1° PARTE PROCESOS QUÍMICOS DE DETERIORO EN EL HORMIGÓN

Los procesos de deterioro del hormigón provocados por reacciones químicas están vinculados, por lo general, a las interacciones químicas entre los agentes agresivos del ambiente externo y los constituyentes de la pasta de cemento. Existen, sin embargo algunas excepciones como las reacciones álcali agregados, la hidratación diferida de los óxidos cristalinos de calcio y magnesio (CaO, MgO) cuando se encuentran en excesiva cantidad y la corrosión electroquímica de las armaduras embebidas en el hormigón.
Es menester aclarar que cualquier acción de naturaleza química sobre el hormigón que tienda a disminuir la alcalinidad de la solución de poros (aguas puras o ligeramente ácidas), colocará al material en una situación de equilibrio químico inestable, deteriorándolo.

REACCIONES	COMPUESTOS FORMADOS	FENÓMENOS	ALTERACIONES EN EL HORMIGÓN
A - Hidrólisis (lixiviación)	disolución de los compuestos de la pasta de cemento endurecida (CH, S-C-H)	Aumento de la porosidad y permeabilidad	Reducción de la alcalinidad Pérdida de la masa Aceleración del proceso de deterioro Reducción de la resistencia y rigidez
	Remoción de los iones Ca^{2+} como productos de reacciones solubles	Aumento de la porosidad y permeabilidad	Reducción de la alcalinidad Pérdida de masa Aceleración del proceso de deterioro Reducción de la resistencia y la rigidez
B - Intercambio iónico entre los componentes del fluido agresivo y los de la pasta de cemento hidratada	Remoción de los iones Ca^{2+} como productos de reacción insolubles no expansivos	aumento de la porosidad y permeabilidad	Reducción de la alcalinidad Pérdida de la masa Aceleración del proceso de deterioro Reducción de la resistencia y la rigidez
	Reacciones de substitución que reemplazan los iones Ca^{2+} en el	Modificación y debilitamiento de la estructura del S-C-H	Reducción de la resistencia y rigidez

	S-C-H		
C - Formaci ón de productos expansivos (RAS, corrosión del acero, formación de yeso y/o estringita, hidratación del CaO y/o MgO del cemento	Poco solubles en agua y expansivos	Generación de tensiones internas	Reducción de la resistencia y rigidez Fisuras, pop-outs Descascaramien-tos Deformaciones

ACCIÓN DE LAS AGUAS PURAS

Se considera que un agua es agresiva para el hormigón cuando esta:

a) tiene pocas o ninguna sustancia disuelta (aguas puras o desmineralizadas) actuando como disolvente en el hormigón (lixiviación).
b) tiene sustancias o compuestos capaces de reaccionar con los compuestos del hormigón como por ejemplo ácidos, sulfatos, sales, etc.

Por AGUAS PURAS se reconocen aquellas que tienen pocas o ninguna sustancia disuelta como por ejemplo:
- Deshielos de glaciares
- Fusión de nieve
- Agua de lluvia
- De determinados pantanos
- Aguas a grandes profundidades
- Provenientes de ciertos procesos de condensación industrial.

CARACTERÍSTICAS Y ACCIÓN de las aguas puras
- Bajo contenido de Ca2 + ó MgO
- PH próximo a 7 (ni ácidas ni básicas)
- Actúa como disolvente e inicia la hidrólisis (por percolación o saturación)
- Inicia la disolución de los compuestos que contienen Ca
- Los aluminatos de calcio hidratados generan como productos finales gel de alúmina e hidróxido de calcio
- La desaparición del CH facilita el avance de la reacción disolvente
- Expone a los demás componentes a la descomposición química.

CONSECUENCIAS en el hormigón
- Disminución del PH
- Pérdida de la masa
- Incremento de la porosidad y la permeabilidad del hormigón
- Caída de la resistencia mecánica

LIXIVIACIÓN

Es el proceso mediante el cual se produce la disolución de compuestos de hormigón en la fracción de cemento hidratado.

Depende de la situación o estado del agua: a)reposo b) corriente constante c) filtrante
En el caso a) la hidrólisis de los componentes con calcio alcanza la saturación (equilibrio químico) y los procesos se detienen.
En los casos b) y c) a acción agresiva del agua aumenta, pues la posibilidad que ésta percole a través del hormigón, particularmente bajo presión,. determina que los procesos de disolución y degradación sean continuos. Esta situación en particular da lugar a otro fenómeno que se enuncia a continuación:
EFLORESCENCIAS
El agua que filtra a través del hormigón, rica en CH disuelto, alcanza la superficie de la estructura y se evapora haciendo que los cristales de CH precipiten formando depósitos salinos de color blanco. El fenómeno en si representa un problema estético más que de durabilidad. Sin embargo, indica que una importante lixiviación está ocurriendo en el hormigón.

ACCIÓN DE LAS DISOLUCIONES LIGERAMENTE ÁCIDAS

El hormigón de cemento portland, en general, no resiste el ataque ácido excepto cuando estos provengan de soluciones ligeramente ácidas, particularmente cuando esté expuesto ocasionalmente.
La acción de los ácidos sobre el hormigón endurecido (considerado como sustancia alcalina) no es, ni más ni menos, que la conversión de todos los compuestos cálcicos(CH,S-C-H,C-A-S-H) en sales cálcicas del ácido actuante.
Cuando estas sales son de GRAN SOLUBILIDAD pueden ser removidas fácilmente por lixiviación incrementando la porosidad del material, destruyendo así la estructura del cemento endurecido.
Cuando las sales de calcio resultantes son de BAJA SOLUBILIDAD y además no experimentan cambios de volumen, la corrosión del hormigón es mucho más lenta debido a la acción protectora de la película que forman dichas sales al precipitar sobre la superficie del hormigón.
De este modo un parámetro muy importante como es la VELOCIDAD DE REACCIÓN está condicionado a los siguientes elementos:
- Agresividad del ácido
- Según sean ácidos fuertes o débiles
- Solubilidad de la sal cálcica resultante
- Condición o estado del agua (reposo, corriente renovada, filtrante)
- PH
- Temperatura
- Concentración de protones en la disolución

ÁCIDOS QUE FORMAN SALES DE SOLUBLES	CALCIO DE CARACTERÍSTICAS INSOLUBLES
1- Clorhídrico	5- Carbónico
2- Nítrico	6- Fosfórico
3- Sulfúrico	7- Sulfuroso
4- Carbónico	8- Cítrico
	9- Tartárico y Oxálico

CARACTERÍSTICAS:

1- Es un ácido fuerte y la solubilidad de la sal de calcio en agua a 0 °C es 595 g/l .
Luego de realizado el ensayo con martillo de rebote Schmidt en hormigones de distinta porosidad (ver fig. 5 y 6), se comprueba el alto grado de agresión producido.
Es un ácido usualmente encontrado en industrias químicas.
2- Es un ácido fuerte y la solubilidad de la sal en agua a 0 °C es de 1020 g/l . Al igual que el ácido anterior provoca una marcada disminución de la resistencia y se encuentra por lo general en las industrias químicas.
3- Es un ácido fuerte de características particulares, pues es muy agresivo para el hormigón, en cualquier concentración, a pesar de la baja solubilidad de sus sales resultantes. Ejerce una doble acción. Por un lado ataca la pasta de cemento debido a sus características ácidas. Por otra, puede dar lugar a la formación de yeso el cual, al reaccionar con los aluminatos de calcio hidratados forma estringita, produciendo una desintegración adicional a causa de la fisuración y del aumento de la porosidad.

4- Este ácido débil que presenta rasgos propios porque sólo forma sales con el $Ca(OH)_2$ y nunca con la alúmina. Puede encontrarse en concentraciones importantes en las aguas naturales, subterráneas, en agua de mar y en lugares donde se descomponen sustancias orgánicas por la acción de microorganismos.
Es perjudicial cuando el PH es inferior a 7 pues estaría indicando concentraciones perjudiciales de CO_2. Este ácido experimenta dos equilibrios iónicos: para una pequeña concentración forma carbonato de calcio, para una concentración mayor, forma bicarbonato ácido de calcio que es soluble en agua con la característica de que esta reacción es reversible, de tal manera que con la presencia de determinada cantidad de CO_2 se produce un nuevo ataque al $Ca(OH)_2$ del cemento hasta que se recomponga el equilibrio. El resultado final es la formación del bicarbonato de calcio soluble en agua y el ataque al hormigón. Este CO_2 en exceso, sobre el CO_2 de equilibrio, capaz de transformar a todo o parte del carbonato de calcio formado en bicarbonato de soluble, se conoce con el nombre de CO_2 agresivo.
5- Según lo señalado anteriormente, si la concentración de CO_2 libre es menor que la de equilibrio (no hay CO_2 agresivo), el ácido carbónico reaccionará precipitando carbonato de calcio que colmata los poros del hormigón y produce un ligero incremento de la resistencia mecánica superficial.
6- Acido débil que experimenta tres ionizaciones.
7- Acido débil que experimenta dos ionizaciones.
8- Acido orgánico y débil
9- El ácido Tartárico es orgánico y débil. El Oxálico es fuerte y también orgánico.