial cuidado para asegurar que el concreto no se congele durante el endurecimiento y que el tipo y el tiempo de curado se efectúen de acuerdo con lo especificado. Se considera que el concreto tiene la suficiente resistencia al primer congelamiento (congelamiento durante el período de curado) si éste ha alcanzado una resistencia mínima a la compresión de 3,5 MPa (35 kg/cm<sup>2</sup>) al ocurrir el fenómeno.

#### **A.1.4 Desgaste por abrasión**

La mayoría de los agregados de peso normal tienen buena resistencia al desgaste, sin embargo, para lograr una alta resistencia al desgaste por abrasión, la relación agua/material cementante debe ser baja y se puede añadir un aditivo reductor de agua para disminuir la cantidad de agua en la mezcla. Se debe asegurar una buena adherencia con el agregado

grueso, procurando además que en la operación de acabado se produzca una superficie tersa, libre de microgrietas. Para lograr el acabado requerido es recomendable dar el mínimo de pasadas con la llana, seguido de un curado eficiente.

Los tres tipos de abrasión más frecuentes son:

- Rozamiento, raspado o impacto
- Erosión por materiales abrasivos
- Erosión por cavitación

#### **A.1.5 Reacción química de los agregados**

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<sup>-</sup> de la pasta hidratada del material cementante asociada con los álcalis y el sílice reactivo presente en algunos agregados, los álcalis (Na<sub>2</sub>O y K<sub>2</sub>O) 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.

Los antecedentes del comportamiento de un agregado, en particular si ha sido utilizado con un material cementante de alto contenido de álcalis, es el mejor medio de juzgar su reactividad. Si los antecedentes no son conocidos deben realizarse las pruebas mencionadas en el numeral 5.4. Si los agregados son potencialmente reactivos deben efectuarse pruebas complementarias y no deben ser usados en concretos expuestos al agua de mar o en otros ambientes donde los álcalis estén disponibles para ingresar en el concreto en solución.

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 una 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 ( $0,658 K_2O + Na_2O$ ) sea inferior al 0,6 % de la masa del material cementante, previendo el ingreso 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 deterioro. Una baja relación a/m.c. (agua/material cementante), así como un adecuado curado o tratamiento superficial pueden impedir o retardar el fenómeno.

#### **A.1.6 Juntas**

En la construcción de estructuras durables, el diseño de juntas desempeña un importante papel, así como su correcta elaboración, protección y sello adecuado. Los fenómenos de contracción del concreto debidos al secado y a los cambios dimensionales (contracción y dilatación) por efectos térmicos, originan fisuras en los elementos estructurales, si no son estudiados, minimizados (en caso de que lo requieran) o controlados mediante el diseño y la construcción de juntas. Debido al mismo proceso constructivo, se generan también juntas en las estructuras.

El espaciamiento de las juntas debe definirse, con base en un adecuado cálculo estructural que tenga en cuenta la retracción del concreto, cantidad de refuerzo de la estructura y tamaño máximo de fisuras permisibles en la estructura por consideraciones de durabilidad.

El sello adecuado y la protección de las juntas evitan que el agua pase a través de ellas y que se colmaten con material rígido que genera un comportamiento inadecuado de la junta, el cual generalmente conduce a fisuras.

La humedad es uno de los vehículos más importantes para el ingreso de sustancias disueltas perjudiciales para el concreto reforzado y un elemento indispensable para completar el esquema de la corrosión del refuerzo. Por esta razón, el buen manejo del agua en contacto con la estructura, mediante drenajes, complementa la protección.

Para la correcta elección del material de sello de juntas, se deben tener en cuenta aspectos como:

- Tipo de juntas.
- Cambios dimensionales de los elementos por sellar causados por movimientos esperados en la junta.

- Medio ambiente y agresores en el medio.

Una fisura importante constituye, en cierta forma, una junta en la estructura, que debe ser sellada para evitar el regreso de la humedad y de los agresores del medio. Para su correcto sello, se deben evaluar los siguientes aspectos:

- Las causas del agrietamiento para descartar corrosión del refuerzo y para efectuar los correctivos necesarios.
- Definir si la grieta está sometida a movimiento y si es una grieta activa o pasiva.
- Definir si es necesario restituir la continuidad e integridad del elemento a cargo de ingeniero calculista.
- Una vez definido lo anterior, se procede a escoger el material de sello. Una grieta activa debe sellarse con un material flexible; mientras que una grieta sin movimiento puede sellarse con materiales rígidos como por ejemplo, morteros o resinas epóxicas, entre otros.

## **A.2 PROTECCIÓN CONTRA EL ATAQUE QUÍMICO**

El concreto puede estar expuesto a gases, aguas y suelos que contengan productos químicos agresivos. El concreto expuesto a soluciones agresivas y sujeto a presión y alta temperatura es más vulnerable a la acción destructiva.

Las medidas preventivas se definen de acuerdo con el grado de agresividad del ambiente. En la mayoría de los casos, un concreto con muy baja permeabilidad, bien proporcionado, bien compactado y bien curado, raramente se deteriora. Un buen proporcionamiento de concreto debe tomar en cuenta el tipo de cemento, las adiciones, la relación agua/material cementante y el contenido mínimo de material cementante en el concreto, tal como se muestra en la Tabla 3.

En algunos casos, es necesaria una protección adicional al concreto para lo cual debe consultarse a los fabricantes, enumerando las características particulares a las cuales estará expuesto el concreto que pueden generar deterioro. En ambientes que disuelven productos de calcio, los cementos adicionados (con escoria de alto horno o puzolanas) se comportan mejor que el cemento Portland, con un alto contenido de silicato tricálcico (el cual libera grandes cantidades de iones de calcio durante la hidratación). Así mismo, la adición de escoria de alto horno, ceniza volante o una dosis adecuada de microsíllica pueden ser benéficas para lograr este efecto.

### **A.2.1 Ataque por sulfatos**

Para el concreto expuesto a concentraciones perjudiciales de sulfatos solubles procedentes de suelos y aguas, las medidas preventivas deben tomarse de acuerdo con lo establecido en las Tablas 2, 3 y 4. Al seleccionar un cemento hidráulico para resistir sulfatos, la consideración especial es su contenido de C3A

(Aluminato Tricálcico). Para exposiciones moderadas, se limita en el cemento a un contenido máximo de C3A (Aluminato Tricálcico) del 8 %. Un cemento resistente a sulfatos no contiene más de 5 % de C3A (Aluminato Tricálcico). El cemento normalmente formulado para este tipo de ataque es el cemento Tipo 2 para ataque moderado y el cemento Tipo 5 para un ataque severo; no obstante, la adición de microsilica ha demostrado también tener una buena resistencia al ataque por sulfatos; así mismo, se ha comprobado que el cemento Tipo 5, con una adición de caliza finamente pulverizada, ha demostrado buenos resultados al ataque por sulfatos.

Además de la selección apropiada del cemento hidráulico, son importantes otras acciones para elaborar concretos durables expuestos a concentraciones de sulfatos, ellas son: baja relación agua/material cementante, baja permeabilidad, incorporación de aire a la mezcla, manejabilidad y compactación adecuada, uniformidad, recubrimiento adecuado del refuerzo y suficiente curado para desarrollar las propiedades potenciales del concreto.

### **A.2.2 Ataque biológico**

Debido a la habilidad de los microorganismos para sobrevivir en la superficie del concreto, existe el riesgo de ataque superficial, así como problemas estéticos y de salubridad, por tanto, debe minimizarse su desarrollo reduciendo la porosidad. Se debe evitar que las raíces de las plantas penetren en huecos y grietas dado que pueden crear fisuras en el concreto.

El deterioro de las tuberías de concreto (drenajes) debido al azufre originado por las bacterias puede disminuirse minimizando la turbulencia en las tuberías, , y eliminando los cultivos de bacterias en el interior de las tuberías, en esta forma se reduce la liberación de sulfuro de hidrógeno. Una buena ventilación de los drenajes es un medio muy eficiente para prevenir este proceso.

En ciertos casos particulares puede requerirse la aplicación de revestimientos especiales al concreto.

### **A.2.3 Protección del refuerzo contra la corrosión**

El concreto proporciona normalmente protección contra la corrosión del acero de refuerzo embebido debido a la alta alcalinidad de la pasta de cemento ( $\text{pH} > 12,5$ ), que da como resultado la formación de una película de óxido de hierro que hace pasivo al acero y lo protege de la corrosión. Existe una protección adicional debida a la relativamente alta resistividad eléctrica del concreto expuesto al ambiente atmosférico, cuando la humedad del medio es baja.

La película inhibidora del acero se pierde, con lo cual posibilita el inicio del proceso electroquímico de corrosión al carbonatarse la pasta de cemento del concreto. De esta manera, alcanza valores de  $\text{pH}$  de 10,5 o menos o cuando la concentración

de ión cloruro soluble en agua alcanza un valor superior al 0,25 % de la masa del cemento en la vecindad del refuerzo.

Una vez la película capa protectora del acero se pierde, la presencia de humedad y oxígeno dan inicio a la corrosión. La existencia de grietas acelera el proceso, ya que éstas proporcionan más fácil acceso a los contaminantes, al aire y a la humedad.

La corrosión del acero de refuerzo puede prevenirse de varias maneras:

- Impidiendo la despasivación del acero de refuerzo mediante el control de la relación

agua/ material cementante, adecuado espesor de recubrimiento y excelente curado;

- Aplicando recubrimientos protectores al acero o al concreto para aislar el refuerzo o la estructura del medio corrosivo;

- Utilizando inhibidores de corrosión;

- Instalando una protección catódica;

- Usando cementos con adiciones ricas en aluminio, pues éstas retardan el ingreso de ión cloruro en el interior de la estructura;

- Usando una cuantía adecuada de adición puzolánica ha demostrado un buen comportamiento en el control del ingreso de cloruros.

Siempre que se desee proteger de la corrosión al acero de refuerzo, el medio por utilizar está definido por la relación costo-eficiencia-durabilidad. Una protección eficiente al acero, se logra con un proporcionamiento de concreto tal que produzca un material de baja permeabilidad, utilizando bajas relaciones agua/material cementante. Se debe vigilar que el contenido de ión cloruro se mantenga lo más bajo posible en la mezcla. Se debe proporcionar un buen drenaje a la estructura y generar una adecuada calidad de recubrimiento de concreto, en espesor y compacidad, sobre el refuerzo, mediante un adecuado procedimiento constructivo, para disminuir la probabilidad de fisuras en el concreto, con recubrimientos protectores y realizando un buen curado que promueva la hidratación completa del material cementante, lo cual genera una menor permeabilidad de la estructura.

#### **A.2.4 Carbonatación**

La carbonatación del concreto, producto de la reacción del CO<sub>2</sub> (Dióxido de Carbono) presente en el aire o en el agua con el hidróxido de calcio originado al hidratarse el cemento y que forman el carbonato de calcio, aunque mejora la dureza superficial del concreto, origina contracción y disminuye el pH. Si el pH se baja a valores inferiores de 10, puede ocurrir la corrosión del acero embebido en el

concreto. La carbonatación de la pasta de cemento Portland puede producir disminuciones de pH de 8 ó 9 y una eventual corrosión del acero de refuerzo.

#### **A.2.4.1 Carbonatación atmosférica**

La reacción del hidróxido de calcio de la pasta de cemento con el CO<sub>2</sub> (Dióxido de Carbono) del aire es generalmente un proceso lento, que avanza desde la superficie a una velocidad que depende en forma importante de la concentración de CO<sub>2</sub> (Dióxido de Carbono), la humedad relativa, la temperatura del medio ambiente y de la permeabilidad del concreto. El inicio de la corrosión del acero depende, además de la permeabilidad del concreto -que a la vez es función de la relación agua/material cementante-, del tipo y de la cuantía del cemento, del tamaño y forma de los capilares, de la compactación y de la eficiencia del curado y del espesor de recubrimiento de concreto.

Los avances más rápidos de la carbonatación ocurren cuando la humedad relativa se mantiene entre 50 % y 75 %. Los sitios con mayores concentraciones de CO<sub>2</sub> (Dióxido de Carbono), como los localizados en zonas industriales urbanas con alto tráfico y estacionamientos de vehículos, son los más susceptibles al ataque. En los casos anteriores, el uso de una relación agua/material cementante baja, una buena compactación y un curado adecuado reducen la permeabilidad del concreto y limitan la velocidad de carbonatación desde la superficie. El empleo de recubrimientos impermeables sobre el concreto puede frenar el ataque, si actúan como barrera al CO<sub>2</sub> (Dióxido de Carbono).

#### **A.2.4.2 Carbonatación por agua freática y otras corrientes**

El CO<sub>2</sub> (Dióxido de Carbono) del aire absorbido por el agua de lluvia entra en el agua subterránea como ácido carbónico. La concentración de CO<sub>2</sub> (Dióxido de Carbono) aumenta por la descomposición de vegetales y además, existen diversas corrientes de agua con CO<sub>2</sub> (Dióxido de Carbono) disuelto. El grado de ataque depende de la calidad del concreto y de la concentración en el agua del CO<sub>2</sub> (Dióxido de Carbono) agresivo.

Existe una amplia variedad de condiciones de exposición para las construcciones bajo la acción del CO<sub>2</sub> (Dióxido de Carbono) disuelto en el agua. Se puede consultar la Tabla 2, para esta condición de exposición.

### **A.3 CONTENIDO DE IÓN CLORURO**

En el caso de ataque muy severo por cloruros, como ocurre en zonas de mareas en climas calientes y húmedos, las medidas recomendadas en la Tabla 3 pueden no ser suficientes para asegurar una durabilidad apropiada. La solución más económica es disminuir la relación agua/material cementante, aumentar el recubrimiento del concreto o usar un recubrimiento protector impermeable.

En condiciones de exposición muy agresivas, puede ser necesario la utilización de resinas epóxicas o protección catódica. Al colocar resinas epóxicas en las estructuras, debe cuidarse que los elementos protegidos no se encapsulen con el recubrimiento, ya que la presión de vapor del agua contenida en la matriz del concreto puede causar fisuras o desprendimiento del recubrimiento.

## **CURADO DEL CONCRETO**

### **B.1 CURADO**

El curado defectuoso en una estructura causa:

- Un defecto de hidratación del material cementante que impide obtener la resistencia mecánica potencial del material.
- Una estructura superficial del concreto fácilmente atacable y que permite el paso de los agresores del medio.
- Fisuración temprana.

Cuando no sea posible curar con agua fría, el uso de membranas de curado de acuerdo con las ASTM C309 o ASTM C171, se constituye en una alternativa.

Con el fin de disminuir la vulnerabilidad de fisuras por retracción en los pavimentos rígidos, se deben monitorear las condiciones de obra, con el fin de reconocer momentos críticos donde la evaporación de agua supera 1,0 (kg/m<sup>2</sup>)/h haciendo uso del ábaco descrito por el ACI 308 (véase la Figura 1).

Cuando la tasa de evaporación excede 1,0 (kg/m<sup>2</sup>)/h, se deben tomar medidas excepcionales, para prevenir la pérdida excesiva de humedad de la superficie del concreto en estado plástico. Cuando ésta se previene, pueden aparecer fisuras por retracción.

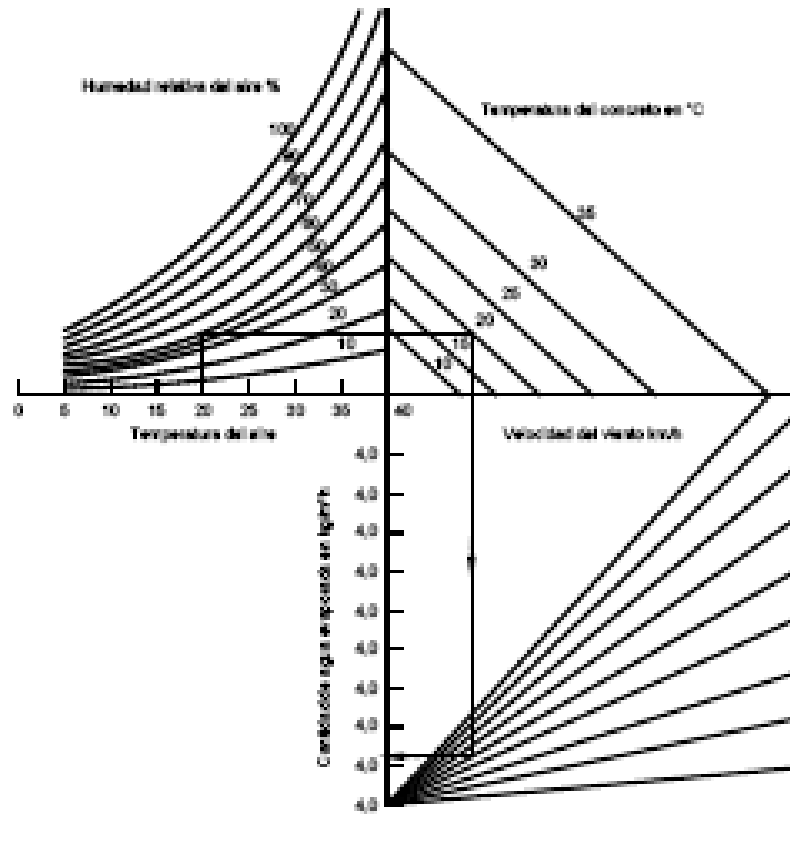


Figura 1. Ábaco descrito por el ACI 308

Sin embargo, se considera como límite mínimo razonable sobre el cual deben llevarse a cabo medidas preventivas, cuando la evaporación supera los 0,5 (kg/m<sup>2</sup>)/h.

### B.1.1 Curado inicial del concreto

Cuando la estructura esté sometida a severas condiciones ambientales, el ACI 308, recomienda efectuar el curado inicial del concreto mediante las siguientes actividades:

- Levantar barreras contra el viento.
- Utilizar producto retardador de evaporación en dilución con una niebla sobre la superficie del concreto, en el caso de pisos y placas de concreto antes y durante las labores de acabado del concreto.

### B.1.2 Curado final del concreto

El curado final se debe aplicar cuando el concreto ya ha endurecido y puede efectuarse mediante riego continuo de agua o aplicación de membranas curadoras.

Los compuestos curadores deben ser sustancias que una vez aplicadas sobre la superficie del concreto y evaporado el vehículo (agua o solvente) están en capacidad de formar una membrana, con el fin de reducir la evaporación de agua de la superficie de la estructura y deben cumplir la NTC 1977.

## **B.2 BIBLIOGRAFÍA**

NTC 1977, Compuestos líquidos formadores de membrana de curado para el concreto. (ASTM C309)

ASTM C171, *Standard Specification for Sheet Materials for Curing Concrete.*

ACI 308R, *Guide to Curing Concrete.*

## **ADICIONES**

La fabricación del cemento Pórtland comprende, de manera general, los siguientes procesos: la dosificación de calizas y arcillas, su posterior calcinación, a cuyo producto resultante se denomina *clínker*, y la molienda de este *clínker* en conjunto con yeso que es un regulador de fraguado y en algunos casos otros materiales denominados adiciones, forman el cemento. El cemento resultante toma diversos nombres, dependiendo del tipo, cuantía y calidad de las adiciones molidas. Las adiciones también se pueden utilizar en el momento de la fabricación del concreto. En cualquiera de los casos se deben cumplir los requisitos del numeral 5.1.5 de esta norma.

Las adiciones más comunes pueden tener origen natural, artificial o mixto. Las adiciones naturales son las cenizas volcánicas, la caliza finamente molida y algunas tierras formadas por la desintegración bajo ciertas circunstancias de compuestos vegetales o de huesos o conchas de animales. Las adiciones de origen artificial son las formadas por los subproductos o la escoria de alto horno que viene de la producción del acero o cenizas procedentes de la quema del carbón o mejor llamadas cenizas volantes o cenizas puzolánicas o *fly ash*. Las puzolanas artificiales son productos naturales, cuya actividad se incrementa someténdolas a altas temperaturas, como es el caso de ciertas arcillas.

Las puzolanas son materiales silíceos o silicoaluminosos, que poseen poca o ninguna capacidad cementante; finamente divididas y en presencia de humedad, al combinarse químicamente con el hidróxido de calcio (portlandita) procedente de la hidratación del cemento, forman productos cementantes.

Por su parte, las escorias son materiales que contienen cal, sílice y alúmina. La escoria de alto horno, para que se pueda usar como adición activa en el cemento, se debe enfriar bruscamente, a través de un choque térmico (agua o aire frío), para que queden químicamente activas. Para incrementar su actividad hidráulica, requiere de la cal procedente de la hidratación del cemento (hidróxido de calcio o portlandita) y que sean finamente divididas.

Las adiciones le dan al concreto una serie de propiedades físicas, químicas y mecánicas. Algunas de ellas tienden a reaccionar lentamente, por lo que las resistencias iniciales pueden llegar a ser lentas, pero su desarrollo posterior luego de 28 d es mucho mayor que un cemento sin adición; así mismo, estos materiales son mucho más pequeños que los granos de cemento, lo que hace que obture los vacíos dejados por estos y haga concretos menos permeables, viéndose beneficiada la durabilidad. Otro efecto benéfico es el fortalecimiento de la interfase pasta-agregado, que mejora el comportamiento mecánico del concreto. Las adiciones desarrollan poco o ningún calor de hidratación, disminuyendo el riesgo de fisuración térmica; de otro lado, algunas adiciones fijan la portlandita, que es un material soluble en agua, disminuyendo la permeabilidad del concreto.

Las puzolanas normalmente requieren una mayor cuantía de agua en la mezcla de concreto, pues tienen una superficie específica alta. También es necesario proveerlas de un curado más intensivo de mínimo 7 d, para que desarrollen cabalmente sus propiedades. Así mismo, se debe probar su actividad puzolánica para que sea idónea en el concreto.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CEB-GEHO (Grupo Español del Hormigón-Comité Europeo del Concreto), Boletín 12. "Durabilidad de las estructuras de Hormigón", Guía de diseño CEB.

ACI 201 2R: 1992, *Manual of Concrete Practice. Part 1 "Guide to durable Concrete"*

ASTM C231-91b:1991, *Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method.*

ASTM C309:1995, *Specification for Liquid Membrane. Forming Compounds for Curing Concrete.*

ASTM C452:1995, *Standard Test Method for Potential Expansion of Portland Cement Mortar Exposed to Sulfate.*

ASTM C618:1996, *Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete.*

ASTM C642:1990, *Test Method for Specify Gravity, Absorption and Voids in Hardened Concrete.*

ASTM C989:1995, *Specification for Ground Granulated Blast. Furnace Slag for to Use in Concrete and Mortars.*

ASTM C1012:1995, *Standard Test Method for Length Change of Hydraulic Cement Mortar Exposed to a Sulfate Solution.*

ASTM C1078:1987, *Test Method for Determining the Cement Content of Freshly Mixed Concrete.*

ASTM C1079:1987, *Test Method for Determining the Water Content of Freshly Mixed Concrete.*

ASTM C1084:1992, *Test Method for Portland. Cement Content of Hardened Hydraulic. Cement Concrete.*

ASTM C1151:1991, *Test Method for Evaluating the Effectiveness of Material for Curing Concrete.*

ASTM C1152:1990, *Test Method for Acid. Soluble Chloride in Mortar and Concrete.*

ASTM C1202:1994, *Test Method for Electrical Indication Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration.*

ASTM C1240-95a:1995, *Specification for Silica Fume for Use in Hydraulic. Cement Concrete and Mortar.*