

**IDENTIFICACIÓN DEL DETERIORO PRODUCIDO POR EL MEDIO AMBIENTE
NATURAL SOBRE LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO**

VICTOR JAIME GALVIS LINARES

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
ESPECIALIZACION EN INGENIERIA AMBIENTAL
BUCARAMANGA
2007**

**IDENTIFICACIÓN DEL DETERIORO PRODUCIDO POR EL MEDIO AMBIENTE
NATURAL SOBRE LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO**

VICTOR JAIME GALVIS LINARES

**MONOGRAFIA DE GRADO PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OPTAR
EL TITULO DE ESPECIALISTA EN INGENIERIA AMBIENTAL**

**DIRECTOR: RICHARD DIAZ GUERRERO
INGENIERO QUIMICO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
ESPECIALIZACION EN INGENIERIA AMBIENTAL
BUCARAMANGA
2007**

AGRADECIMIENTOS

A la facultad de ingeniería química de la Universidad Industrial de Santander y a su programa de especialización en ingeniería ambiental, por haber despertado la necesidad de ver todas las cosas desde la sostenibilidad.

Al Ingeniero Richard Díaz Guerrero coordinador de la especialización por responder siempre de la mejor manera a nuestras necesidades académicas, y a la dirección de esta monografía.

Al grupo fabuloso de docentes de la especialización en ingeniería ambiental por promover la visión medioambiental de alta competencia, en profesionales que como yo no teníamos ni idea de esa nueva expectativa.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	1
CAPITULO PRELIMINAR	3
I. LOS MATERIALES CEMENTANTES – BREVE HISTORIA	4
I.1. EL CEMENTO PORTLAND	5
I.2. COMPOSICION DEL CEMENTO PORTLAND	6
I.3. QUÍMICA DEL CEMENTO PORTLAND	8
I.3.1. Reacciones De Hidratación (Fraguado)	10
I.3.2. Módulos Hidráulicos	11
I.3.3. Desarrollo De La Resistencia	12
II. AGENTES QUE INFLUYEN EN LA DEGRADACIÓN DEL CONCRETO	13
II.1. AGENTES MECÁNICOS	13
II.2. AGENTES INDUSTRIALES	13
II.3.3 Agentes Medioambientales	13
III. DURABILIDAD	14
III.1. RELACION DE ORO MEDIOAMBIENTAL	15

PRIMERA PARTE (TEORÍA)
AGENTES MEDIOAMBIENTALES Y SU INFLUENCIA DESTRUCTIVA EN
LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO

	Pág.
1. INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA DEL MEDIO EN LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO	20
1.1. CONDUCTIVIDAD DEL CALOR EN EL CONCRETO	20
1.2. ANTECEDENTES	21
1.3. TEMPERATURAS BAJAS	22
1.4. TEMPERATURAS ALTAS	23
1.4.1. Mecanismo	26
1.5. CAMBIOS DE LONGITUD DE LAS ESTRUCTURAS	28
1.5.1. Medición De Los Cambios De Longitud y de La Fatiga De Origen Térmico	30
1.6. AISLAMIENTO TÉRMICO DE LAS EDIFICACIONES	30
1.7. PREVENCIÓN, SOLUCIÓN, TRATAMIENTO	31
2.0 INFLUENCIA DE LA HUMEDAD AMBIENTAL	33
2.1. MECANISMO	33
2.2. NOMOGRAMA MODIFICADO DE MENZEL	34
2.3. PREVENCIÓN, SOLUCIÓN, TRATAMIENTO	37
3.0. INFLUENCIA DE LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA	38

	Pág.
4.0. SUSTANCIAS Y REACCIONES QUIMICAS AGRESIVAS A LAS QUE SE SOMETE LA ESTRUCTURA POR CAUSAS MEDIOAMBIENTALES (ATAQUE QUÍMICO AMBIENTAL).	40
4.1. REACCIONES QUIMICAS DEBIDAS A COMPONENTES PROPIOS DEL CONCRETO	41
4.1.1. Reacciones Químicas Debidas A Componentes Propios Del Cemento	41
4.1.1.1. Antecedentes Químicos	42
4.1.2. Reacciones Debidas a los Agregados	44
4.1.2.1. Reacción Álcali Agregado	44
4.1.2.1.1 Mecanismo	44
4.1.2.1.2 Reacción Álcali Sílice	46
4.1.2.1.3 Reacción Álcali – Silicato	46
4.1.2.1.4 Reacción Álcali Carbonato	47
4.1.2.2. Reacciones Por Fuentes Diversas	48
4.1.2.3. Prevención Del Fenómeno	49
4.1.3. Ataques Químicos por Aguas de amasado, curado, absorción y lluvia	50
4.1.3.1. Aguas de Amasado	50

	Pág.
4.1.3.2. Aguas De Curado	51
4.1.3.3. Aguas De Absorción y Lluvia	51
4.1.3.4. Aguas Como Agente Portador De Contaminantes y sus limitaciones permisibles	52
4.1.3.5. Acción Corrosiva de las Aguas Calientes	54
4.1.3.6. Cavitación	54
4.1.3.6.1 Mecanismo	55
4.1.3.6.2 Antecedentes	55
4.1.3.7. Lixiviación	57
4.1.3.7.1 Mecanismo	57
4.1.3.7.2 Explicación Química del Fenómeno	57
4.1.3.7.3 Prevención, Solución, Tratamiento	59
4.1.3.8. Ciclos De Humedecimiento y Secado (His) Ciclos de hielo y deshielo (Hid)	59
4.1.3.9. Prevención, Solución, Tratamiento	63
4.2. SUSTANCIAS CONTAMINANTES QUE LE LLEGAN A LA ESTRUCTURA DE CONCRETO DESDE EL EXTERIOR (CONDICIONES NATURALES, NO INDUSTRIALES)	64
4.2.1. Ataque Iones (Mg^+ , Cl^- , Sulfato, Nitratos, Nitritos) y Sales	65
4.2.1.1. Antecedentes Históricos	65

	Pág.
4.2.1.2. Mecanismo de Acción de Iones y Sales	67
4.2.1.3. Explicación Química de la acción de Sales e Iones Sobre El Concreto	68
4.2.1.3.1 Ion Magnesio	68
4.2.1.3.2 Acción Agresiva del Ion Cloro	71
4.2.1.3.3 Acción Agresiva del Ion Sulfato	73
4.2.1.3.4 Niveles de Exposición a Sulfatos Provenientes de Aguas Freáticas y Suelos	75
4.2.1.4. Otros Comportamientos del Azufre y sus Componentes	76
4.2.1.5. Acción Corrosiva de Nitratos y Nitritos	77
4.2.1.6. Acción Corrosiva de Sales Amoniacales	77
4.2.1.7. Descripción Grafica Del Daño Producido Por Las Sales	78
4.2.1.8. Prevención, Solución, Tratamiento Al Ataque Ambiental de las Sales	79
4.2.2. Gases Atmosféricos (O ₂ , CO ₂ , SO _x , NO _x , Vapor De Agua)	81
4.2.2.1. Carbonatación	82
4.2.2.1.1 Antecedentes	82
4.2.2.1.2 Explicación Química y Física del Mecanismo de la Carbonatación	83
4.2.2.1.3 Frente de Carbonatación	87

	Pág.
4.2.2.1.4 Profundidad Del Frente De Carbonatación, Calculo	88
4.2.2.1.5 Solución Prevención Tratamiento	91
4.2.3. Ácidos Agresores Del Concreto	94
4.2.3.1. Mecanismo Físico – Químico De La Agresión	95
4.2.3.2. Lluvia Acida – Breve Reseña	98
4.2.3.2.1 Mecanismo Químico	100
4.2.3.3. Prevención, Solución, Tratamiento	101
4.2.4. Azucares, Miel, Aceites, Grasas	102
4.2.4.1. Azucares, Miel	102
4.2.4.2. Grasas, Aceites	103
4.2.4.3. Mecanismo De La Agresión	104
4.2.4.4. Prevención Tratamiento	105
5.0. CORROSION DEL ACERO DE REFUERZO	107
5.1. OXIDACION SIMPLE (CORROSION QUIMICA)	108
5.2. CORROSION ELECTROQUIMICA (ATAQUE ELECTROQUIMICO)	109
5.2.1. Mecanismo Físico Químico De La Corrosión	110
5.3. CORROSION GALVANICA – CASOS	111
5.4. CORROSION POR PENETRACION DE CLORUROS	113
5.4.1. Mecanismo De Acción De Los Cloruros En El Hormigón	114

	Pág.
5.4.2. Concentraciones De Cloruros (Cl ⁻) Peligrosos Para El Concreto	115
5.5. PREVENCIÓN, SOLUCIÓN, TRATAMIENTO	118
6.0. EROSION, DESGASTE	121
6.1. ABRASIÓN – EROSION HIDRAULICA	122
6.1.1. Mecanismo Físico	122
6.2. DESGASTE	122
7.0. BIODEGRADACION Y ACCIONES BIOLÓGICAS	124
7.1. MICROORGANISMOS ENDOLITICOS	125
7.2. ORGANISMOS BIOABRASIONADORES	127
7.3. ORGANISMOS BIOPERFORADORES	127
7.4. PREVENCIÓN, SOLUCIÓN, TRATAMIENTO AL BIODETERIORO	128
 SEGUNDA PARTE (PRACTICA) 	
8.0. TRABAJO DE CAMPO	130
8.1. ZONA URBANA DE TRABAJO – PLANO DE BOGOTÁ	130
8.2. DATOS CLIMÁTICOS DE BOGOTÁ	131

	Pág.
8.3. DESCRIPCION DEL MEDIO AMBIENTE DEL LUGAR	
OBJETO DE LAS OBSERVACIONES	132
8.4. PREDIAGNOSTICO	133
8.5. DATOS DE CAMPO (FORMATOS, FOTOGRAFIAS)	134
TERCERA PARTE (ANALITICA)	
9.0. EL DIAGNOSTICO	135
9.1. ANALISIS DE LA EDIFICACION No.1	135
9.2. ANALISIS DE LA EDIFICACION No.2	138
9.3. ANALISIS DE LA EDIFICACION No.3	139
9.4. ANALISIS DE LA EDIFICACION No.4	141
9.5. ANALISIS DE LA EDIFICACION No.5	143
9.6. ANALISIS DE LA EDIFICACION No.6	145
9.7. ANALISIS DE LA EDIFICACION No.7	146
9.8 INDICADORES DE AGRESIÓN	159
CONCLUSIONES	
DE LAS PERSONAS DEL OFICIO	175
DE LOS MATERIALES	175
DE LAS ESTRUCTURAS	176
DE LA AGRESIÓN	177

	Pág.
INDICADORES DE LA OBRA ANALIZADA	179
BIBLIOGRAFIA	186
ANEXOS	198
ANEXO A	199
ANEXO B AL F	200
ANEXOS REGISTRO FOTOGRAFICO	207
GLOSARIO.	232

LISTA DE FIGURAS

	Pàg.
FIGURA 1. ACCIÓN DE LA TEMPERATURA AMBIENTAL SOBRE LOS PAVIMENTOS.	21
FIGURA 2. REDUCCION POR TEMPERATURA DE LAS RESISTENCIAS DEL HORMIGON Y DEL ACERO.	25
FIGURA 3. RETRACCION SUPERFICIAL POR PÉRDIDA DE AGUA CAPILAR	27
FIGURA 4. ILUSTRACION ELEMENTAL DE UNA VIGA REFORZADA	29
FIGURA 5. NOMOGRAMA DE MENZEL	35
FIGURA 6. IMPLOSION DE BURBUJAS CONTRA, CONTRA VELOCIDAD DE AGUAS	55
FIGURA 7. EFECTO DE CAVITACION	56
FIGURA 9. EFECTO DE HUMEDECIMIENTO / SECADO	60
FIGURA 10. AVANCE DE AGRESIONES VERSUS TIEMPO	61
FIGURA 11. ZONAS DE MOJADO	61
FIGURA 12. ZONAS DE PENETRACION DE SALES	67
FIGURA 13. ILUSTRACION DE AFLORACION	68
FIGURA 14. MECANISMO DE ACCIÓN DE SALES	78
FIGURA 15. EXTRACCION IÓNICA DE SALES	80
FIGURA 16. MECANISMO DE LA CARBONATACION	83

	Pàg.
FIGURA 17. ESTRUCTURA CARBONATADA	87
FIGURA 18. FACTOR CORRECTIVO DE LA CARBONATACION	88
FIGURA 19. ILUSTRACION OXIDACION	108
FIGURA 20. ILUSTRACION CORROSIÓN ELECTROQUIMICA	109
FIGURA 21. ILUSTRACION CASOS GALVANICOS	112
FIGURA 22. CLORUROS SOBRE MEDIO POROSO	114
FIGURA 22. ACCIONES DE LA CORROSIÓN	118
FIGURA 23. ACCIÓN DE Cl^-	120

LISTA DE TABLAS

		Pàg.
TABLA 1.	CLASIFICACION RESUMEN DE LA AGRESIVIDAD DEL MEDIOAMBIENTE	18
TABLA 2.	INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL CONCRETO	24
TABLA 3.	ATAQUES DE VARIADOS AGRESORES	52
TABLA 4.	AGRESION DEL Mg SO ₄	70
TABLA 5.	NORMAS DEL CCC SR Y DE NCR-98 SOBRE SULFATOS	75
TABLA 6.	GASES ATMOSFÉRICOS	81
TABLA 7.	ATAQUE DE ÁCIDOS	98
TABLA 8.	VELOCIDADES DE CORROSIÓN	117

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. PLANO ZONA ESTUDIADA	199
ANEXO B. OBSERVACIONES EDIFICACION No.1	200
ANEXO C. OBSERVACIONES EDIFICACION No.2	201
ANEXO D. OBSERVACIONES EDIFICACION No.3	202
ANEXO E. OBSERVACIONES EDIFICACION No.4	203
ANEXO F. OBSERVACIONES EDIFICACION No.5	204
ANEXO G. OBSERVACIONES EDIFICACION No.6	205
ANEXO H. OBSERVACIONES EDIFICACION No.7	206
ANEXO I. FOTOGRAFÍAS EDIFICIOS No.1, 2, 3, 4, 5, 6, 7.	207

RESUMEN

TITULO: IDENTIFICACIÓN DEL DETERIORO PRODUCIDO POR EL MEDIO AMBIENTE NATURAL SOBRE LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO*

AUTOR: JAIME GALVIS LINARES **

PALABRAS CLAVES: Durabilidad, Cemento Portland, Agresión, Concreto, Medioambiente, Portlandita, Carbonatación, Deterioro.

DESCRIPCIÓN: Dentro del tema de la durabilidad estructural, el asunto relativo a las agresiones del medio ambiente natural (no marino ni industrial) sobre las construcciones, ocupa un lugar preponderante por su importancia técnica y económica.

Tal importancia está empezando a ser reconocida, a pesar de que el tema, es el menos socorrido en el ámbito de la construcción. La razón estriba en la fuerza de los hechos.

Esta investigación estudia el efecto destructivo que los agentes medioambientales ejercen sobre las estructuras de concreto.

Como el tema no ha sido tratado integralmente en la literatura científica, este trabajo pretende hacerlo.

La monografía presenta una investigación teórica y otra práctica, conectadas entre si con un juicio analítico.

La investigación teórica explica físico químicamente las agresiones más significativas.

La investigación práctica explora un laboratorio real y natural, conformado por varios edificios destruidos, ubicados en la zona 3 de Bogotá Centro correspondiente a los barrios: Santafé, Samper Mendoza, la Estación, y Cementerio.

Se tuvo acceso a siete edificaciones en cada una de las cuales se hicieron observaciones in situ: fisuras, manchas, longitudes de corrosión, agrietamientos, decoloraciones, descascaramientos, etc.

Se hicieron algunas pruebas de fenolftaleína para comprobar profundidades de carbonatación más no se desarrollaron pruebas sistemáticas de laboratorio.

La parte analítica relaciona los daños observados insitu con su formulación teórica y establece indicadores causa-efecto. Además produce múltiples conclusiones del problema.

*MONOGRAFIA

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA ESPECIALIZACION EN INGENIERÍA AMBIENTAL

DIRECTOR: RICHARD DIAZ GUERRERO.

SUMMARY

TITLE: INFLUENCE OF THE NATURAL ENVIRONMENT OVER THE CONCRETE STRUCTURES.*

AUTHOR: JAIME GALVIS LINARES **

KEY WORDS: Durably, Portland Cement , Environmental Attack, Portlandita, Carbonation.

DESCRIPTION: Within the Question of structural durability, the theme about attack from natural environment (no marine or industrial) to the structures is the most important, because of its technical and economic significance.

This importance is appreciated today, even though these aggressions are the least well known subjects in the field of construction. The reason is evident from the effects themselves.

This work studies the destructives actions from the environmental agents over the concrete structures. The Topic attempt to come on board for first time.

The present monograph has two investigations: a theoretical and other practical connected to each other with an analytical view.

The theoretical research explains the assaults with a chemical and physical language. .
The practical research is directed to explorer a real and natural laboratory, made up of several ruined buildings, located in zone 3 of Bogotá centre and compound for the follow neighbourhoods: Santafe, Samper Mendoza, Station and Cemetery. In the area there are approximately two hundred old buildings victims of natural deterioration.

We have access to seven of these buildings, each of which were made observations *insitu*: cracks, stains, lengths of corrosion, cracking, discoloration etc.
There were made some phenolphthalein test to check depths of carbonation, but is not developed systematic testing laboratory.

The analytical part establish a correspondence between the damage observed *insitu* and its theoretical explanation and found some indicators and conclusions about the observed area.

*MONOGRAPH

** FACULTY CHEMICAL, ENGINEERING, ENVIRONMENTAL ENGINEERING SPECIALIZATION
DIRECTOR: RICHARD DIAZ GUERRERO.

We have access to seven of these buildings, each of which were made observations *insitu*: cracks, stains, lengths of corrosion, cracking, discoloration etc.

INTRODUCCIÓN

Por mucho tiempo se creyó que las estructuras de concreto eran perdurables y por qué no decir indestructibles. Sin embargo el mismo tiempo nos enseñó que son deteriorables y que el medio ambiente y sus factores agresivos juegan un papel muy importante en su destrucción.

Como ejemplo de ello, están las obras del canal de Panamá las que después de casi 100 años, exigen ser reparadas en su totalidad. Otro tanto ha pasado con los muelles de Buenaventura, aunque de origen más reciente.

Los edificios públicos de Bélgica (de más de 30 años) han sido totalmente reemplazados porque los daños ambientales en sus estructuras, los inutilizaron al extremo que en muchos de ellos el concepto de rehabilitación no pudo aplicarse.

En nuestros ambientes urbanos el daño y deterioro más prominente se da en aquellas construcciones públicas o privadas que expuestas permanentemente al medioambiente no son objeto de algún tipo de mantenimiento, teniendo que sufrir las agresiones y el colapso. Hoy, el deterioro es más rápido que en el pasado. Se debe esto a diferentes razones. La primera y mas contundente es la cada vez mayor concentración de agentes agresivos en el ambiente: (CO², C, DIOXINAS, FURANOS, OXIDANTES FOTOQUÍMICOS, OZONO TROPOSFERICO, ACROLEINAS, NPB_S*, ETC).

La segunda, de no menor gravedad, es el desconocimiento e indiferencia ante estos problemas por parte de calculistas, constructores y estructuralistas, más enfrascados en sofisticadas técnicas de análisis y diseño.

Pienso también en la deficiente preparación del trabajador – obrero de las estructuras ante la avalancha constructiva y sus novedosas técnicas que conducen a malas costumbres constructivas.

El A.C.I. (American Concrete Institute) define la durabilidad del concreto, como: “La capacidad para resistir la acción de la intemperie, conservando su forma original y su capacidad de servicio”.

Claro está que existen obras de concreto que se han mantenido en relativo buen estado de servicio a través de los años; pero igualmente las hay que al poco

*NPB = Nitratos Peróxidos de Butilo.

tiempo de ser construidas han salido de funcionamiento, inutilizadas por causas medioambientales como: La corrosión, la carbonatación, las reacciones álcali – agregado, el ataque de ácidos, la lixiviación, el ataque de iones y sales, etc, cuyos efectos tomados separadamente o en forma combinada son siempre desastrosos.

Los efectos medio ambientales actuarán inevitablemente sobre la estructura y todas nuestras acciones protectoras solo estarán encaminadas a retardar los efectos de dicha agresión.

A pesar de que muchas de las partes de la estructura están preservadas con pañetes, estucos, pinturas, pisos, forrajes, etc., otras no lo están tanto y es ahí donde se originan y desarrollan las lesiones que terminan degradando la construcción.

De otro lado; para las construcciones ya existentes, se hace necesario y obligatorio pensar en operaciones de mantenimiento, reparación y control que aunque costosas lo son menos que la pérdida total de la edificación.

Las operaciones de recuperación deben hacerse en tiempo y modo adecuados al uso estructural y al entorno medioambiental de referencia. Por todo lo anterior; tenemos sobradas razones que nos llevan a pensar que los factores medioambientales del clima, macroclima y microclima, deberán tenerse en cuenta en los procesos de análisis, diseño, construcción, control y mantenimiento estructurales; sin que ello signifique un sobre costo en los proyectos sino más bien un factor de calidad a tener en cuenta.

En este trabajo se presentan los daños ambientales naturales más característicos que tienen ocurrencia en el concreto simple, el concreto reforzado y los morteros; en un ambiente urbano como el que puede darse en la zona de Bogota – Centro.

Igualmente se ofrecen los elementos y análisis propios para la identificación de los agresores concurrentes.

CAPITULO PRELIMINAR

En cualquier estudio referido a materiales de construcción (en ingeniería civil) es inevitable el tener que tratar sobre los materiales cementantes, el cemento PORTLAND, su formulación química fundamental, sus componentes más sobresalientes que inferirán en nuestro tema de trabajo, los agentes mecánicos presentes en el servicio y los niveles de agresión según el medio ambiente escogido como marco de trabajo.

La intención de este capítulo es poner al lector en contacto con el material de estudio.

I. LOS MATERIALES CEMENTANTES

BREVE HISTORIA

La historia de los cementantes, es la historia de la humanidad y está ligada a las CONSTRUCCIONES DE VIVIENDA, LA ESTABILIDAD DE LOS SUELOS Y EL DESARROLLO DE LAS ESTRUCTURAS.

El uso de compuestos cementantes se remonta a 9.000 años AC. Pruebas halladas en YIFTAH – ISRAEL muestran resistencias de 400 Kg./cm².

Los romanos recogían cenizas de origen volcánico de un sitio llamado PUZZUOLI, cerca a Nápoles en la base del volcán VESUBIO; las mezclaron con agua y cal y obtuvieron un material de alta resistencia y manejabilidad que usaron como material de construcción. Así construyeron el PANTEÓN y el COLISEO ROMANO que hoy subsisten.

Los griegos colectaban las cenizas en la isla de SANTORIN. El cemento hidráulico (fragua en presencia de agua) ha sido inventado y reinventado en varias oportunidades de la historia.

En la época moderna:

JOHN SMEATON 1.756, Inglaterra, obtiene mediante calcinación de caliza y arcilla un producto de alta resistencia, el cual es usado en la construcción del faro de EDYSTONE y muchas obras portuarias de la época.

JOSEPH APSDEAN Y JAMES PARKER 1.824, Inglaterra, retoman la producción a base de caliza y arcilla, aprovechan la tecnología floreciente de la época y obtienen un material de gran resistencia, alta manejabilidad y durabilidad que llaman y patentan como cemento PORTLAND en homenaje a un sitio del que se extraían unas piedras de gran dureza usadas en la construcción PORTLAND.

En 1.845 ISAAC JHONSON desarrolla el prototipo del cemento PORTLAND moderno, obtiene CLINKER, su componente básico.

En 1.868 Se efectúa el primer embarque de cemento Pórtland de Inglaterra a EE.UU. En 1.871 la compañía COPLAY _ CEMENT produce el primer cemento Pórtland en EE.UU.

En 1.904 la ASTM publica por primera vez los ESTANDARES DE CALIDAD para el cemento Pórtland.

En Colombia se inicia la producción de cemento Pórtland en 1.909 con Cementos Samper de Bogotá.

En 1.933 – 34 Cementos Samper y Diamante, instalan en sus fábricas hornos rotatorios.

En 1.961 empieza a producir cementos Boyacá. Actualmente existen en nuestro país unas 16 fábricas.

Es a partir de las investigaciones de APSDEAN y PARKER que se dispara en el mundo la producción de cemento, aprovechando la cada vez más perfeccionada tecnología.

La norma 30 de ICONTEC, establece cuáles son los cementos Pórtland, producibles en el país.

Se imponen cada vez más los cementos por desempeño. Qué características tiene la obra y así mismo la cementera producirá el cemento que optimizará la construcción.

A partir de las investigaciones de APSDEAN, se disparó en el mundo la producción de cemento aprovechando la cada vez más perfeccionada tecnología.

I.1. EL CEMENTO PORTLAND

Calcinación de:

CALIZA + ARCILLA = CLINKER DE PORTLAND

75% 25%

La calcinación de dichos componentes se hace bajo condiciones controladas de tiempo, temperatura, dosificación, granulometría, humedad.

CLINKER DE PORTLAND + YESO = CEMENTO PORTLAND



(1.5% - 4.5%)
COMO RETARDANTE
DE FRAGUADO

CEMENTO PORTLAND + AGREGADOS + H₂O = CONCRETO SIMPLE
(GRAVA + ARENA) (HORMIGÓN)

CONCRETO SIMPLE + ACERO = CONCRETO REFORZADO
=CONCRETO PREESFORZADO
=CONCRETO POSTENSADO

El hormigón es hoy la sustancia más utilizada por el hombre después del H₂O; se funden 1000Kg/h/año.

I.2. COMPOSICIÓN DEL CEMENTO PORTLAND:

COMPONENTE	BENEFICIOS	PROBLEMAS
No.1 SILICATO TRICÁLCICO 3CaOSiO_2 SC_3 ALITA 50% del CLINKER	Es el componente más importante del CLINKER, responsable de la resistencia mecánica inicial de cemento (0 – 7 días).	*Origina el 25% del calor de hidratación del cemento produciendo fisuras en el hormigón. *Contenido normal 35% del peso del cemento. *Contenidos mayores hacen al cemento susceptible al ATAQUE DE ÁCIDOS.

<p>No.2 SILICATO BICÁLCICO 2CaOSiO_2 C_2S BELITA 25% DEL CLINKER</p>	<p>*Responsable de la resistencia mecánica final del cemento. *Posee capacidad de endurecimiento hidráulico. *Origina el 13% del calor de hidratación del cemento. *Proporciona bajas fisuraciones. Responsable del curado.</p>	<p>*Las resistencias iniciales que propicia, son bajas. *Durante el enfriamiento incrementa su volumen.</p>
<p>No.3 ALUMINATO TRICALCICO $3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$ C_3A COMPONENTE SULFO RESISTENTE. 12% DEL CLINKER</p>	<p>*Proporciona buena plasticidad. *Es responsable de la resistencia a los sulfatos. * $\text{C}_3\text{A} < 5\%$ altamente resistente $\text{C}_3\text{A} = (5-7\%)$ medianamente resistente $\text{C}_3\text{A} > 7\%$ débilmente resistente. *Favorece la cristalización en la calcinación (CLINKERIZACIÓN). *Con el cloro (Cl⁻) forma el cloroaluminato, inactivando los iones cloruro y reduciendo su agresividad.</p>	<p>*Origina EL 42% del calor de hidratación del cemento, creando alta fisuración por retracción del fraguado. *Se hidrata muy rápidamente y genera fraguado prematuro. * En contacto con el yeso forma la estringita o sulfoaluminato de calcio. Sal, altamente expansiva. * Sal de candlot o bacilo del concreto.</p>
<p>No.4 FERROALUMINATO DE CALCIO $4\text{CaOAl}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_3$ C_4AF BROWMILLERITA ALUMINOFERRITA TETRACÁLCICA 8% DEL CLINKER</p>	<p>Responsable del color del cemento. *Si $\text{C}_4\text{AF} \leq 5\%$ color gris, verde claro. *Si $\text{C}_4\text{AF} > 5\%$ color rojizo y tendencia a la oxidación con el agua.</p>	<p>*Presenta una acción débil sobre el desarrollo de la resistencia. *Ofrece retracciones, así sea de manera muy ligera . *Da lugar a grietas capilares.</p>

No.5 OXIDO DE CALCIO CaO COMO CAL LIBRE	*Contenidos menores del 1%. *Su presencia reduce la agresividad del cemento a la piel.	*Produce expansiones indeseables. *Es atacado por todo tipo de agua (pura, ácida, carbonatadas). *Se produce por varios motivos: -Mezclas no homogéneas de caliza y arcilla. -Temperaturas no homogéneas del horno. -Presencia de cales grasas.
No.6 OXIDO DE MAGNESIO MgO PERICLASA, MAGNESIA	*Contenidos menores del 5% en peso de cemento.	*Es expansiva a edades tardías.
No.7 ANHIDRIDO SULFÚRICO SO ₃	*Contenidos < 2.1% del peso del cemento. *No genera expansiones.	*Sus contenidos mayores generan cementos expansivos. *Disminuye la resistencia del hormigón. *Proviene del CaSO ₄ (2H ₂ O).
No.8 ALCALIS Na(OH), Na ₂ O K(OH), K ₂ O	*Generan resistencia mecánica inicial al cemento.	*Propician las reacciones álcali agregado. *Irritaciones dérmicas y respiratorias.

Este es el cemento que ha permitido el desarrollo de nuestra civilización.

De cada 100 unidades de cemento producido en el mundo 99 corresponden a cemento PORTLAND.

I.3. QUIMICA DEL CEMENTO PORTLAND

NOTACIÓN DE RANKIN Y WRIGHT

CaO = C

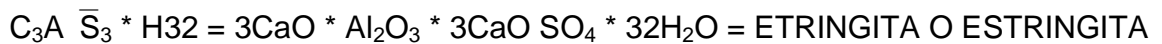
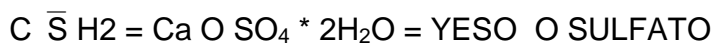
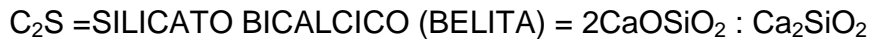
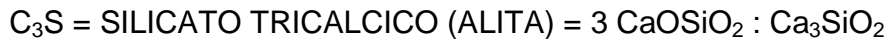
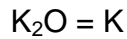
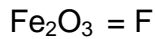
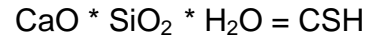
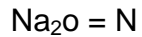
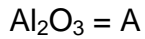
MgO = M

SO₄ = \bar{S}

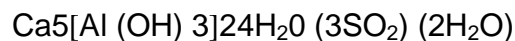
SiO₂ = S

H₂O = H

Ca (OH) = CH = PORTLANDITA



Una expresión más compleja para la ESTRINGITA:



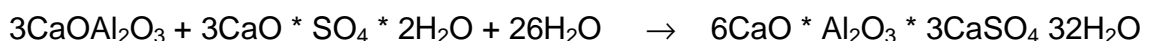
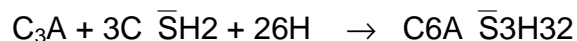
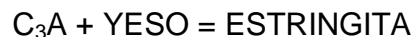
EXPLICACIÓN:

La reacción más rápida que ocurre al mezclar el cemento con el H_2O (hidratación) sucede con el C_3A .

El C_3A se hidrata y forma hidratos de aluminio:

- $\text{C}_4\text{AH}_{13} = 4\text{CaO Al}_2\text{O}_3 * 13\text{H}_2\text{O}$
- $\text{C}_2\text{AH}_8 = 2\text{CaO Al}_2\text{O}_3 * 8\text{H}_2\text{O}$

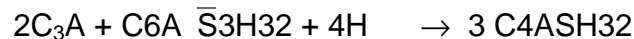
Estas reacciones son muy rápidas y forman parte de la FASE llamada "FALSO FRAGUADO" endurecimiento de la masa sin desprendimiento de calor e incluyendo algo de hidratación de yeso, posteriormente, cuando se inicia el fraguado se hidrata totalmente el yeso (SULFATO), formando TRISULFOALUMINATO DE CALCIO O ESTRINGITA: SAL CRISTALIZABLE Y MUY EXPANSIVA, sus efectos se expresan en forma de GRIETAS Y FISURAS:



La etringita formada, actúa inicialmente como un recubrimiento protector del C₃A en sus superficies expuestas, acción que puede durar hasta algunas horas: (1,5 – 2.0). Pero como se inicia el proceso de fraguado, se reactiva la hidratación del C₃A, consumiendo el yeso existente y formando más ESTRINGITA.

Los cementos tipo I poseen un contenido de C₃A del 8% lo cual es mayor que el contenido de yeso presente (1.5% - 4.5%), lógicamente se consume primero el yeso en la formación de la ESTRINGITA , quedando un exceso de C₃A el cual continúa hidratándose y consumiendo sulfato (yeso) tomándolo ahora del trisulfoaluminato formado inicialmente.

En esta oportunidad el C₃A + TRISULFOALUMINATO forman otro compuesto muy estable: MONOSULFOALUMINATO DE CALCIO: 3CaOAl₂O₃1CaSO₄ * 12 H₂O, otra sal, cristalizable y expansiva que genera fisuras.



La FASE FERRITA del cemento, la ALUMINOFERRITA TETRACÁLCICA: C₄AF = 4CaO Al₂O₃ Fe₂O₃ también se hidrata a pesar de que lo hace muy lentamente, formando compuestos químicamente similares a los anteriores:



En los cuales Fe₂O₃ reemplaza el Al₂O₃:

En el primer caso: AFt = alumino ferrita trisustituída

En el segundo caso: AFm = alumino ferrita monosustituída

I.3.1. REACCIONES DE HIDRATACIÓN (FRAGUADO)

(TODAS LAS REACCIONES SON EXOTÉRMICAS)



$$MS = \text{MÓDULO DE SILICATOS} = \frac{\%SiO_2}{\%Al_2O_3 + \%Fe_2O_3} = [1,9 - 3,2]$$

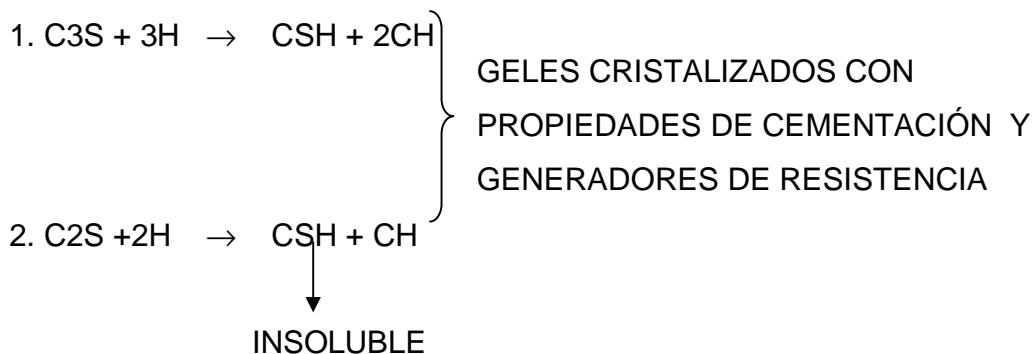
$$MC = \text{MÓDULO SILÍCICO} = \frac{\%SiO_2}{\%Al_2O_3} = [2,5 - 3,5]$$

$$MF = \text{MODÚLO DE ALÚMINA} = \frac{\%Al_2O_3}{\%Fe_2O_3} = [1.5 - 2.5]$$

I.3.3. DESARROLLO DE LA RESISTENCIA

El desarrollo principal de la resistencia del hormigón resulta de la hidratación del SILICATO TRICÁLCICO $3CaOSiO_2$ y del SILICATO BICÁLCICO $2CaOSiO_2$.

Ambos silicatos se combinan con el agua para formar SILICATOS DE CALCIO tipo gel (CSH) o SILICATO DE CALCIO HIDRATADO, que además del gel formado por la cal, $Ca(OH)_2$, actúan como pegantes tentaculados, desarrollando la adherencia y la cohesión con las distintas partes constitutivas del concreto.



II. PRINCIPALES AGENTES (FACTORES) QUE INFLUYEN EN LA DEGRADACIÓN DEL CONCRETO REFORZADO Y DE OTROS PRODUCTOS DEL CEMENTO PORTLAND (MORTEROS, REBOQUES, RECUBRIMIENTOS RELLENOS, CONCRETO SIMPLE, CONCRETOS PRE Y POS TRATADOS).

II. 1. AGENTES Y ACCIONES MECÁNICOS

Son debidos al propio servicio de la estructura. Pueden potenciar de alguna manera la agresión del medio ambiente. No son tenidos en cuenta en este trabajo por ser exclusivos de la ingeniería estructural. Entre otros podemos citar los siguientes:

TRACCIÓN, COMPRESIÓN, TORSIÓN, FLEXIÓN, ESFUERZOS COMBINADOS, VIBRACIÓN, SISMOS, VIENTO, FATIGA, IMPACTO, DESGASTE Y ABRASIÓN MECÁNICOS Y SOBRECARGAS.

II. 2. AGENTES INDUSTRIALES

Llamados así porque sus altos niveles de concentración provienen del sector industrial – fabril.

Sus elementos contaminantes y de agresión son propios de fábricas, ciudadelas industriales, bodegas de procesamiento factorías químicas etc.

La velocidad del deterioro en estos casos es muy alta ; no existen indicadores universales de daño, las fuentes no son abundantes. En este sector los datos experimentales son deficientes tal vez por que exige prácticas muy costosas y de larga duración.

II. 3. AGENTES MEDIOAMBIENTALES

El medio ambiente natural incide sobre las estructuras de concreto de manera inevitable, de tal suerte que las medidas protectoras que se toman alrededor de la estructura solo consiguen demorar, retardar el daño.

Los agentes ambientales tratados en este estudio son entre otros: TEMPERATURA, HUMEDAD, PRESIÓN ATMOSFÉRICA, REACCIONES QUÍMICAS PROPIAS Y EXÓGENAS, CORROSIÓN ELECTROQUÍMICA DEL ACERO DE REFUERZO, ACCIÓN MICROORGÁNICA ETC.

III. DURABILIDAD

El concepto de durabilidad para las estructuras de concreto surge a principios de la década de 1.950.

Los elementos de patología estructural: estudio de causas, consecuencias y remedios de los daños sufridos por las estructuras, se empiezan a desarrollar en los años 1.970 y 1980 exigiendo grandes costos económicos en el reforzamiento de puentes y edificios.

Los dos hechos anteriores consolidan el concepto de ingeniería forense: revisión, diagnóstico, pronóstico y repotenciación estructural, el cual ha sido estudiado profundamente en las últimas décadas.

Es amplio el conocimiento sobre las causas de las fallas estructurales.

El enfoque desde el punto de vista netamente ambiental no se ha dado integralmente, pero es justo, reconocer que se conoce mucho sobre la influencia destructiva de las aguas marinas, de la agresión por salinidad (sulfatos y cloruros), de la agresión por CARBONATACIÓN Y CORROSIÓN.

Los ensayos con el agua de mar fueron los primeros en ofrecer resultados.

En Alemania desde 1.980 se están observando unas probetas de 8m^3 construidas a manera de rompe olas. En 1.893 la unión de fabricantes de cemento PORTLAND de Alemania, hizo un estudio muy completo de dos de esas probetas que desafortunadamente se perdieron en la primera guerra mundial. En Gran Bretaña desde 1.920 se hacen importantes estudios sobre el agua de mar.

En Italia numerosas obras marítimas ejecutadas con cementos puzolánicos, han sido estudiados desde la perspectiva medio – ambiental, resisten el embate físico-químico del agua desde hace ya 200 años.

En los países escandinavos, se hacen ensayos masivos sobre la afectación climatológica del hormigón.

En Norte América, se hacen recopilaciones estadísticas sobre ataques atmosféricos al hormigón.

Las investigaciones de laboratorio se manifiestan desde finales del siglo XIX:

En 1877, E. CANDLOT, estudió el SULFOALUMINATO DE CALCIO O ESTRINGITA, llamado también SAL DE CANDLOT, o bacilo del concreto o cáncer del concreto, cuya composición es: $3\text{CaOAl}_2\text{O}_3 * 3\text{CaSO}_4 * 32\text{H}_2\text{O}$.

En 1.951 D.G. MILLER y P.W. MAUSON, investigaron por primera vez la corrosión del concreto, en EE.UU. Actualmente se desarrollan ensayos de corrosión a largo plazo. En Hungría se hacen observaciones "IN SITU" desde 1.990.

En España desde 1.968 se creó la comisión permanente interministerial del hormigón, la cual entre muchas cosas estudia la afectación por factores medioambientales.

El C.E.B. – Comité Europeo del concreto, enfoca muy seriamente sus normas, prevención y protección al punto de vista medioambiental.

El A.C.I = AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, entidad que regula el trabajo con el hormigón en el mundo entero, establece normas de durabilidad.

En Colombia, puntualmente se han tenido normas LAXAS para evitar los efectos medioambientales en las obras de concreto.

Sin embargo: La buena norma Colombiana NSR -98 en el capítulo C. 4 establece los requisitos de durabilidad, concepto que define el ACI 201 como la capacidad para resistir la acción del clima, los ataques químicos, la abrasión o cualquier otro proceso de deterioro.

Algunas de estas normas ya existían en el CCCSR – 84 pero dada la importancia del tema, la nueva norma les creó capítulo aparte.

En años recientes el estudio de la durabilidad se ha desarrollado con el avance de la tecnología y con un mejor estudio químico de los mecanismos de transporte de gases y líquidos agresivos; lo cual ha permitido modelar procesos matemáticos que permiten evaluar la vida útil de la estructura.

III. 1. RELACIÓN DE ORO EN EL DAÑO MEDIOAMBIENTAL

Tenemos dos aspectos a considerar: Por un lado el medio ambiente que rodea la estructura y por el otro la calidad del concreto. Entre estas dos variables se puede establecer una correspondencia inversamente proporcional "A menor calidad del concreto mayor daño ejercerá el medio ambiente natural" y "A mayor calidad del concreto menor será la agresión".

PRIMERA PARTE
MARCO TEORICO

AGENTES MEDIOMBIENTALES Y SU INFLUENCIA DESTRUCTIVA EN LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO

Las estructuras de concreto están expuestas permanentemente al medio ambiente natural.

Incide en ellas la atmósfera cuyas diferentes capas es de todos conocidas:

TROPOSFERA: (Con el 75% de los gases) y espesor {0 -12 Km.} es la capa más activa de todas.

ESTRATOSFERA: (Posee el 19% de los gases), espesor {12 – 50 Km.}.

MESOSFERA: 50 – 80 Km.
TERMOSFERA: 80 – 400 Km.
EXOSFERA: 400 – 800 Km. } poseen el 6% de los gases atmosféricos.

La tierra absorbe aproximadamente el 47 % de la energía radiada por el sol.

El nivel del daño que el intemperismo ejerce sobre las edificaciones depende de múltiples, variados y complejos factores entre ellos por citar alguno, la agresividad de los iones presentes, es muy significativo.

Las agresiones le vienen al concreto del medio ambiente (M.A.) que le circunda: aire / agua / suelo (subsuelo), el cual genera acciones físicas y químicas.

FÍSICAS: Agua, humedad, hielo, escarcha, neblina, presión atmosférica, frío/calor (temperatura), ciclos de humedecimiento – secado, ciclos de hielo – deshielo, tiempo etc.

QUÍMICAS: Carbonatación, ataques de sales (sulfatos / cloruros), lluvia ácida, ataque de ácidos, corrosión, reacción álcali – agregado, acciones biológicas, erosión, radioactividad* (natural, pruebas nucleares, uso de aparatos radioactivados).

Las condiciones del medio ambiente que rodea una estructura de concreto tiene notable incidencia en los procesos de deterioro y por tal razón vamos a diferenciar entre: MACROCLIMA, CLIMA LOCAL Y MICROCLIMA.

Las estructuras estudiadas, están expuestas a condiciones atmosféricas difíciles pero no extremas:

Intemperismo, ciclos de sol/sombra, erosión por arrastre de partículas (polvo, arena, arcilla), smog, lluvia ácida, ciclos de humedecimiento / secado, gases corrosivos atmosféricos, correspondientes al macroclima Bogotano.

El clima local que rodea y afecta las edificaciones hasta pocos metros de distancia de ellas (1 – 2 mts), presenta variables significativas propias de la zona centro de Bogotá.

Smog, lluvia ácida, gases de combustión, gases semindustriales, arrastre de material particulado en el aire, corrientes encausadas de aire etc.

El microclima, medioambiente inmediatamente próximo a las edificaciones: (0.50 – 1.0 mts) de ellas; juega un papel importante en la agresión.

Vertimientos locales, humos, gases de incineración, salpicaduras, ácido úrico, niveles freáticos y subsuelos contaminados, acidificación por materia orgánica etc. Este es el microclima propio de algunas edificaciones estudiadas en los barrios Santa fe, Estación, Samper Mendoza y Cementerio.

Es entendible e inevitable la influencia: Macroclima, clima local y microclima.

La siguiente clasificación de la agresividad del medio ambiente, esta basada en estudios de: CEB (COMITÉ EUROPEO DEL CONCRETO) ACI (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE) NORMAS COLOMBIANAS (NSR – 98).

* Este trabajo no contempla los efectos que sobre el concreto ejerce la acción radiactiva para su medición se exigen las normas: ASTM C 295, ASTM C 227, ASTM C 289.

TABLA 1. CLASIFICACIÓN RESUMEN DE LA AGRESIVIDAD DEL MEDIO AMBIENTE

HR. = HUMEDAD RELATIVA

MEDIO AMBIENTE	MACROCLIMA	MICROCLIMA	HR %	GAS CARBONICO CO ₂ %	CLORUROS Cl mg/l	CONGELAMIENTO	CARBONATACIÓN	ATAQUE QUÍMICO	CORROSION ACERO	
MEDIO AMBIENTE	MACROCLIMA	MICROCLIMA	HR %	GAS CARBONICO CO ₂ %	CLORUROS Cl mg/l	CONGELAMIENTO	CARBONATACIÓN	ATAQUE QUÍMICO	CORROSION ACERO	
									POR CARBONATACIÓN	POR CLORUROS
BUENO	ATMOSFERA RURAL	INTERIORES SECOS	≤ 45	≤ 0.3	≤ 200	NO HAY	LIGERA	MÍNIMO	MÍNIMA	MÍNIMA
LIGERA/TE BUENO	ATMOSFERA RURAL	NO HAY SUSTANCIAS AGRESIVAS	(45 – 60)	≤ 0.3	≤ 200	INSIGNIFICANTE	ALTA	MÍNIMO	LIGERA	LIGERA
MODERADO*	ATMOSFERA URBANA	CICLO HUMEDECIMIENTO - SECADO	(60 – 85)	≤ 0.3	< 500	LIGERO	MEDIA	MÍNIMO	ALTA	ALTA
SEVERO**	ATMOSFERA MARINA O INDUSTRIAL	HIELO - DESHIELO	(85 – 98)	≥ 0.3	> 500	MEDIO ALTO	LIGERA	LIGERO	LIGERA	ALTA
MUY SEVERO**	CENTRO INDUSTRIAL	ALTOS AGENTES AGRESIVOS	>98	≥ 0.3	> 500	ALTO	INSIGNIFICANTE	ALTO	LIGERA	LIGERA

* Ambiente moderado que corresponde a la zona de estudio: interiores de edificaciones con ambientes húmedos cambiantes con vapores de agua, ciclos de humedecimiento – secado, condensación de gases agresivos, estructuras y cimentaciones en contacto con suelos ordinarios.

** Medio ambiente no contemplado en este estudio.

Para que opere la interacción entre el microclima y la estructura de concreto, se hace necesario que exista un mecanismo de transporte:

- Aire húmedo. (Difusión)
- Agua lluvia }
• Salpicaduras } (Succión, capilaridad)
- Inmersión (presión hidrostática).
- Presión de inyección (presión atmosférica).

Todos estos agentes en sus respectivos escenarios serán estudiados en las siguientes páginas.

Cuando hablamos del estado del tiempo y sus diferentes variables fisicoquímicas:

Radiación solar, viento, nubosidad, lluvias, condensación, calor, frío, etc. nos referimos al estado de la troposfera y la medimos con el clima: temperatura, humedad, presión atmosférica.

De estos factores climáticos en particular humedad y temperatura, dependen graves efectos degradadores como meteorización, erosión y la potenciación del deterioro.

1. INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA DEL MEDIO EN LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO

La temperatura es la distribución de la energía radiante del sol.

La temperatura sobre la tierra depende de la energía del sol y su distribución depende de la latitud, es más fuerte sobre el trópico.

Hay mayor disipación del calor en las zonas agrarias que en las ciudades, las cuales son más calientes que sus alrededores.

En Bogotá por ejemplo, el sur es aproximadamente 3°C más caliente que el norte, debido a la densidad de la población.

El concreto de las construcciones absorbe calor en los días de sol y lo libera durante la noche.

Más que la temperatura “per se”, lo destructivo son sus cambios permanentes y bruscos (gradiente térmico), sus efectos de sol y sombra, humedecimiento y secado, que originan variaciones geométricas traducibles en: cambios de longitud, superficie, volumen, descascaramientos, escamaciones, deterioro de acabados, pérdida de adherencia con el acero de refuerzo, esfuerzos residuales destructivos, fisuras y en general movimientos al interior de la masa de concreto.

1.1 CONDUCTIVIDAD DEL CALOR EN EL CONCRETO

Todos los efectos térmicos del concreto SON PRODUCIDOS POR SU MALA CONDUCTIVIDAD DEL CALOR.

El coeficiente de dilatación lineal, cuyo valor es: $\alpha = 10 \times 10^{-6} \text{ CM/CM/C}^\circ$, le hacen generar choques térmicos. Esto indica que si el material se calienta lo hace lentamente y se disipará también lentamente; es decir no puede reaccionar rápidamente ante el cambio de temperatura.

Los agentes agresores del concreto le hacen disminuir sus propiedades y esto lo vuelve más vulnerable a los cambios de temperatura.

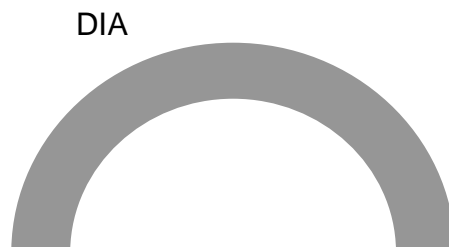
Lo contrario también es válido: los cambios de temperatura potencian la acción de los agentes agresores.

1.2 ANTECEDENTES

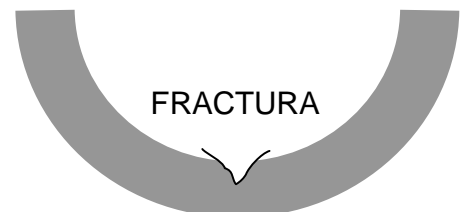
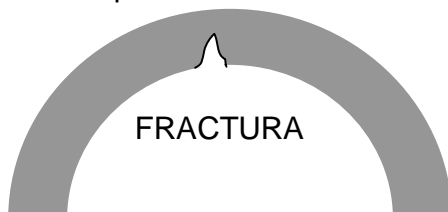
El efecto de la temperatura en el concreto ha sido estudiado desde mediados del siglo XIX y complementado en el tiempo con el avance de la ciencia (teorías de elasticidad, molecular, plasticidad) y la tecnología.

La experiencia acumulada de constructores y de productores de aditivos y sustancias para el concreto han encontrado que un choque térmico de calor a frío $\Delta T = -20^{\circ}\text{C}$, agrieta notablemente las estructuras (vale anotar que un choque de este valor se nota en los materiales compuestos de calcio como los dientes).

Los choques térmicos son más susceptibles de presentarse en países tropicales que en estacionales. Los cambios acentuados de temperatura, originan alabeos – pandeos sobre todo en estructuras esbeltas. Un ejemplo típico de los efectos producidos por los cambios de temperatura, lo constituye el llamado alabeo térmico sufrido por los pavimentos de concreto en los ciclos circadianos (día/noche).



Flexiones que terminan fracturando las placas con las cargas normales de servicio



El cambio climático y el calentamiento global son efectos ambientales que en los últimos 20 años han afectado térmicamente a las estructuras de concreto con más intensidad.

El incremento de aproximadamente 1° esperado en los últimos 50 años ha sido superado con expectativas de crecimiento cada vez mayores.

1.3 TEMPERATURAS BAJAS

El A.C.I. (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE) entidad que regula en el mundo las operaciones con el hormigón armado; en su reporte 306ACIR – 88, Vaciado a baja temperatura, define el clima frío como un período cuando por más de 3 días consecutivos existen las siguientes condiciones:

- a) TEMPERATURAS AMBIENTE PROMEDIA < 4°C – TALES QUE SUSPENDAN EL PROCESO DE FRAGUADO.
- b) TEMPERATURA AMBIENTE <10°C POR MÁS DE ½ HORA EN UN PERÍODO DE 24 HORAS.

Establece igualmente que el clima frío puede causar problemas en las siguientes operaciones del concreto: Mezclado, vaciado, tiempos de fraguado, curado y vida de servicio.

Tales problemas manifestarán sus efectos en la alteración de las propiedades físicas y en la disminución de la resistencia en el tiempo (durabilidad) de la estructura.

Para concretos frescos se establece también que las temperaturas por debajo de 0°C producen destrucción total o parcial por la creación de esfuerzos residuales de tracción debidos al hinchamiento que produce la congelación.

Por cada 5°C que se reduzca la temperatura los tiempos de fraguado se incrementan en 1/3.

Las bajas temperaturas disminuyen el calor de hidratación y retardan los tiempos de fraguado disminuyendo la resistencia a edades tempranas pero no afectándola a edades mayores (ACI 306 – R – 88).

SI BAJA LA TEMPERATURA, LA REACCIÓN SERÁ MÁS LENTA AUNQUE LA CALIDAD DEL HORMIGÓN A LARGO PLAZO PUEDE RECUPERARSE.

Pero si la temperatura baja de 0°C no hay reacción de fraguado. Estos hechos hacen obligatoria la protección del concreto contra el congelamiento. Protección que el A.C.I. recomienda hasta que se haya alcanzado la resistencia $f_c = 500\text{PSI}$ o protección durante las primeras 24 horas.

Para concretos ya existentes, sometidos a la acción de temperaturas menores de -5°C deberán mantenerse artificialmente tibios con el uso de calefactores (Gasolina, kerosén, electricidad).

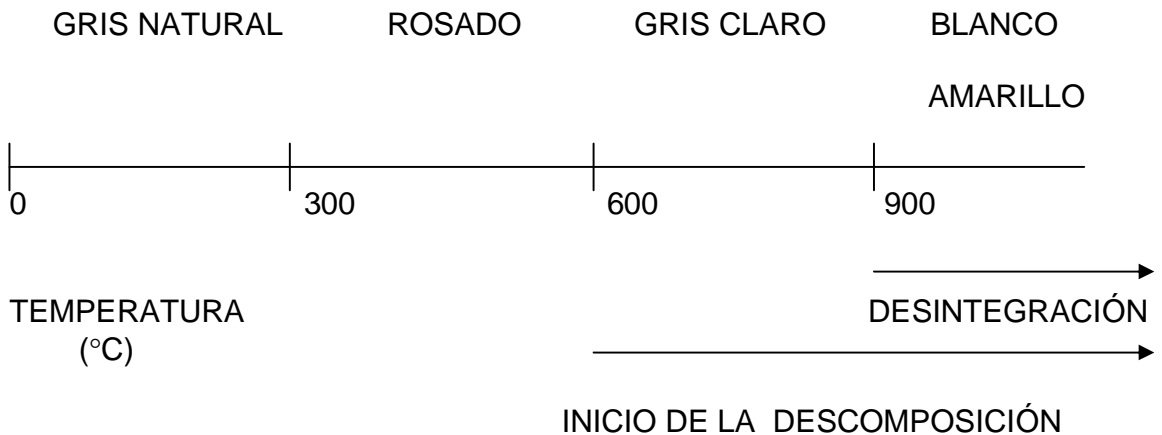
1.4 TEMPERATURAS ALTAS

El fuego es una fuente accidental de altas temperaturas no estrictamente de carácter medioambiental. Sin embargo podemos considerar algunos de los aspectos de esta situación extrema así sea de un modo breve. El concreto soporta el ataque por fuego ofreciendo distintos tipos de resistencia:

- Resistencia a la penetración del calor.
- Resistencia a la transmisión del calor ($\alpha = 10 \times 10^{-6} \text{ cm} / \text{cm}/^\circ\text{C}$)
- Resistencia a las cargas actuantes durante la acción del fuego.

Los cambios de temperatura ocasionan cambios en el color del concreto:

Color:



Según BURÓN M Y VEGA.L la conductividad térmica del hormigón armado ofrece valores comparables a los de la siguiente tabla, ($f_c = 4000 \text{ PSI}$).

TABLA 2. INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL CONCRETO.

TIEMPO T(minutos)	TEMPERATURA (°C)			
	EN EL INCENDIO	ACERO SIN PROTECCIÓN	EN LA ARMADURA r = recubrimiento en cm	
			r =3	R = 4.5
30	815	815	205	140
60	925	925	370	270
90	990	990	490	350
120	1030	1030	570	425
150	1070	1070	620	490
180	1100	1100	660	510

El fuego hace perder la capacidad resistente del hormigón y disminuye su módulo de elasticidad (E).

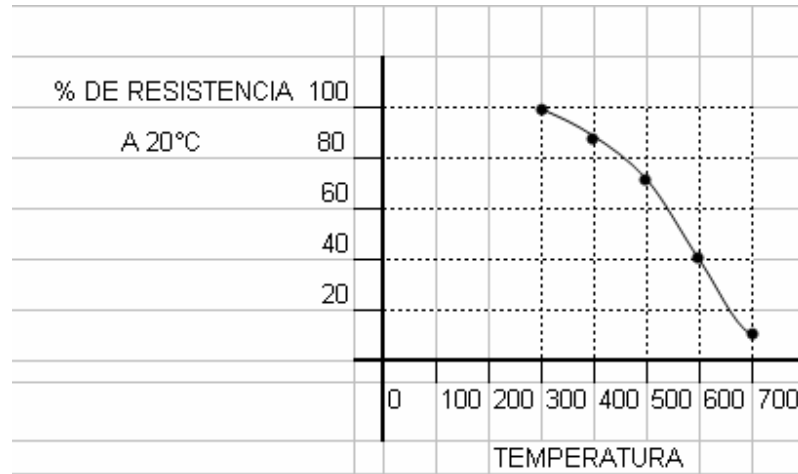
Según los mismos autores citados, y en investigaciones desarrolladas en el instituto TORROJA de la construcción, se presentan las siguientes pérdidas de resistencia por temperatura para un concreto ($f_c = 4000$ PSI).

TEMPERATURA T (°C)	PERDIDA DE LA RESISTENCIA (%)		PERDIDA DE ENERGÍA (%)	
	ACERO	HORMIGÓN	ACERO	HORMIGÓN
20	0	0	0	0
400	15	15	30	75
500	30	15	40	83
600	60	30	70	90
700	85	40	87	90

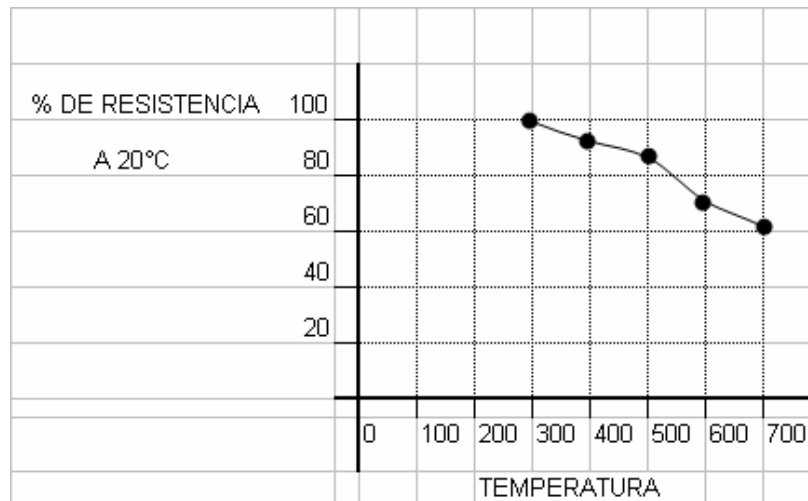
DEFORMACIONES A 500°C	
ACERO	HORMIGÓN
$1.7 * \Delta L_1$	$6.0 * \Delta L_2$
$\Delta L_1 =$ DEFORMACIÓN A 20°C	$\Delta L_2 =$ DEFORMACIÓN A 20°C

FIGURA 2. REDUCCIÓN DE LAS RESISTENCIAS DEL HORMIGÓN Y DEL ACERO POR ACCIÓN DE LA TEMPERATURA.

ACERO



HORMIGÓN



EL A.C.I. establece que debe existir una relación entre la temperatura del medio ambiente y la del hormigón durante su preparación, colocación y edades tempranas.

Esta relación está interpretada en el Nomograma de MENZEL (sección 2.2).

Las propiedades del hormigón se ven modificadas por la exposición a altas temperaturas las cuales producen secado y deshidratación prematura con la consiguiente micro y macro figuración potenciadoras de otras agresiones.

1.4.1 MECANISMO

Procesos químicos de deterioro como la corrosión y las reacciones álcali – agregado se acentúan por las altas temperaturas de exposición.

Al subir la temperatura “por cada 10 °C de aumento, se duplica la velocidad de reacción de la química benéfica pero también de la destructiva en el concreto”.

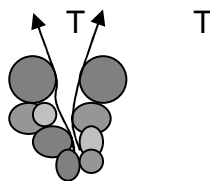
LAS ALTAS TEMPERATURAS PERMITEN LA PERDIDA RÁPIDA DEL AGUA, Y SIN AGUA NO HAY HIDRATACIÓN DEL CEMENTO QUE LE PERMITA DESARROLLAR SUS RESISTENCIAS MECÁNICAS.
SI LA VELOCIDAD DE EVAPORACIÓN DEL AGUA ES MAYOR QUE LA VELOCIDAD A LA QUE SE ESTA REMPLAZANDO EL AGUA DE EXUDACIÓN (CURADO) SOBREVENDRÁN LOS PROBLEMAS EN EL CONCRETO.

Las altas temperaturas generan también secado diferencial entre la superficie y la masa interna de las estructuras, este secado diferencial o gradiente térmico ocasiona la llamada RETRACCIÓN PLÁSTICA O CUARTEAMIENTO.

El concreto pasa de color brillante a mate. Se hace más notoria esta retracción en áreas de alta exposición y poco espesor: placas, losas, pavimentos.

Se debe la retracción plástica a la tensión superficial por la pérdida de agua capilar.

FIGURA 3. RETRACCIÓN SUPERFICIAL POR PERDIDA DE AGUA CAPILAR.



La superficie se cuartea erráticamente y sus fisuras no pasan de 3mm de profundidad. Al sustrato no le pasa nada. El ACI establece, que si la velocidad de evaporación es $< 1 \text{ kg/m}^2$ por hora la mezcla estará a salvo de figuración.

Si al tiempo caluroso del verano se le combinan: baja humedad relativa, alta temperatura del concreto y alta velocidad del viento tendremos un factor importante de deterioro del concreto (ver nomograma de MENZEL) (2.2).

El ACI establece que el concreto fresco no debe exponerse a temperaturas ambientales $> 40^\circ\text{C}$, ya que sus tiempos de fraguado dependen de la temperatura interna y ambiental. De modo que altas temperaturas significan cortos tiempos de fraguado y el hormigón debe tener un tiempo mínimo de hidratación (periodo reológico) ántes de iniciarse su fraguado para poder desarrollar sus atributos de resistencia.

La radiación solar es un factor que gobierna las retracciones térmicas del concreto:

- Retracción plástica (secado superficial).
- Retracción seca (pérdida de agua del gel).

A MAYOR TEMPERATURA AMBIENTAL SE PRODUCIRÁN MAYORES RETRACCIONES (FISURAS Y GRIETAS), PORQUE MAYOR ES LA DESHIDRATACIÓN.

El aumento de la temperatura ambiental aumenta la velocidad de generación de altas resistencias tempranas las cuales pueden incrementarse y habrá necesidad de controlar si ese aumento es a expensas de la resistencia final.

1.5 CAMBIOS DE LONGITUD EN LAS ESTRUCTURAS

Los cambios de temperatura producen alargamiento y acortamiento (ΔL) cuyos valores dependen de varios factores: Tipo de material (∞), Longitud (L), de la pieza, cambio en la temperatura (ΔT).

∞ Hormigón = $10 \times 10^{-6} \text{ cm/cm/}^\circ\text{C}$

∞ Acero = $12 \times 10^{-6} \text{ cm/cm/}^\circ\text{C}$

En su forma más sencilla y solo para tener en cuenta los cambios en la mayor dimensión, la longitud , la expresión está dada por $\Delta = \alpha \cdot L \cdot \Delta T$.

Estos cambios en las dimensiones de las piezas se manifiestan en variaciones de superficie, volumen , momentos y productos de inercia que son resultado de los movimientos internos que sufren los materiales a nivel molecular y atómico en su estructura cristalina.

Los ciclos permanentes de alargamiento / acortamiento de servicio incluyendo los producidos por cambios en la temperatura (calor/frío) producen fatiga que terminan colapsando la estructura con sollicitaciones aún por debajo de los esfuerzos normales de trabajo.

Los cambios de temperatura generan esfuerzos dentro del hormigón a menos que existan juntas de dilatación y que su colocación sea correcta. Este cambio en los esfuerzos tanto en magnitud como en dirección produce su efecto destructivo a larguísimo plazo, ciclos contemplados: ($2 \times 10^6 - 10 \times 10^6$).

De todos modos la fatiga Mecánica origina pérdidas notables de resistencia: según el reglamento EHE de obligado cumplimiento en España y del Eurocódigo 2

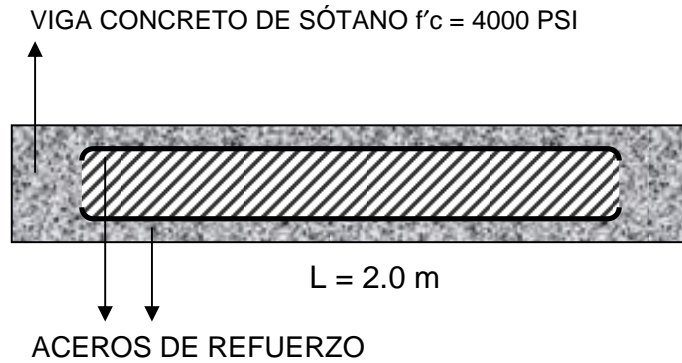
	}	30% en el acero
		60% en el hormigón

1.5.1 MEDICIÓN DE LOS CAMBIOS DE LONGITUD Y DE LA FATIGA DE ORIGEN TERMICO

MEDICIÓN DE LOS CAMBIOS DE LONGITUD

Ejemplo: valores tomados de la zona de edificios en observación y estudio.

FIGURA 4. ILUSTRACIÓN ELEMENTAL DE VIGA REFORZADA.



Asumiendo un ΔT (drástico) = 25°C

Valores propios: E Hormigón = $1.85 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$

E Acero = $2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$

$$\Delta L \text{ por temperatura} = \alpha \cdot L \cdot \Delta T = \begin{cases} \text{HORMIGÓN} = 10 \times 10^{-6} \times 200 \times 25^{\circ}\text{C} = 0.05 \text{ cm} \\ \text{ACERO} = 12 \times 10^{-6} \times 200 \times 25^{\circ}\text{C} = 0.06 \text{ cm} \end{cases}$$

Como no existen juntas de dilatación apropiadas, se generan esfuerzos.

$$\sigma_{\text{concreto}} = \epsilon \cdot E = \frac{0.05 \times 1.85 \times 10^5}{200} = 46.2 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{acero}} = \epsilon \cdot E = \frac{0.06 \times 2.1 \times 10^6}{200} = 630 \text{ kg/cm}^2$$

Valor del concreto superior a 28.11 kg/cm^2 con lo que se explican las grietas de tracción..

En el caso del hormigón estos esfuerzos de compresión no presentan problemas pero en el caso de tracción son mayores a la resistencia que puede ofrecer el material.

FATIGA

N = Número de ciclos para el cual se presenta la falla en el material.

C = valor que depende de la ductilidad del material = 100 para el cemento.

ϵ_p = amplitud de la deformación plástica. = .002

n = 2

$N = C \epsilon_p^{-n}$

$N = 100(0.002)^{-2} = 25.000.000$ de ciclos ¹

Valor que está muy distante de las condiciones ambientales normales.

1.6 AISLAMIENTO TERMICO DE LAS EDIFICACIONES

En las construcciones modernas se hace cada vez mas útil calcular las necesidades térmicas (viviendas) (Kcal./h).

En invierno si el techo o las paredes exteriores de la construcción no están aislados correctamente, la cara interior del cerramiento esta a baja temperatura; el aire de la habitación que toque esa superficie fría bajo la temperatura de rocío, se enfría rápidamente provocando que el vapor de agua contenido en el aire se condense (pasar de vapor a liquido) formando gotas de agua sobre la citada pared, es la condensación superficial sobre la cual crecen hongos, manchas de humedad, se presentan en: Paredes, techos, rincones, junto a ventanas y puertas, sótanos sin aislar, cimientos.

Los hongos por su parte efectúan el biodeterioro a que nos referimos en el numeral: 7.1.

Se puede solucionar y evitar el problema de diversos y sencillos modos.

¹ Tomado del libro "FUNDAMENTOS DE LA CIENCIA DE MATERIALES" A.G. GUY MC – GRAWHILL, México primera edición, Pág. 411.

- Ventilación
 - Elementos aislantes
 - Colocar recipientes con cal viva que absorben fácilmente el agua
- Evitar frío extremo
 - Evitar calor extremo

EVITAR LAS TEMPERATURAS EXTREMAS Y EVITAR LOS GRADIENTES BRUSCOS O PRONUNCIADOS.

1.7 PREVENCIÓN, SOLUCIÓN, TRATAMIENTO

- No trabajar las faenas de hormigón bajo el sol, usar cubiertas de protección en el área de trabajo.
- Reducir el movimiento del viento.
- Realizar los trabajos de mezcla/vaciado muy en las horas frescas de la mañana o muy en las horas de la tarde.
- Hacer la operación de fundida muy rápidamente
- Proteger el cemento fundido con papel o trapos humedecidos, con polietileno.
- Usar un retardador o reductor de evaporación.
- Iniciar el curado inmediatamente después del acabado.
- En caso de muy altas temperaturas de mezcla se puede bajar la temperatura del agua refrigerándola con hielo.

Los resultados experimentales obtenidos en su trabajo de doctorado por Ortiz lozano, José Ángel, de la Universidad pontificia de Cataluña, "Estudio experimental sobre la influencia de la temperatura ambiental en la resistencia del hormigón". REFERENCIA 6-10-2005, permiten llegar a la conclusión. "Cuanto menor es la diferencia térmica entra la temperatura del hormigón y la temperatura del ambiente mejor son los resultados relativos a las prestaciones mecánicas".

- Luego se debe bajar la temperatura de la mezcla si es muy alta respecto al ambiente o bajar la temperatura del medio si es muy alta respecto a la de la mezcla.
- Para evitar los cambios de temperatura en el fraguado se debería curar el concreto masivo/endurecido con agua caliente.
- Dimensionar la temperatura para que sus recubrimientos permitan soportar el fuego.

2. INFLUENCIA DE LA HUMEDAD AMBIENTAL

La difusión de la humedad en el hormigón es un problema complejo, no es lineal. Obedece a modelos creados a partir de ecuaciones diferenciales.

La humedad ambiental depende de varios factores entre otros: Temperatura, velocidad del viento, lluvias, energía solar. El aire caliente asciende y hace bajar la presión atmosférica provocando inestabilidad, el aire frío baja aumenta la presión atmosférica, aumenta la humedad y genera estabilidad.

La temperatura a la cual el aire no puede retener todo el vapor de agua se llama punto de rocío, el aire tibio retiene mas agua que el frío o el muy caliente.

En la noche, si el aire esta normalmente frío parte de su vapor de H₂O se condensa como rocío y si adquiere una $T < 0^{\circ}\text{C}$, se cristaliza y se forma escarcha.

El aire caliente al ascender se enfría y cuando llega al punto de rocío, parte de su agua se condensa en gotas muy pequeñas que conforman las nubes, pero esta condensación no puede efectuarse sin los llamados núcleos de condensación (humo, polvo, gases vehiculares) ya que no hay condensación en aire puro.

2.1 MECANISMO

Empecemos diciendo que si la humedad es excesiva, aumentan los tiempos de fraguado del cemento lo cual genera desventajas en los manejos del hormigón fresco.

Si la humedad relativa reinante durante el fraguado del hormigón es $< 80\%$ se tendrá una disminución en su resistencia final, problema que puede solucionarse con una diligente y óptima práctica de curado.

En Bogotá la humedad relativa ha disminuido (15 – 20%) en los últimos 10 años, acentuándose más los efectos sobre las estructuras de concreto tanto en estado plástico como endurecido.

UN HORMIGÓN PERMANENTEMENTE EMPAPADO TERMINA POR DESTRUIRSE.

La evaporación del agua superficial en el hormigón depende de:

- Humedad relativa del aire.
- Temperatura del hormigón.
- Velocidad del viento.
- Temperatura del ambiente.
- Radiación solar.

Factores que si se combinan desfavorablemente incrementan la tasa de evaporación superficial y las retracciones plásticas (en las primeras 50 horas).

En obras de alta área de exposición y pocos espesores, como en los pavimentos rígidos, es muy notorio este efecto. Por otro lado la humedad ambiental facilita el curado de piezas estructurales mal atendidas y generan de alguna manera autocatrización.

2.2 NOMOGRAMA MODIFICADO DE MENZEL (ESTEVEN Y. WILLIAM 1.992)

Ejemplo de desfavorabilidad:

Temperatura del aire (Ta)	= 35°C
Humedad Relativa (HR)	= 10%
Temperatura del concreto (Tc)	= 35°C
Velocidad del viento (V)	= 40 Km./h
Humedad del concreto (Hc)	= 100%

Valores que conducen según el nomograma de Menzel a una evaporación superficial = 4.5 Kg./m²/h

Ejemplo de favorabilidad:

Temperatura del aire (Ta)	= 20°C
Humedad Relativa (HR)	= 90%
Temperatura del concreto (Tc)	= 35°C
Velocidad del viento (V)	= 5 Km/h
Humedad del concreto (Hc)	= 50%

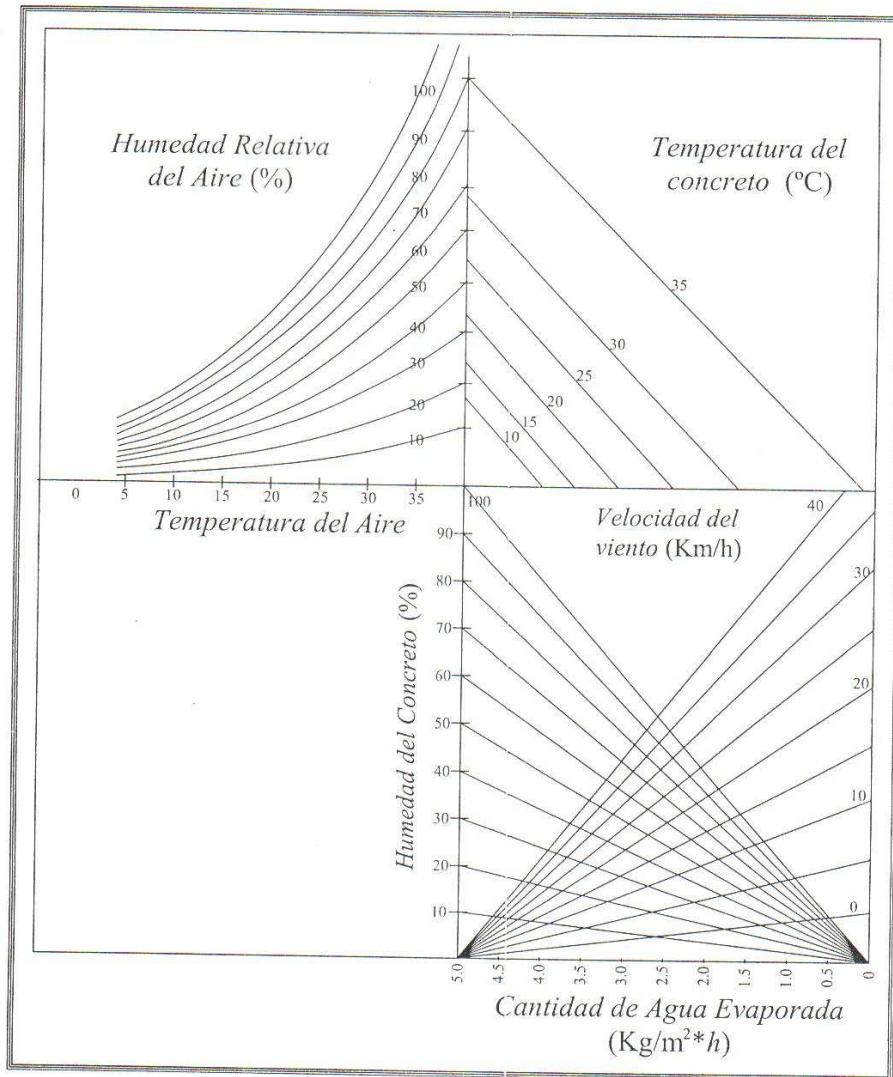
Valores que conducen según el nomograma de Menzel a una evaporación superficial = $0.5 \text{ Kg./m}^2/\text{h}$

Buenaventura, con altas temperaturas y HR = (90% - 100%) es la ciudad más húmeda de América, un sitio ideal para el concreto. Al quedar disminuidas sus propiedades por cualquier acción el hormigón es más vulnerable a la humedad.

El concreto tiende a contraerse / expandirse debido a condiciones de humedad.

Del nomograma podemos observar que la retracción medida como consecuencia de la evaporación superficial, aumenta con la disminución de la humedad relativa (HR) y con el aumento de la velocidad (V) del viento.

FIGURA 5. NOMOGRAMA MODIFICADO DE MENZEL (ESTEVEN Y. WILLIAM 1.992



NOMOGRAMA AMPLIADO DE MENZEL PARA DETERMINAR LA TASA DE EVAPORACIÓN DEL CONCRETO

2.3 PREVENCIÓN – SOLUCIÓN – TRATAMIENTO A PROBLEMAS DE HUMEDAD EN EL CONCRETO

- Uso de detectores de humedad para materiales.
- Proporcionar un buen curado cualquiera que sean las condiciones ambientales.
- Usar reductores de evaporación en climas muy calientes.
- Evitar los asentamientos excesivos (SLUMP).
- Evitar el sobre acabado de superficies.
- Evitar el sobre allanado de superficies.
- No espolvorear cemento seco.
- Evitar la compactación excesiva.
- Usar fibras de refuerzo de polipropileno.
- Humedecer la sub base y los encofrados para reducir la absorción de agua a si mismo minimizar el agrietamiento plástico.
- Existe un valor crítico de humedad relativa ambiental que origina máxima carbonatación.

LA VELOCIDAD DE ABSORCIÓN DE AGUA DEL CONCRETO ES MAYOR QUE SU EVAPORACIÓN, POR TANTO LA HUMEDAD DENTRO DEL HORMIGON DEBE SER MAYOR QUE LA AMBIENTAL.

3. INFLUENCIA DE LA PRESIÓN ATMOSFERICA

El efecto de la presión atmosférica en las propiedades del hormigón no está totalmente estudiada, aunque si se saben algunas generalidades de su comportamiento.

La presión atmosférica, coadyuva el ingreso de sustancias agresivas y facilita la invasión del vapor de agua, CO₂, gases atmosféricos a los poros del hormigón.

Esta propiedad permite el curado acelerado en cámaras de vapor a presión, con el mayor éxito dentro de los métodos de curado. El curado con vapor se usa en dos situaciones: para obtener altas resistencias a edades tempranas y cuando se requiere calor adicional de hidratación en lugares fríos.

Este curado con vapor se puede efectuar a Presión atmosférica normal o con altas presiones en autoclave.

Si el concreto esta sometido a una presión hidráulica de 1.5 metros de agua , se impide la penetración de oxígeno atmosférico.

El aire caliente que sube a las zonas altas de la atmósfera, hace disminuir la presión atmosférica, El aire frío desciende y provoca su aumento.

P (presión Atmosférica) = 1.013 HPa (HECTOPASCALES).

$$\text{A NIVEL DEL MAR} = 101.325 \text{ N/m}^2 \text{ (newton / m}^2\text{) = Pa (Pascales)}$$

$$= 750.062 \text{ mm de Hg}$$

$$= 10.33 \text{ m de H}^2\text{O}$$

$$= 1,033 \text{ Kg. / cm}^2$$

$$= 14.7 \text{ PSI}$$

$$1 \text{ mm de Hg} = 1.33 \text{ m.b (milibar)}$$

Cada 10.0 mts, que nos sumerjamos, la opresión aumenta 1.0 atmósfera.

El hormigón fragua a menor velocidad cuanto mayor es la presión atmosférica. Una presión atmosférica alta hace que el agua de la mezcla parte de la cual (85%) debe salir, se evapora a una tasa menor que en presión baja.

Las estructuras a nivel del mar se verán mas afectadas por el ingreso a sus porosidades de sustancias (Iones, líquidos, Gases, Vapores).

LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA COMO LA HIDROSTÁTICA HACE QUE LOS CONCRETOS SEAN MAS PENETRABLES POR SUSTANCIAS Y IONES EN LA MEDIDA QUE AUMENTE.

Independientemente de los otros factores, la presión atmosférica es la responsable del notable deterioro que se observa en las estructuras de Concreto a nivel del mar. (La alta presión favorece la entrada de CO₂ que genera carbonatación).

Donde haya alta presión atmosférica la dosificación de agua usada en la mezcla deben ser menor que en condiciones de baja presión.

La baja presión atmosférica en tiempos calurosos ($T \geq 30^{\circ}\text{C}$) y vientos secos hacen que la fisuración plástica (del concreto fresco) , por pérdida de agua se desarrolle antes de haberse secado totalmente el agua de exudación superficial del hormigón.

Existe una relación íntima entre la presión atmosférica y los vientos, con el consiguiente arrastre de partículas erosivas; explicación que nos permitimos dar en los siguientes reglones:

“Cuando las ISOBARAS de baja presión están rodeadas de líneas de alta presión se forman borrascas o depresiones. Si las ISOBARAS de alta presión están rodeadas de otras de presión más bajas , se forman los llamados ANTICICLONES, indicadores de buen tiempo. El viento que es aire en movimiento, camina encarrilado por la ISOBARAS y se moverán de mayor presión a menor.

4. SUSTANCIAS Y REACCIONES QUÍMICAS A LAS QUE SE SOMETE LA ESTRUCTURA (ATAQUE QUÍMICO).

Los niveles de agresividad de una sustancia sobre un elemento de concreto, dependen entre otros de los siguientes factores:

- Concentración de la sustancia.
- Temperatura del medio.
- Humedad relativa del medio.
- Porosidad, capilaridad y permeabilidad del elemento.
- Acciones mecánicas sobre el elemento.
- Presión y velocidad de la sustancia agresora.
- Protección del elemento estructural.

Las reacciones químicas autogénicas provocadas por la hidratación propia del cemento, como también otros efectos de naturaleza parecida son tenidas en cuenta en este trabajo en la medida que se suman a la agresión ambiental.

Los agentes químicos generan reacciones que destruyen los componentes responsables de la cementación del cemento Pórtland; el concreto se meteoriza, pierde sus propiedades ligantes y su naturaleza alcalina.

El agua que actúa como “DISOLVENTE UNIVERSAL”, disocia las moléculas, activa iones y propicia las reacciones que terminan destruyendo las propiedades cohesivas y adherentes que caracterizan al concreto.

Las reacciones químicas actúan de modo que cualquier acción es la suma o concurso de varias acciones; cualquier daño es la suma de varios daños.

CADA EFECTO SUFRIDO POR EL CONCRETO ES CAUSADO POR VARIAS ACCIONES FISICO – QUÍMICAS.

4.1 REACCIONES QUÍMICAS DEBIDAS A LOS PROPIOS COMPONENTES DEL CONCRETO

Los componentes del concreto: Cemento, agregados, agua y aditivos, son portadores de sustancias que propician la desintegración del material, cuando sus proporciones, calidades y concentraciones no son las adecuadas.

Se busca que el concreto sea un “portador sano” de las posibles enfermedades que pueda sufrir.

Algunas causas de estos malestares son:

- En el cemento: Exceso o defecto de yeso ($\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$),
Exceso de álcalis
Exceso de aluminato tricálcico (AC_3)
Exceso de ferroaluminato de calcio (FAC_4)
- En los agregados: Gravas calcáreas.
Arenas carbonatáceas.
Agregados reactivos.
- En el agua: Sustancias contaminantes.
Aguas duras (carbonatáceas)
Aguas blandas (puras)
Aguas selenitosas (sulfatos, sales)

Esta agresión se produce de dentro hacia fuera y en ello radica la gravedad, sus propios componentes generan acciones desintegradoras.

Tales reacciones son tratadas aquí en este trabajo con alguna profundidad, pues influyen en la agresión que ejercen los agentes medioambientales.

4.1.1 Reacciones Químicas Debidas A Los Componentes Del Cemento

Uno de los componentes básicos del Clinker es el aluminato tricálcico, AC_3 según la notación de Rankin y Wright o $3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$; el cual se hidrata muy rápidamente al contacto del cemento con el agua.

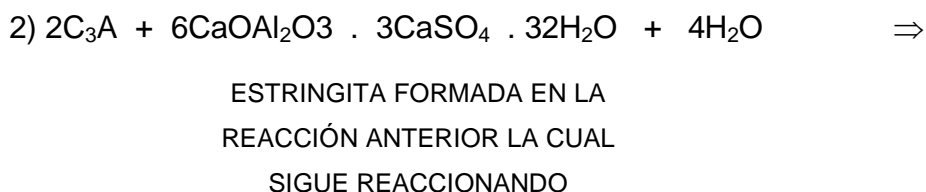
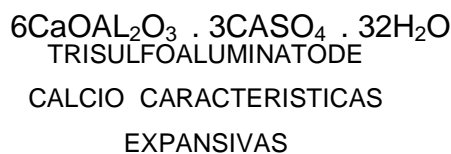
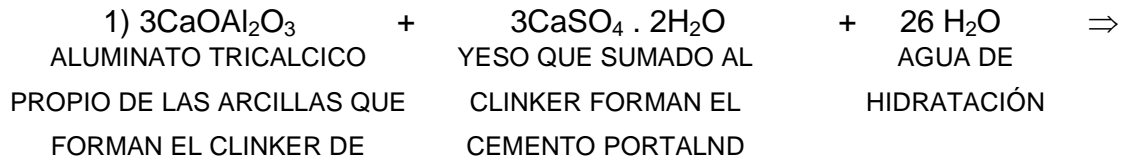
En este proceso rápido de hidratación se mezcla con el yeso $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ formando la etringita o etringita, $3\text{CaOAl}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$, sal llamada también sal de candlot, o bacilo del concreto o trisulfoaluminato de calcio, cuyos cristales son altamente expansivos. Su volumen es mayor que el de sus componentes. Los excesos de sulfoaluminato, debidos a excedentes de AC3 y/o yeso, son destructivos; su volumen es mayor que el de sus componentes y por tanto expansivos y formadores de micro fisuras que sumadas terminan produciendo daños internos: grietas, desagregaciones etc. Tales razones, hicieron que el ICPC (INSTITUTO COLOMBIANO DE PRODUCTORES DE CEMENTO) recomendara la siguiente composición para los cementos.

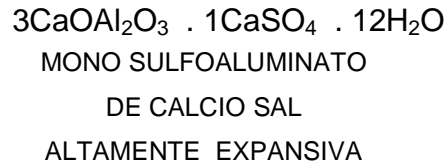
$\text{AC}_3 < (5 - 7)\%$

$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}: (1.5\% - 4.5\%)$

4.1.1.1 Antecedentes Químicos

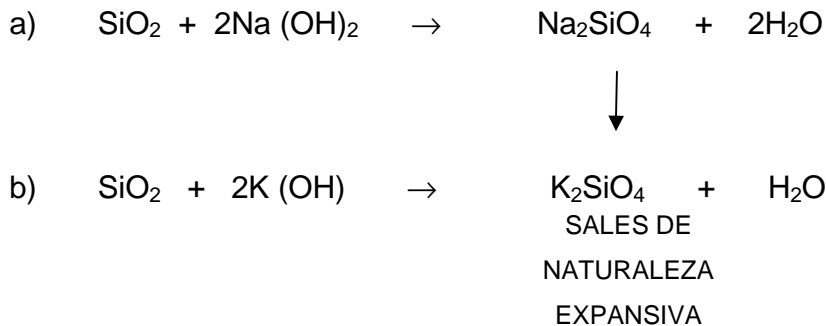
Las siguientes reacciones estudiadas desde 1.950 nos explican lo que sucede en el cemento:





Las reacciones anteriores nos explican la naturaleza endógena del problema.

3) De la misma manera, los excesos de álcalis, Na_2O , K_2O que pueda tener un cemento, propician reacciones expansivas desintegradoras, llamadas reacción álcali – agregado, contempladas en la sección 4.1.2.1



El A.C.I. recomienda a los fabricantes de cemento, para evitar y atenuar esta agresión:

$$\frac{C_3A}{SO_3} < 3.0$$

$$\frac{AGUA}{CEMENTO} < 0.5(MEZCLA)$$

4.1.2 Reacciones Químicas Debidas a Los Agregados

Se supone que los agregados usados en la producción de concretos (arenas, gravas) y morteros (arenas), deben ser químicamente inertes - áridos.

Pero en la realidad esto no es totalmente cierto y los agregados terminan en

mayor o menor grado reaccionando con el cemento y con el medioambiente; generando agresiones internas.

La mayoría de estas reacciones por no decir que la gran totalidad son destructivas. Sin embargo se ha encontrado una de ellas, la que generan los agregados de naturaleza calcárea y el cemento, como propiciadora de incrementos en las resistencias del producto final, es la epitaxia (actualmente sometida a estudios e investigaciones).

El fenómeno álcali – agregado fue inicialmente estudiado en 1.940 por T.E. STANTON y en el año 1.955, por R.F. BLANKS al medir las expansiones presentadas por la presa del pantano de COWPER en California, EE.UU.

4.1.2.1 Reacción Alkali – Agregado

Una de las causas del deterioro del concreto que ha sido objeto de más estudios en los últimos treinta años, es la reacción álcali – agregado, que se origina entre los óxidos de Na y K del cemento (álcalis) y determinados agregados activos.

Los óxidos citados se liberan en la hidratación del cemento o pueden provenir de otras fuentes.

4.1.2.1.1 Mecanismo

Los agregados reactivos por lo general son de origen volcánico. Estos suscitan una ambigüedad peligrosa: por un lado, los agregados recomendables son los que provienen de roca – madre ígnea y por otro lado, estos son los susceptibles de producir la reacción álcali – agregado altamente destructiva.

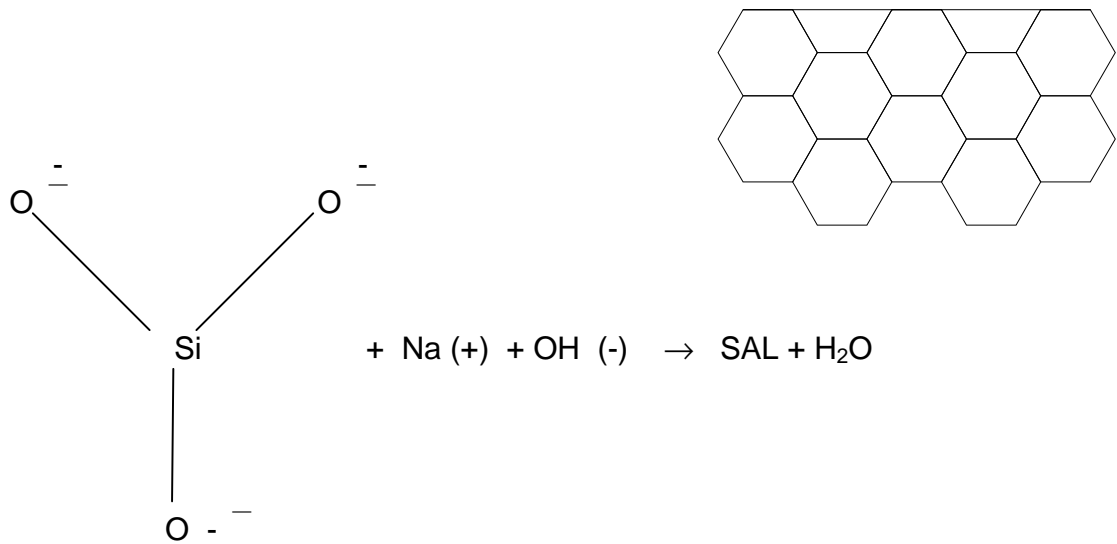
La reacción se inicia en la superficie del agregado y afecta la interfase pasta – agregado, formando un gel rico en SiO_2 (diferente al gel formado por la cristalización del $\text{Ca}(\text{OH})_2$) que toma agua y se dilata, creando presiones de carácter expansivo, al interior del material.

Los esfuerzos residuales creados, llevan al material al agrietamiento extensivo a

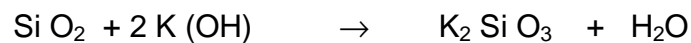
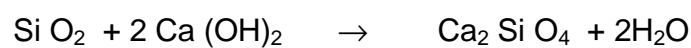
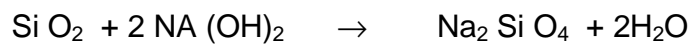
la pérdida de resistencia y a la disminución del módulo de elasticidad (E).

La manifestación del efecto álcali – agregado se hace a través de agrietamientos en forma de mapas o piel de cocodrilo siguiendo formas casi hexagonales y parecidas a las formadas por retracción plástica.

FIGURA 6. FORMATO DE AGRIETAMIENTO ALCALI AGREGADO.



REACCIONES FRECUENTES:



ALCALIS DE LOS POROS



SALES QUE FORMAN GELES EN LAS SUPERFICIES DE LOS AGREGADOS CON CARACTERISTICAS EXPANSIVAS

DICHO DE OTRO MODO: “LA REACCIÓN ALCALI – AGREGADO OCURRE ENTRE LA SOLUCIÓN ALTAMENTE ALCALINA DE LOS POROS CON pH MUY ALTO Y LOS SÍLICES REACTIVOS DE ALGUNOS AGREGADOS.

La reacción álcali – agregado comprende tres formas:

- a) Reacción álcali – sílice
- b) Reacción álcali – silicato
- c) Reacción álcali – carbonato

4.1.2.1.2 Reacción Álcali – Sílice

Se debe fundamentalmente a la sílice amorfa (SiO_2) con estructura no cristalina que poseen algunos agregados: puzolanas, ópalos, materiales volcánicos vítreos, cristobalitas, tufandesitas, cuarzos, riolitas, chert, calizas blandas, granates, piritas etc.

La sílice amorfa es muy reactiva. Forma geles de un gran volumen:

$\text{Si}(\text{OH})_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Para que esta reacción se presente es necesario el uso de cementos con alto contenido de álcalis, presencia de altas temperaturas y alta presión atmosférica del medio.

En Colombia los agregados presentan baja reactividad por lo que la reacción álcali – sílice no se da, ni siquiera en bajas proporciones.

Con base en la norma ASTM C9 – P214 se deben elaborar 16 barras de mortero de ciertas dimensiones para medir las expansiones que deben presentar valores < 0.08%. Es una forma de medir la reacción álcali – sílice.

4.1.2.1.3 Reacciones Álcali – Silicato

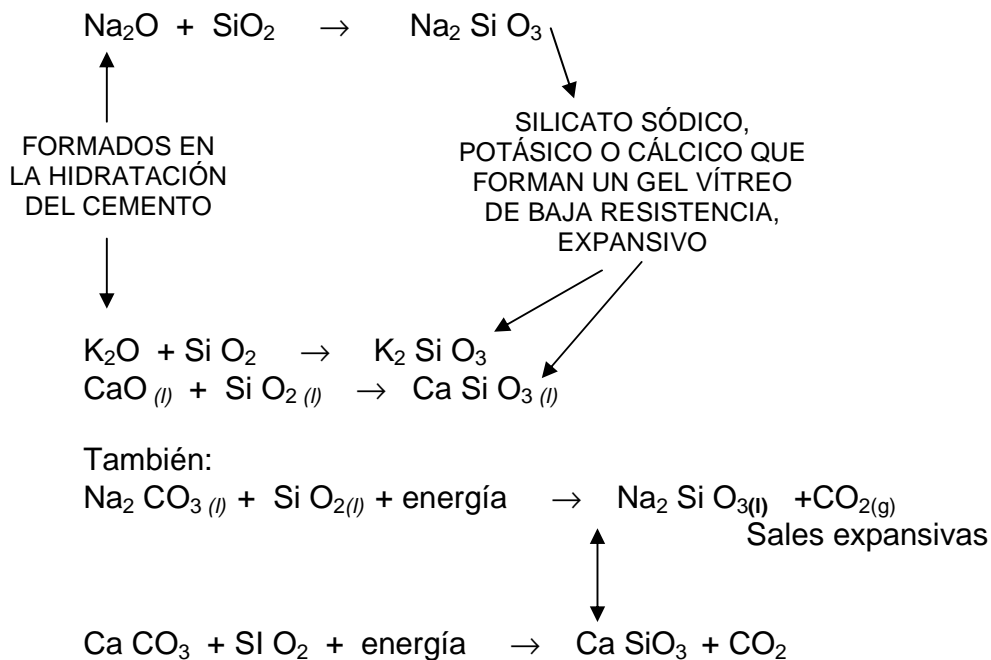
Los silicatos son sales de ácido silícico. Las reacciones álcali – silicato conforman un proceso no muy bien conocido.

Se sabe que su naturaleza es idéntica a la reacción álcali – sílice.

En este caso los geles formados son de menor volumen y cantidades más limitadas.

La expansión de la reacción es muy lenta, sus efectos pueden evidenciarse en (10 – 20) años; una vez manifiesta sus efectos son devastadores.

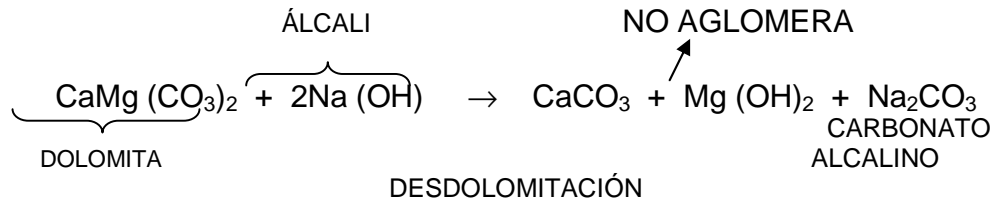
Los edificios con edades > 20 años, deben auscultarse para este daño:



4.1.2.1.4 Reacción Álcali – Carbonato

Los álcalis del cemento reaccionan sobre agregados calcáreos (CaCO₃) por lo general de grano fino con contenidos arcillosos que los hace reactivos y expansivos.

La reacción se presenta con atmósfera húmeda. La expansión se debe a la transformación de la dolomita: CaMg (CO₃)₂ en calcita CaCO₃ y brucita Mg (OH)₂, las cuales son altamente expansivas, sus cristales aumentan, hinchan sus volúmenes:

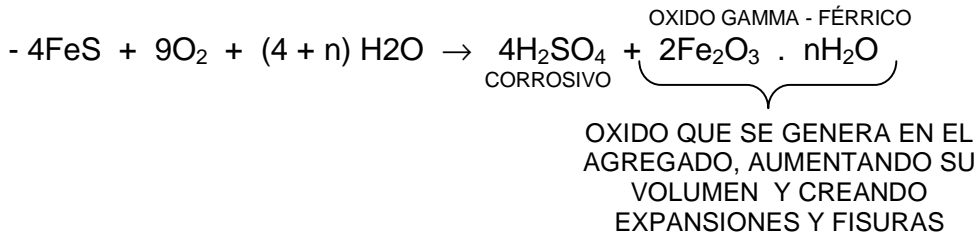


además $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow 2\text{Na}(\text{OH}) + \text{CaCO}_3$ (indefinidamente)

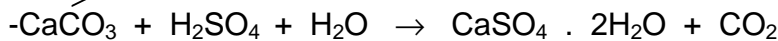
La presencia de Na_2CO_3 ocasiona fraguados muy rápidos.

4.1.2.2 Reacciones Por Fuentes Diversas

Muchos agregados, fundamentalmente las gravas que provienen de rocas en cuya composición poseen sulfuros de hierro (FeS) o que por metamorfismo están en contacto con soluciones ácidas configurarán el llamado ataque químico al concreto. Expresado en las siguientes reacciones seriadas:

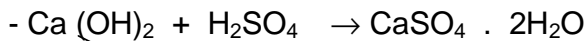


PROPIO DE LA CONSTITUCIÓN DE LAS ROCAS



YESO ADICIONAL MUY SOLUBLE, QUE DEBILITA LA MEZCLA

Además



PRODUCTO DE LA HIDRATACIÓN DEL CEMENTO

4.1.2.3 Prevención Del Fenómeno

- No usar agregados reactivos – controlarlos con la norma NTC – 175 y ASTM c – 295.
- Uso de cemento con bajo contenido de álcalis: $\text{NaO} + \text{K}_2\text{O} < 0.6\%$ (para que la reacción no se presente) o sodio equivalente (en peso) = $\text{NaO} + 0.685 \text{K}_2\text{O}$ o contenido de álcalis $\leq 3\text{Kg/m}^3$ de concreto.
- Evitar el acceso a álcalis del exterior (por ej: sales de deshielo).
- Evitar los ciclos de humedecimiento y de secado que favorecen la expansión, someter el producto a alta impermeabilización.
- Baja relación (A/C < 0.5)
- Uso del método del gel fluorescente para detectar la reacción álcali – silicato (fotografía con esteroscopio 10x de aumentos con lámpara ultra violeta).
- Uso de cementos adicionados con micro sílice ya que este fija los álcalis y los hace menos activos.
- Uso de cementos puzolánicos y de escoria que controlan las reacciones álcalis – sílice.
- Uso de inclusores de aire.
- Los aditivos de humo de sílice, con propiedades puzolánicas (sílica – fume, micro sílice) reducen la permeabilidad y convierten el $\text{Ca}(\text{OH})_2$ en CSH (hidróxido de silicato de calcio, o hidro silicato de calcio, insoluble).
- Al observar al microscopio con luz polarizada se pueden ver fisuras que atraviesan el agregado y penetran en la pasta.

LA MEJOR PATOLOGÍA, AQUELLA QUE NUNCA HAY NECESIDAD DE REALIZAR,

4.1.3 Ataques Químicos Por Aguas De Amasado, Curado, Aguas Que Absorbe El Concreto Endurecido Y Aguas De Lluvia

El agua le viene al concreto en estado fresco y endurecido de varias fuentes:

Atmósfera (lluvia o humedad)

Suelo – subsuelo (Niveles freáticos)

Redes de distribución y almacenamiento.

Aguas marinas e industriales*.

El agua suele representar (10 – 25%) del volumen del concreto recién mezclado. El agua constituye la naturaleza básica del cemento y del concreto hidráulico, tanto en su fabricación como posteriormente en su exposición a la intemperie.

Por estar presente en el hormigón en todos sus estadios también la convierte en agente portador de contaminantes.

Las aguas de amasado y curado (producción) no siempre provienen de fuentes potables y pueden agredir al concreto en su fabricación. En algunas ocasiones puede tratarse de aguas estancadas, selenitosas, calichosas etc.

Cuando la estructura se moja por acción de aguas lluvias o de salpicaduras, la saturación de material se sucede de modo rápido por absorción (succión y difusión capilar).

4.1.3.1 Aguas De Amasado

El 85% del agua usada en la producción del concreto o mortero es agua de AMASADO y sirven en el proceso físico de lubricación y revoltura. Esta agua debe salir de la mezcla y para ello se le debe facilitar el respectivo drenaje.

Solo el 15% del agua de amasado es usada y consumida en los procesos químicos y deberá facilitarse su conservación en el medio.

* El estudio presente no contempla el comportamiento de estas fuentes.

Esta agua es la responsable de la hidratación, de los procesos moleculares, de la capilaridad, de los procesos de adsorción y de la formación de geles de resistencia.

El agua de adsorción evita la difusión de gases CONTAMINANTES AL INTERIOR DE LOS POROS DEL CONCRETO.

4.1.3.2 Aguas De Curado

Aunque la velocidad de absorción de agua del concreto es mayor que su velocidad de evaporación, se pueden dar condiciones ambientales que favorezcan la pérdida de H₂O y generen la formación de grietas (AUTÓGENAS, PLÁSTICAS, SECAS , SHRINKAGE O TÉRMICAS Y DE CARBONATACIÓN); por lo cual habrá que suministrar agua en abundancia después de que ha sucedido el llamado fraguado final.

Este suministro busca mantener la naturaleza hidráulica del cemento Pórtland. Esta agua no debe ser agente portador de sustancias agresivas.

4.1.3.3 Aguas De Absorción Y Aguas Lluvias

En su edad adulta, el concreto expuesto, recibirá grandes cantidades de agua por vertimientos y lluvias que influirán en su preservación o deterioro:

AGUAS PURAS: atacan por disolución.

AGUAS ÁCIDAS O SALINAS: Atacan las sales del cemento convirtiéndolas en solubles (escapan del material).

AGUAS SELENITOSAS: Altamente sulfatadas (yeso), que atacan de manera muy fuerte, reaccionando con el AC3 y formando estringita (bacilo del concreto) (4.1.1)

AGUAS Y BRISAS MARINAS: Sus cloros, solubilizan las cales del cemento, drenándolas al exterior.

AGUAS DURAS: Atacan por carbonatación.

La presencia permanente de agua, no afecta al concreto simple, al contrario le permitirá desarrollar sus resistencias tardías en el proceso de fraguado secundario y eterno.

Solo en la medida en que dichas aguas estén libres de contaminantes y que no afecten al acero de refuerzo del concreto armado, su exceso no es perjudicial.

4.1.3.4 Agua Como Agente Portador De Contaminantes Y Niveles Permisibles

El ACI, El LEWIS INSTITUTE, La ASTM C-94 y otros han investigado sobre valores de sustancias perjudiciales presentes en el agua usada como amasado, curado, absorción o lluvia. El siguiente es un cuadro resumen de tales institutos.

TABLA 3. ATAQUES DE VARIADOS AGRESORES

AGRESORES	ATAQUE DEBIL	ATAQUE MODERADO	ATAQUE FUERTE	ATAQUE MUY FUERTE	MAXIMA CONCENTRACIÓN TOLERADA
PH	6.5 -5.5	5.5 – 4.5	4.5 – 4.0	<4.0*	
CO ₂ (mg/l)	15 – 30	30 – 60	60 – 100	>100	
AMONIO NH ₄ (mg/l)	15 – 30	30 – 60	60 – 100	>100	
MAGNESIO (Mg ₂) (mg/l)	100 – 300	300 – 1500	1500 – 3000	>3000	
SO ₄ ⁼ (mg/l)	200 - 600	600 - 3000	3000 - 6000	>6000	<3000ppm ¹ <0.5%
NaSO ₄ (ppm)					<10000
MgSO ₄ (ppm)					<25000
BICARBONATOS de: Ca y Mg (ppm)					≤400
Cl ₂ Mg (ppm)					≤40000
SALES DE Fe (ppm)					≤40000
CARBONATO DE Na Y Mg (PPM)					<400
COLORO COMO Na Cl (ppm)			>3%		<20000
CaCl (%)					<2% peso de cemento usado
AGUAS DE MAR SALINIDAD (%)	Para concretos no reforzados	(3.5% - 5%)		(12% - 30%)	
Na(OH) ₂					<0.5% PCUS
K(OH) ₂					<1.2% P.C.U
YODATO, FOSFATO, ARSENATO, BORATO DE Na (ppm)					<500

* Ningún concreto lo soporta.

¹ ppm partes por millón

AGUAS DE MAR	Para concretos reforzados o pre	NO DEBE USARSE			
AZUCAR Y MELAZA (PPM)					<500
MATERIA ORGANICA (PPM)					<20
ACEITE MINERAL					≤2% P.C.U
AGUAS CON ALGAS					0
AGUAS CON PETROLEO					<2%
COLORO COMO Cl (ppm)	EN CONCRETOS REFORZADOS				<1000
SALES: SULFURO DE SODIO (PPM)					<100
ACIDOS H ₂ SO ₄ HCl (ppm)					<10000
COLORO COMO Cl (PPM)	EN CONCRETO PREESFORZADO				<500
SODIO Na (%)					<3%
AGUAS RESIDUALES	NO DEBEN USARSE				
TERRONES DE ARCILLA EN GRAVAS (%)					0.25
TERRONES DE ARCILLA EN ARENAS (%)					1.0
FINOS D≤0.075 mm ARENAS (%)					5.0
FINOS D≤0.075 mm GRAVAS (%)					1.0
SÓLIDOS DISUELTOS PARICULAS EN SUSPENSIÓN (PPM)					<2000ppm
COMPUESTOS DE AZUFRE TOTALES EN ARENAS Y GRAVAS (%)					1.20
AGUAS CON OLORES	NO DEBEN USARSE				
NO HAY ESTUDIO SOBRE USO DE AGUAS RESIDUALES TRATADA (EN COLOMBIA)					
GRASAS, ACEITES					<1.5gm/l

En muchos casos la agresión depende del estado en que se halla el concreto (amasado, fresco, curado, endurecido, añoso).

Por Ej: Se observó en el trabajo de tesis de grado para optar el título de Ingeniero Civil en la Universidad Santo Tomás, febrero de 1.997 , Mauricio Restrepo Álvarez experimentando en Central de mezclas; “que si en el amasado se agrega (2 – 3%) de HCl en peso del cemento, no hace daño al concreto, como si lo hace si la solución ácida se agrega al material endurecido”.

El A.C.I. igualmente proscribe el uso de aguas de amasado que posean grasas, aceites animales, vegetales o minerales.

La situación se hace más crítica con glicerinas, ácidos grasos, cebos, mantecas, aceite de palma.

La razón fundamental es: NO DEJAN HIDRATAR AL CEMENTO.

4.1.3.5 Acción Corrosiva De Las Aguas Calientes

El aumento de la temperatura acelera la velocidad de reacción y por tanto las reacciones químicas perjudiciales de las aguas agresivas. Los procesos químicos son más rápidos debido a la acción del calor. A temperatura baja las reacciones tienen lugar más lentamente, llegando en casos extremos a detenerse prácticamente.

Según los resultados de los ensayos hechos por la Cement Portland Association, las probetas de hormigón sumergidas en solución al 15% de Na_2SO_4 a los 30 días y con $T=5^\circ\text{C}$ muestran señales de inicio de la corrosión, indicios que se convierten en una fuerte corrosión si la temperatura es de 15°C , quedando la probeta totalmente destruida si la temperatura es de 30°C .

4.1.3.6 Cavitación

Fenómeno hidrodinámico que se presenta en fluidos en movimiento sometidos alta velocidad, cuando la presión del fluido se hace menor que su presión de vapor.

4.1.3.6.1 Mecanismo

Si la velocidad del fluido es alta, la presión es baja y puede llegar a ser menor que su presión de vaporización, entonces el fluido hierve, forma burbujas de vapor (estas burbujas tienen ciclos de vida de 0.003seg) que hacen implosión cuando el fluido toca aristas, bordes y filos de la estructura (zonas de alta presión).

Las ondas explosivas del fluido, pican y erosionan al concreto, formando: grietas y huecos que permitirán el ingreso de agentes agresores. Es un progresivo arrancamiento del hormigón.

La cavitación tiende a remover los agregados de mayor tamaño del concreto, los que van cediendo ante impactos de cerca de $60t/m^2$ y choques equivalentes a 10^4 atmósferas.

El desgaste superficial se produce en forma de picabilidades locales que se van uniendo en zonas más amplias.

4.1.3.6.2 Antecedentes Históricos

La cavitación ha sido estudiada desde 1.940 – 1.950. El ACI inició los estudios motivado por dificultades de funcionamiento en varios puentes de EE.UU.

La siguiente gráfica es experimental y obedece a una investigación en proceso sobre cavitación en puentes colombianos.

FIGURA 7. IMPLOSIÓN DE BURBUJAS CONTRA VELOCIDAD DEL AGUA.

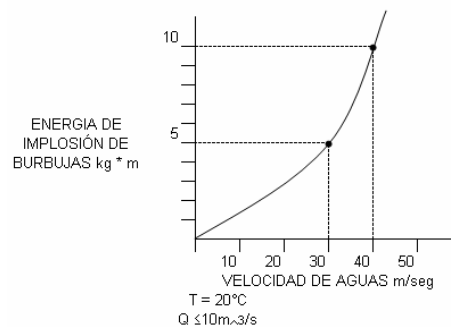
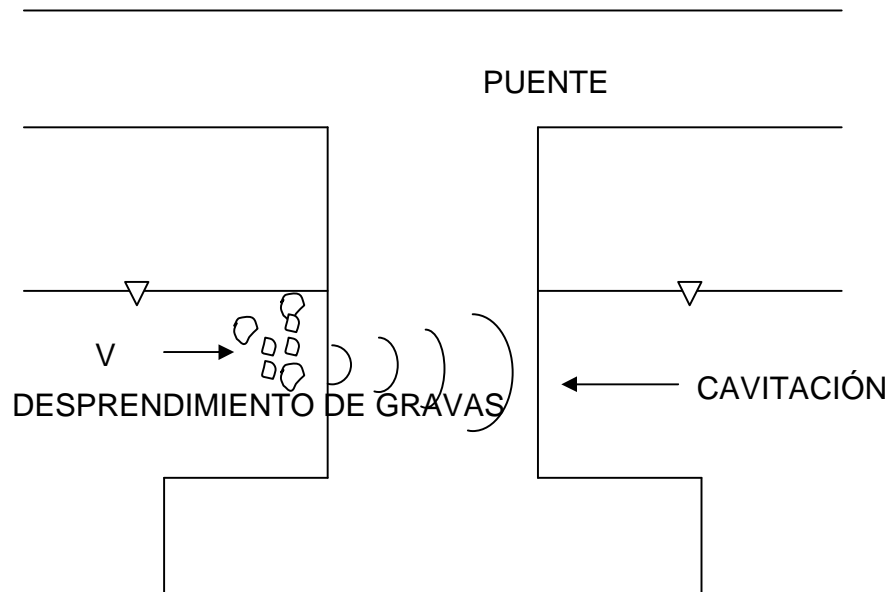


FIGURA 8. EFECTO DE CAVITACIÓN



La acción de la cavitación se manifiesta en presas, vertederos, túneles, estribos de puentes, estructuras hidráulicas etc.
La cavitación puede generar grandes daños.

NO EXISTE CONCRETO CAPAZ DE RESISTIR LA EROSIÓN PRODUCIDA POR LA CAVITACIÓN.

Expresión que gobierna el proceso de la cavitación.

V = velocidad del fluido

Ps = presión estática

Pd = presión dinámica

Pt = presión total

φ = densidad del fluido

$$P_t = P_s + \frac{1}{2} \varphi V^2 = P_s + P_d$$

El fenómeno de la cavitación es medioambiental, por tal razón lo tenemos en cuenta en nuestro estudio teórico. Pero estamos seguros que no tiene

manifestación en el problema que nos ocupa. (Edificios).

La principal recomendación es preventiva: uso de agregados gruesos $\leq 3/4$ " (pulgada). Le sigue en importancia, terminado de superficies lisas, uso de epóxicos y evitar en las pilas, estribos y elementos sumergidos los bordes/aristas vivos.

4.1.3.7 Lixiviación

La lixiviación es una forma de desarreglo químico corrosivo que ocurre cuando aguas puras o carbónicas, disuelven y erosionan por lavado continuo, las sustancias del cemento hidratado. La cal lavada forma concreciones superficiales, corrosión y daño.

4.1.3.7.1 Mecanismo

Se sabe que el cemento Pórtland al entrar en contacto con el agua (hidratación), genera portlandita $\text{Ca}(\text{OH})_2$ en cantidades cercanas al (25% - 30%) de su peso.

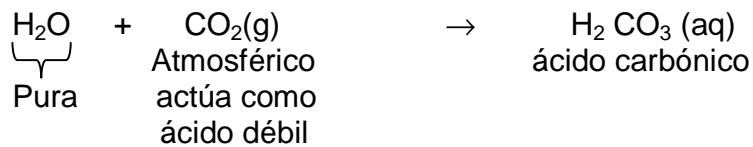
La portlandita es responsable de toda la alcalinidad del cemento, además es de relativa alta solubilidad.

La solubilidad aumenta en la medida que el agua (disolvente) sea más pura:

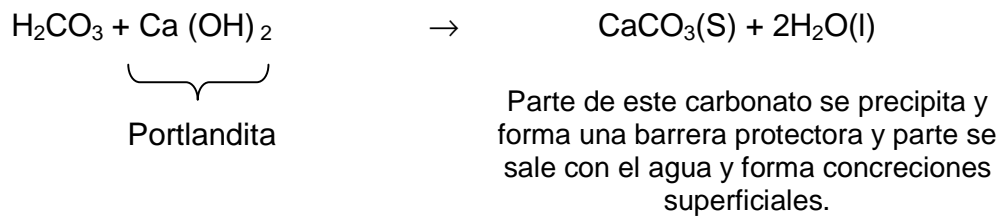
- Aguas de ríos, quebradas, riachuelos de montaña.
- Aguas de deshielo.
- Aguas de presas.
- Aguas con pocas o ninguna sal disuelta.
- Aguas que fluyen a través de rocas poco solubles como basaltos y granitos.
-

La acción de dichas aguas, hace que se disuelva el calcio y falle el sistema cohesionante del concreto, erosionando las piezas afectadas.

4.1.3.7.2 Explicación Química Del Fenómeno



En aguas puras el CO₂ se solubiliza más fácilmente



El grado de agresividad varía con las siguientes condiciones:

Se aumenta cuando:

- El agua está en movimiento.
- El nivel de agua varía frecuentemente.
- Existe una presión hidráulica.
- La temperatura del agua es > 45°C.
- Los elementos de hormigón son delgados.

Se disminuye cuando:

- El agua agresiva no se pone en contacto con el hormigón hasta pasados 28 días de la fabricación de este.
- El agua agresiva no se pone en contacto con el hormigón, sino pocas veces al año.
- El hormigón esta rodeado de terrenos cohesivos (baja permeabilidad).

SE GENERAN CONCRECIONES BLANQUESINAS O GRISÁCEAS DE CAL EN LA SUPERFICIE INDICADORAS DE PELIGRO.

No debe confundirse con el deslavado de cal que se produce por mal curado o por agua que penetra entre el encofrado y la pieza fundida antes del desencofrado, situaciones que son inofensivas.

4.1.3.7.3 Prevención: Solución Tratamiento Para La Lixiviación

- Los aditivos puzolánicos como el humo de sílice, ayudan a controlar el lavado de sustancias reduciendo la permeabilidad y convirtiendo el $\text{Ca}(\text{OH})_2$ soluble en hidróxido silicato de calcio (CSH): $\text{CaOSiO}_2(\text{OH})_2$, que es insoluble : $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{Aditivo} \rightarrow \text{CSH} + \text{H}_2\text{O}$
- Uso de aditivos reductores de agua.
- Uso de super plastificantes (aditivos)
- Uso de aditivos inclusores de aire.

4.1.3.8 Ciclos De Humedecimiento – Secado (H/S) Ciclos De Hielo – Deshielo (H/D)

La Cement Pórtland Asociation en EE.UU. realiza ensayos de corrosión acelerada

con probetas por encima de la PLEAMAR, con pilotes experimentales de hormigón, armado en CABO COD, en campos de experimentación (granjas de hormigón) en PERRY, con resultados medibles cada 7 y 14 años.

H/S

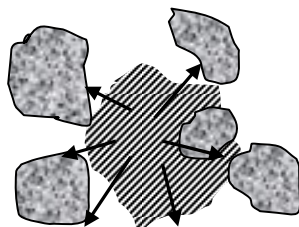
Los procesos de deterioro en el concreto requieren de varios agentes potenciadores entre ellos el más importante, la presencia de agua.

El estado de humedad del concreto es un factor decisivo en la vida del material; pero también incide en los fenómenos de deterioro, cuando genera ciclos de humedecimiento – secado (H/S).

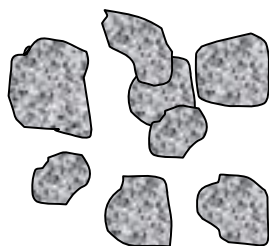
Estos ciclos de humedecimiento – secado propician los procesos de carbonatación y corrosión electroquímica tan graves y frecuentes en la vida del concreto, como que afectan su durabilidad y comportamiento.

Los ciclos H/S y H/D son críticos en el estado fresco del concreto (edades tempranas) por los cambios de volumen que generan, las retracciones – expansiones y la fisuración – agrietamiento que terminan colapsando la estructura.

FIGURA 9. EFECTO DE HUMEDECIMIENTO Y SECADO



AGUA QUE GENERA PRESIONES Y ESFUERZOS RESIDUALES INTERIORES DE TENSION (DE DENTRO HACIA FUERA)



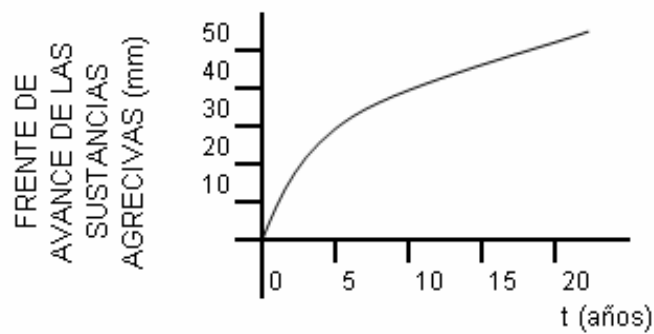
AUSENCIA DE AGUA QUE GENERA RETRACCIONES.

Para estructuras expuestas a la intemperie este fenómeno es inevitable mientras haya lluvias y sol.

Los mecanismos de transporte se potencian con los ciclos de H/S y se hacen responsables del incremento de las concentraciones de los agentes agresivos en las zonas cercanas a la superficie del concreto, debido a la evaporación del agua que contiene las sustancias agresivas disueltas.

Se ha observado por parte del ACI que el avance de los agresores del hormigón es exponencial en el tiempo.

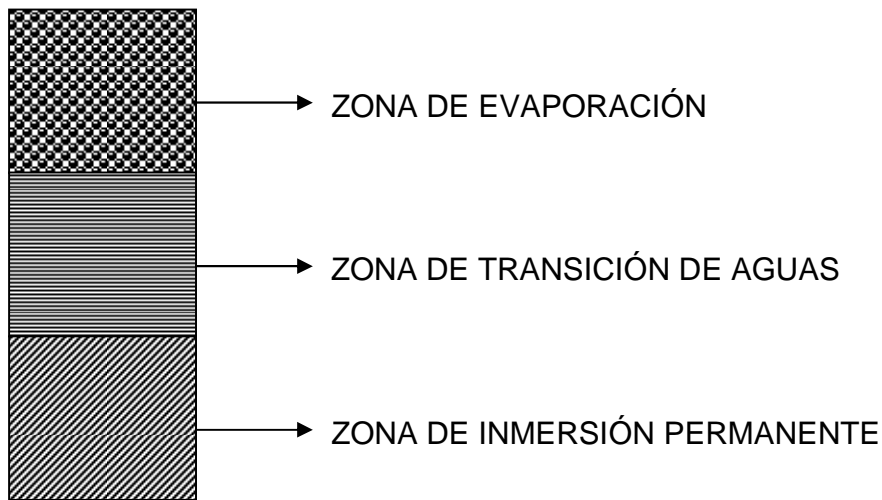
FIGURA 10. AVANCE AGRESIONES Vs. TIEMPO



FRENTE DE AVANCE : CARBONATACION
SALES – CLORUROS
CORROSIÓN ETC.

Las estructuras que permanecen en contacto con aguas dulces o saladas como pilotes, estribos de puentes, tablestacas de contención, espolones, presas, vertederos, estructuras de plantas de tratamiento, tanques de almacenamiento etc; presentan tres zonas de contacto bien definidas.

FIGURA 11. ZONAS DE MOJADO.



ZONA DE EVAPORACIÓN: Se caracteriza por la capilaridad y salpicado.

Está en contacto permanente con el CO₂ atmosférico.

Concentra y cristaliza sales de sodio , magnesio ,cloruros etc. Las cuales se se expanden y generan esfuerzos residuales de fractura.

La evaporación del agua es función de:

- Velocidad del aire.
- Porosidad del hormigón y acabado superficial.
- Propiedades químicas del agua corrosiva.
- Temperatura del medio.

- Distancia de la zona de humedad a la de evaporación.

ZONA DE TRANSICIÓN DE AGUAS (MAREAS): Es la zona crítica de gran Vulnerabilidad.

Presenta condiciones físicas y químicas:

El secado cristaliza sales en los poros.

El humedecimiento disuelve y deposita más sales en los poros.

Estos procesos generan además de los esfuerzos expansivos y reactivos, esfuerzos de fatiga.

La zona está sometida al ciclo erosivo de las aguas (mareas).

EROSIÓN + EXPANSIÓN = DESINTEGRACIÓN DE MATERIALES
(Mareas) (Sales)

CORROSIÓN EN LA ZONA DE CARRERA DE LAS MAREAS

ZONA DE INMERSIÓN PERMANENTE: se caracteriza porque todos sus procesos son químicos.

H/D

Los ciclos de hielo/deshielo constituyen el factor medioambiental más destructivo a que se somete una estructura de concreto.

El agua congelada aumenta su volumen en un 9%, induciendo esfuerzos de tracción dentro de la estructura, que superan la resistencia del concreto a la tensión.

Ej. Un concreto con $f_c' = 245 \text{ kg/cm}^2 = 3500 \text{ PSI}$, (resistencia a la compresión)

Posee una $f_t = 1/10 f_c'$ (resistencia a la tensión) = 24.5 kg/cm^2
= 350 PSI

Los esfuerzos expansivos por congelamiento, alcanzan valores (15 – 50MPa) = (150 – 500) kg/cm^2 que superan en mucho los valores resistentes.

LA TEMPERATURA DE 0°C SUSPENDE TODAS LAS ACTIVIDADES Y REACCIONES DE FRAGUADO DENTRO DEL CONCRETO.

El uso de sales descongelantes, producen daños químicos pero principalmente físicos; al disiparse el calor de disolución de las sales: cloruro de sodio y cloruro de calcio se produce un enfriamiento que genera esfuerzos internos.

4.1.3.9 Prevención – Solución – Tratamiento

El código colombiano NSR – 98, establece como requisitos para evitar las acciones del H/S, usar:

- $A/C = (0.40 - 0.50)$
- $F_c' = (240 - 350\text{kg/cm}^2)$, como valores mínimos.
- Inclusiones de aire en cementos o con aditivos. Las esferas de aire con diámetro = 1.0 mm proporcionan el espacio interior para la expansión producida por el hielo y absorben los cambios de volumen.
- Según el grado de exposición a H/D recomienda:

Para agregados con T.M.N. (tamaño máximo nominal) entre (3/8" – 3").

Y según exposición: LIGERA: % aire (4.5 – 1.5)
MODERADA: % AIRE (6.5 – 3.5)
SEVERA: % AIRE (7.5 – 4.5) } EN EL CONCRETO

- Uso de relaciones A/C BAJAS
- Hormigones con aire incluido
- Hormigones bien compactados
- Hormigones ricos ($>300\text{kg/m}^3$)

4.2 SUSTANCIAS CONTAMINANTES QUE LE LLEGAN A LA ESTRUCTURA DESDE EL EXTERIOR (REACCIONES) (CONDICIONES NATURALES, NO INDUSTRIALES)

El medioambiente natural ejerce un permanente y creciente aporte de sustancias agresivas a las construcciones de las grandes ciudades, en la medida que la tropósfera y sus agentes naturales se van contaminando (agua, aire, suelo).

El deterioro final se produce por la sumatoria de un conjunto de agresiones, cada vez más grande que termina haciendo difícil el diagnóstico de los daños.

GASES ATMOSFÉRICOS QUE PRODUCEN: { CARBONATACIÓN
CORROSIÓN
ATAQUES ÁCIDOS

AGUAS QUE TRANSPORTAN: SALES, CLORUROS, SULFATOS
PRODUCEN: { LIXIVIACIÓN
CORROSIÓN
DESAGREGACIÓN

MICROORGANISMOS CUYA FORMACIÓN DE BIOCAPAS ORIGINAN:

EROSIÓN

BIODEGRADACIÓN

DESCASCARAMIENTOS (PÉRDIDAS DE MASA)

4.2.1 ATAQUE DE IONES (Mg^{++} , Cl^{-} , SO_4^{-} , NITRATOS, NITRITOS) Y SALES

Estos agresores invaden por decir lo menos los materiales porosos: CONCRETO, MORTERO, LADRILLOS, PIEDRA.

Cuando se trata de sales que atacan al concreto y sus derivados son principalmente sales disueltas: sulfatos y cloruros provenientes de fuentes diversas:

AGUA: Pantanos, lagos, lixiviación de abonos minerales y materias fecales, aguas selenitosas, subterráneas etc.

AIRE: Descomposición aeróbica de las plantas: sulfatos de Calcio, sodio y potasio.

SUELOS / SUBSUELOS: Abonos, depósitos de carbono, diferentes tipos de cultivos.

ADITIVOS DEL CONCRETO: Acelerantes y retardantes de fraguado a base de CaSO_4 , KSO_4 , NaCl_2 , CaCl_2 .

4.2.1.1 Antecedentes

La química moderna permitió una mejor interpretación de la acción destructiva de los iones en el concreto. Los estudios de A. STEOPOE (1.935) y W.W. KIND (1.955) permitieron conocer mejor la acción de las sales sobre el hormigón.

La Cement Portland Association realiza en EE.UU. ensayos de ataque acelerado de sulfatos en probetas de hormigón sumergidas en sulfatos de sodio que son observadas por largos periodos de años.

El efecto destructivo de las sales en la integridad del hormigón y en la corrosión del acero de refuerzo, fue observado inicialmente por JOHN SMEATON, uno de los precursores del cemento Portland, en la construcción del faro de EDYSTONE – Inglaterra, a los pocos años de su construcción (1.760), se empezaron a observar daños y corrosiones por acción del agua de mar.

Las construcciones costeras de Inglaterra y Estados Unidos sirvieron de laboratorio natural, y llegó a ser tan significativo el daño por acción de las sales que se cuestionó al nuevo material.

Había necesidad de entenderlo mejor.

La A.S.T.M. a partir de 1.904 empezó a investigar las variables que influyen en el comportamiento estructural y de durabilidad en el concreto.

Muchas de estas variables están aún discutiéndose a nivel investigativo.

Hoy se conoce que bacterias aerobias (TIOBACTERIAS) del género BEGGIATOA y THIOTRIX convierten la materia orgánica en sulfatos a partir de ácido sulfhídrico. Sales de : Ca, Na, K, Mg, Fe, S, son muy frecuentes porque sus componentes están dentro de los elementos más abundantes de la naturaleza:

OXIGENO (1°), HIERRO (4°), SODIO (5°), CALCIO (6°), POTASIO (7°), MAGNESIO (8°), AZUFRE (14°).

El sodio (Na) se halla principalmente como Na^+ en depósitos de sal (NaCl) y aguas saladas. Reacciona rápidamente con agua y oxígeno atmosférico lo cual significa que siempre se encuentra combinado.

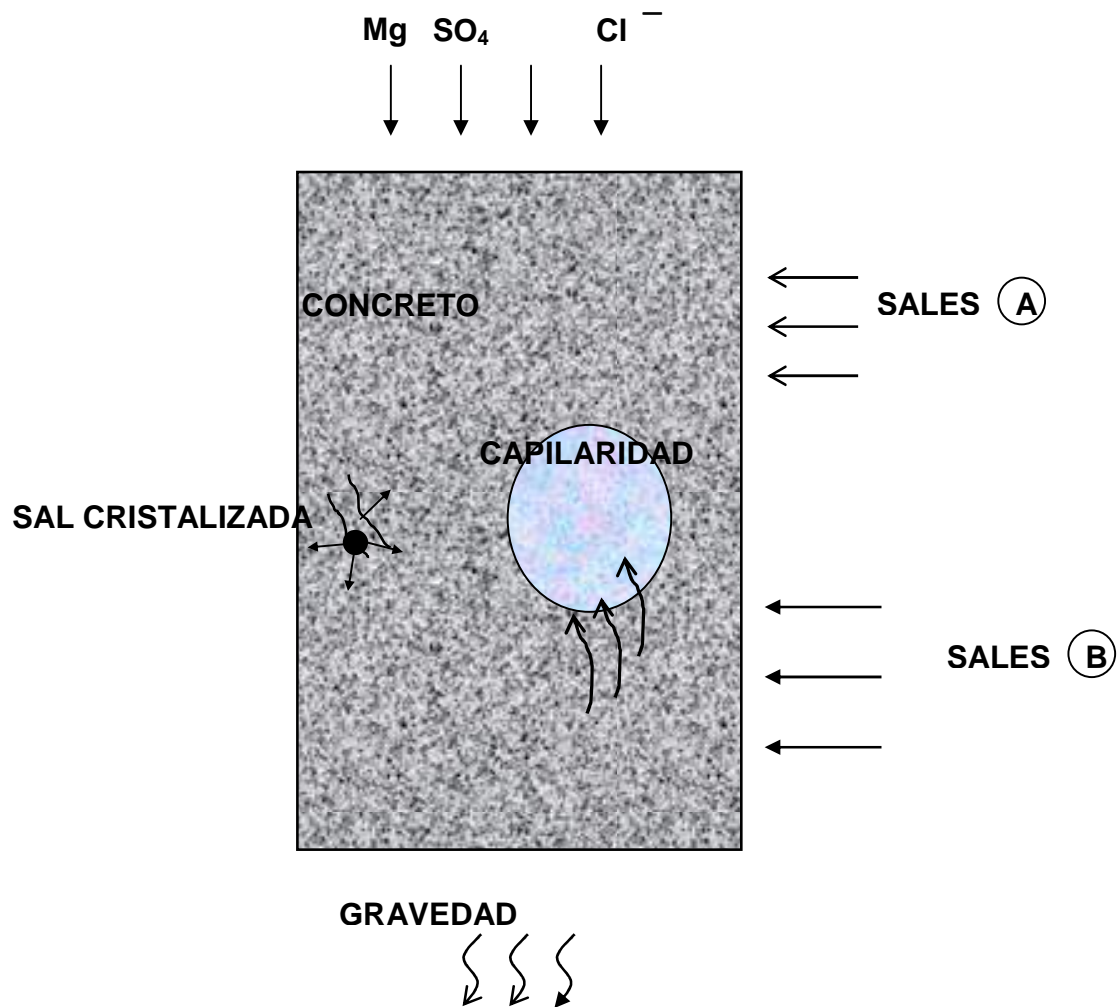
El magnesio (Mg): poco soluble se encuentra en estado combinado. Se halla como MgCO_3 en depósitos de cal , se halla también como Mg^{+2} .

El azufre (S) se presenta en estado asociado en forma de iones SO_4^{-2} sulfato, S^{-2} sulfuroso, SO_3 sulfito, en forma de yeso, en forma de sales de Mg, en forma de PbS galena, Fe S_2 pirita y ZnS blenda.

El Lewis Institute determina que las aguas con concentraciones de sulfatos >250mg/l. son perjudiciales para el hormigón.

4.2.1.2 Mecanismos De Acción De Las Sales Y Los Iones

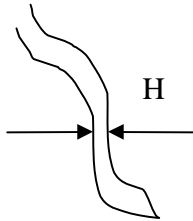
FIGURA 12. ZONAS DE PENETRACIÓN DE SALES.



En la situación A las sales se quedan en la superficie del concreto, en contacto con la atmósfera. De ahí se evaporan formando afloramientos blancos.

En esta situación las sales no son tan peligrosas desde el punto de vista estructural, aunque se deterioran las superficies y los acabados.

FIGURA 13. ILUSTRACIÓN DE AFLORAMIENTO.



AFLORACIONES: H (espesores) = (1.0" – 1.5")
blancas, que pueden llegar a desintegrar el concreto superficial con la acción conjunta del viento.

En la situación B las sales penetran algunos centímetros, en solución acuosa y se ubican en las porosidades y discontinuidades del material.

Con el incremento de la temperatura esta solución salina se evapora y la sal correspondiente se cristaliza. Las sales cristalizadas se expanden y ejercen esfuerzos residuales de tracción, produciendo fisuras, grietas, fracturas y debilitamiento del conjunto.

Las sales producen los siguientes efectos destructivos:

- En el concreto reforzado, su absorción establece áreas anódicas y catódicas con agua como electrolito, acción que conduce a la corrosión del acero de refuerzo y a delaminaciones propias (ver 5.2).
- En la matriz de concreto generan:
Degradaciones, pulverizaciones, excamaciones, desagregaciones, eflorescencias, descascaramientos.

LA ACCIÓN MÁS DESTRUCTIVA DE LAS SALES SOBRE EL CONCRETO ES SU EXPANSIVIDAD AL CRISTALIZARSE EN LOS POROS DEL MATERIAL.

4.2.1.3 explicación química de la acción de iones y sales sobre el concreto

4.2.1.3.1 Ion magnesio:

En las aguas subterráneas el Ion magnesio aparece principalmente como:

MgSO₄, MgCl₂, Mg(HCO₃)₂ (bicarbonato magnésico) procedentes de MgCO₃ (dolomita).

Según el instituto Húngaro de geodesia e investigación de suelos, los contenidos de magnesio deben ser los siguientes:

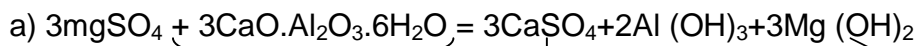
AGUAS DE MAR: (1.0 – 2.0) mg/l

AGUAS SUPERFICIALES: (15 – 25)mg/l

AGUAS SUBTERRÁNEAS: <300mg/L

ZONAS DE MONTAÑAS DOLOMÍTICA ≤700mg/L

La reacción que tiene lugar sobre el cemento según W.W. KIND es:



Componente del clinker, que se destruye.

Yeso adicional al que ya posee el cemento. Genera expansiones al cristalizarse.

No posee poder aglomerante acción debilitadora de la resistencia aunque genera acción impermeabilizadora.

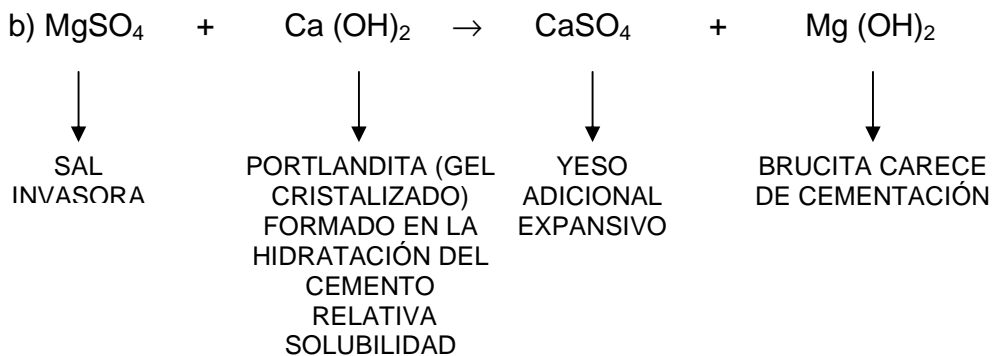
El ion magnesio es especialmente peligroso en presencia del Ion sulfato.

Según: IMRE BICZOK:

TABLA 4. AGRESIÓN DEL MgSO₄

CONCENTRACIÓN DE MgSO₄ %	%REMENENTE DE RESISTENCIA EN EL HORMIGON
0	100
0.25	80
0.5	66
1.0	62
2.0	60
3.0	56
4.0	54

En presencia de portlandita – acción debilitadora

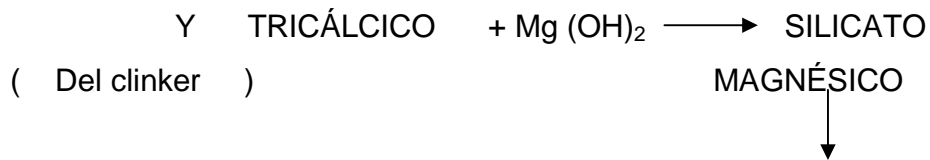


El Mg (OH)₂ es insoluble en H₂O y es expansivo. Puede acumularse en los poros de hormigón y en su superficie, formando una película protectora que puede ser fácilmente destruida por aguas en movimiento.

De otro modo el CaSO₄ (yeso) adicional formado presenta varias características: es muy soluble, sus cristales son expansivos, genera ablandamientos de la matriz cementicia y contribuye a la formación de estregita adicional. En términos generales debilita la resistencia del cemento.

En presencia de silicatos:

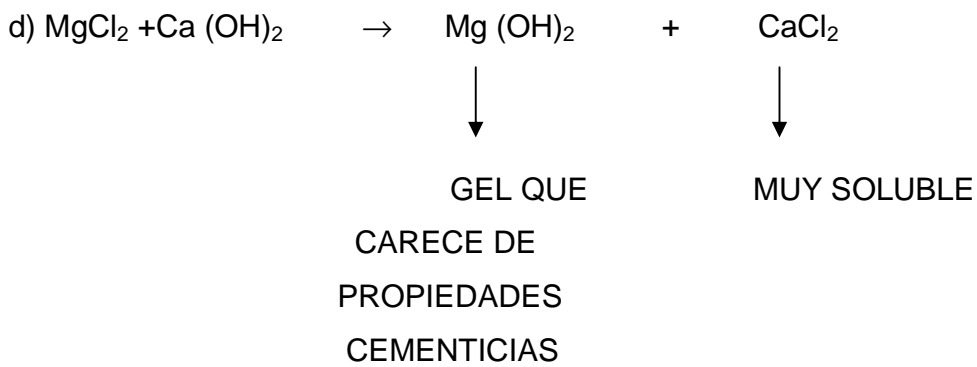
c) SILICATOS BICÁLCICO



GELATINA INSOLUBLE EN
H₂O QUE DEBILITA LA
COHESIÓN.

En presencia de cloro:

DEBILITAMIENTO DE LAS
RESISTENCIAS MECÁNICAS



4.2.1.3.2 Acción Agresiva Del Ion Cloro

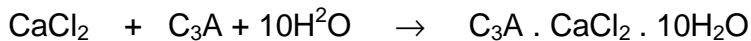
La lixiviación de abonos minerales y de materias fecales pueden generar aguas con contenidos de cloro: (700-1.000) mg/l.

Se presentan también por contacto con el agua de mar, con la brisa marina y por contacto con la sal común.

El agua de mar presenta concentraciones del orden de 200000ppm.

Según W.W.KIND e IMRE BICKZOK, el ion cloro genera varias situaciones:

- Aumenta la solubilidad del sulfoaluminato de calcio o etringita.
- Disminuye la concentración de $\text{Ca}(\text{OH})_2$
- Propicia la formación del cloroaluminato de calcio.

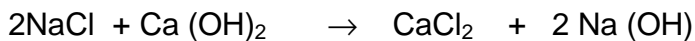


ALUMINATO
TRICÁLCICO
DEL
CLINKER

CLOROALUMINATO DE CALCIO

El cloroaluminato de calcio, es un sólido que atrapa los iones Cloro⁻ libres eliminando su agresividad y haciendo menos dañino la agresión, pero a su vez introduciendo un material extraño, sin propiedades CEMENTICIAS.

En presencia de sal común, NaCl, cuyo contenido tolera el ACl en concentraciones de hasta 20.000 ppm en cemento secos y sin corrosión:



Álcali muy fuerte
y desintegrador de carbonatos

(4.1.2.1.4)

El Na (OH) produce la desdolorización de los carbonatos (de los agregados) es un factor desintegrador del concreto.

LOS MATERIALES CLORADOS POR LO GENERAL OXIDAN LAS ARMADURAS EMBEBIDAS EN CONCRETO LO CUAL PRODUCE EL AGRIETAMIENTO DEL REVESTIMIENTO.

4.2.1.3.3 La Acción Agresiva Del Ion Sulfato

La mayor parte de los procesos de destrucción, causado por formación de sales, son debido a la acción agresiva de los sulfatos.

Se presenta tanta atención al ataque de sulfatos que ha llegado a ser sinónimo de “ataque químico” .

Los sulfatos son sales del ANIÓN – SULFATO SO_4^{-2}

Los sulfatos perjudiciales para el hormigón se encuentran preferentemente en: terrenos arcillosos y en capas freáticas.

De estas sales las más importantes son:

En aguas selenitosas ----- $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, las aguas selenitosas generan una acción tan intensa que destruye los hormigones más fuertes, transformándolos en masas pastosas. Esto fue estudiado por LECHATELIER, CANDLOT, DEVAL y otros pioneros.

En aguas con sal GLAUBER ----- Na_2SO_4 y K_2SO_4

En aguas con sal amarga----- $MgSO_4$

En aguas industriales----- $Al_2(SO_4)_3$, $FeSO_4$
 $Fe_2(SO_4)_3$

LOS SULFATOS MÁS PELIGROSOS PARA EL CEMENTO PORTLAND SON: AMÓNICO, CÁLCICO, MAGNESÍCO Y SÓDICO. LOS MENOS PELIGROSOS SON: CÚPRICO, PÓTASICO, ALUMÍNICO.

LA CAUSA MÁS IMPORTANTE DE LA NOCIVIDAD DE LOS SULFATOS ES EL YESO QUE SE FORMA AL REACCIONAR EL ANION SULFATO CON EL Ca(OH)_2 LIBERADO POR EL CEMENTO.

4.2.1.3.4 Niveles De Exposición A Sulfatos Provenientes De Aguas Freáticas Y Suelos

REQUISITOS PARA EL CONCRETO EXPUESTO A SOLUCIONES QUE CONTIENEN SULFATOS. FUENTE: CODIGO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIONES SISMO/RESISTENTES (CCCSR NCR – 98)

TABLA 5. NORMAS DEL CCCSR Y NCSR 98 SOBRE SULFATOS.

TIPO DE EXPOSICIÓN A SULFATOS	SUELOS CON AGUAS SULFATADAS % PESO	CONTENIDOS DE SULFATOS EN AGUAS FREATICAS (P.P.M.)	TIPO DE CEMENTO RECOMENDADO	A/C
INSIGNIFICANTE	0.00 – 0.10	0 – 150	CUALQUIERA	-
MODERADA	0.10 – 0.20	150 – 1500	II	0.5
SEVERA	0.20 – 2.0	1500 – 10000	V	0.45
MUY SEVERA	>2.0	>10000	V CON PUZO LANAS	0.45

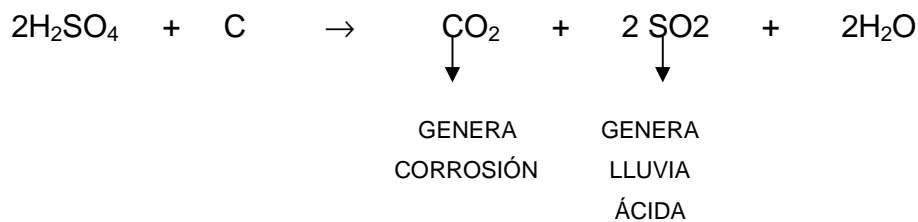
El nivel de ataque por sulfatos que pueden soportar los agregados gruesos está reglamentado por la norma ICONTEC No. 126 y la determinación de las impurezas orgánicas de una arena por la norma ICONTEC No. 127.

Según estudios de ingeniería Ambiental, la presencia de sulfatos $\geq 300\text{mg/l}$. en aguas negras, afecta al hormigón de las PTAR(es), en tiempos realmente cortos (5 – 7) años. Al igual que acelera la oxidación del acero de refuerzo.

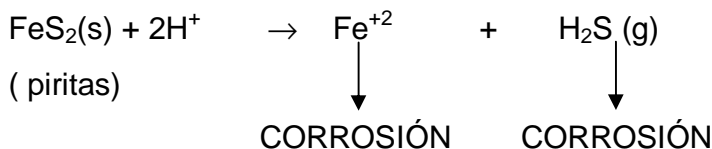
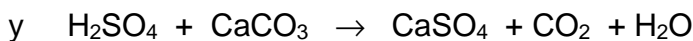
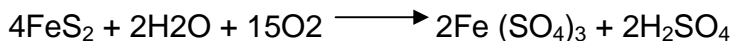
(Según el doctor Jairo Romero – Escuela Colombiana de ingeniería).

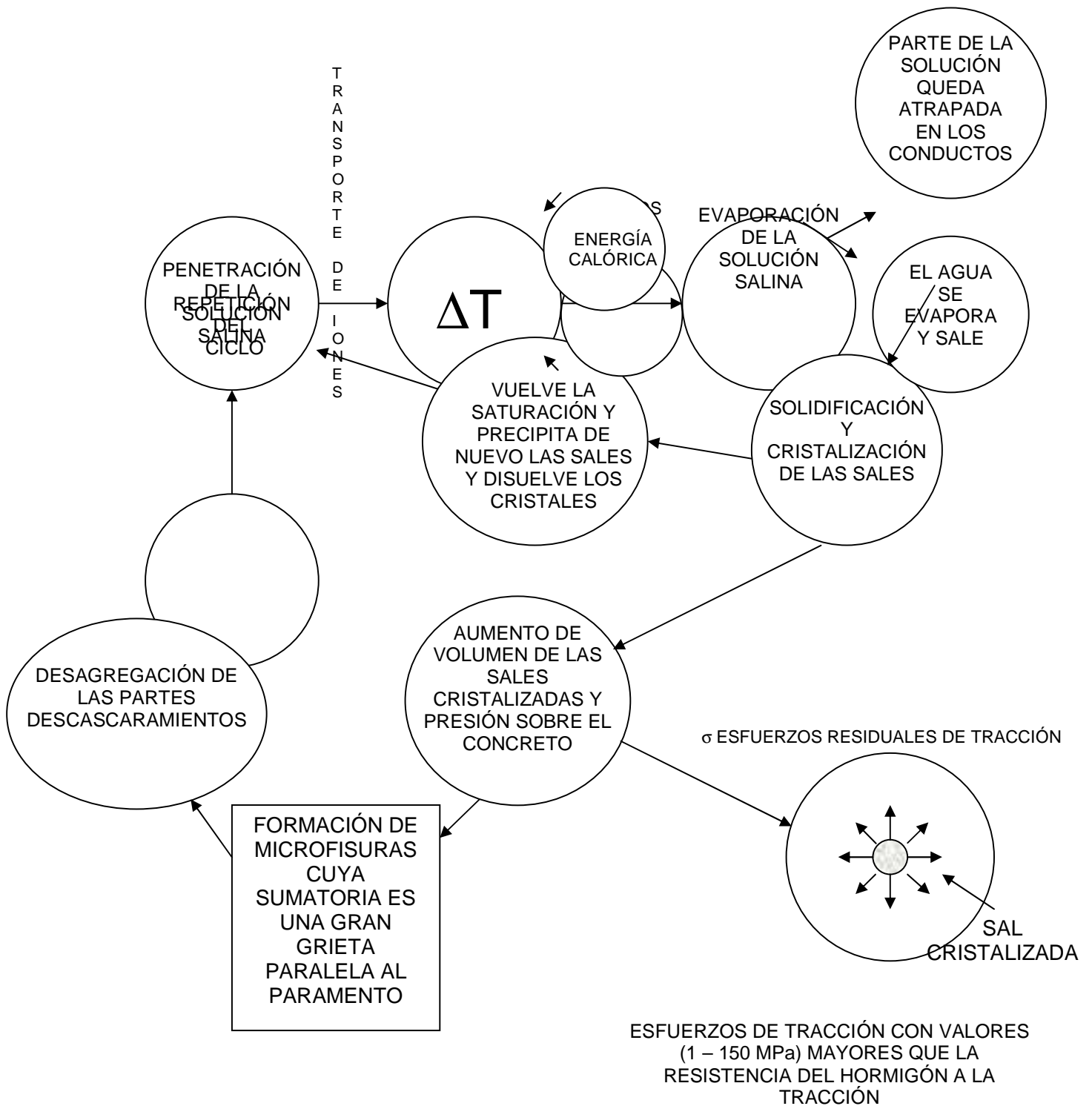
4.2.1.4 Otros Comportamientos Del Azufre Y Sus Compuestos

- $S + H_2 \rightarrow H_2S$ (ácido sulfhídrico), proviene de emisiones naturales , de origen antrópico y provoca corrosión.
- $S(s) + O_2 (g) \rightarrow SO_2 (g)$: (DIÓXIDO DE AZUFRE): Provoca lluvia ácida que ejerce acción corrosiva. Viene de origen antropogénico, por combustiones. El SO_2 produce un efecto más acusado que los iones cloro en la velocidad de corrosión del acero. Provoca lluvia ácida.
- $SO_2 + H_2O \longrightarrow H_2SO_3$: (ácido sulfuroso). Provoca acción corrosiva.
- $2SO_2 (g) + O_2 (g) \rightarrow 2SO_3 (g)$: (trióxido de S). Provoca acción corrosiva, lluvia ácida.
- $SO_3 (g) + H_2O (g) \Leftrightarrow H_2SO_4 (l)$ (ácido sulfúrico): Provoca acción corrosiva.



Como en los suelos arcillosos es frecuente la existencia de yesos ($CaSO_4$), piritas (FeS_2) y limonitas (Fe_2O_3), existirá formación natural de SULFATOS:





4.2.1.8 Prevención Tratamiento, Solución Al Ataque Ambiental De Las Sales

- El concreto responde a la agresión de los sulfatos según el contenido de AC_3 del cemento usado:
 - Si $AC_3 \geq 7\%$ resistencia débil
 - Si $AC_3 = (5-7\%)$ resistencia moderada
 - Si $AC_3 < 5\%$ altamente resistente
- Uso de concretos y productos de cemento con baja porosidad
- Uso de cementos: Tipo II . Moderada resistencia a los sulfatos y bajo calor
- de hidratación y Tipo V . Alta resistencia a los sulfatos.
- Uso de concretos con baja relación A/C
- Evitar el uso de aguas duras y selenitosas.
- Uso de concretos con aire incluido.
- Uso de concretos con alto peso unitario.
- Concretos con sellos superficiales epóxicos.
- Concretos con buen curado y buena cicatrización.
- Protección superficial del secado prematuro.
- Uso de cementos de escoria o puzolánicos.

Si los elementos estructurales ya están atacados por soluciones salinas, se pueden usar varios tratamientos:

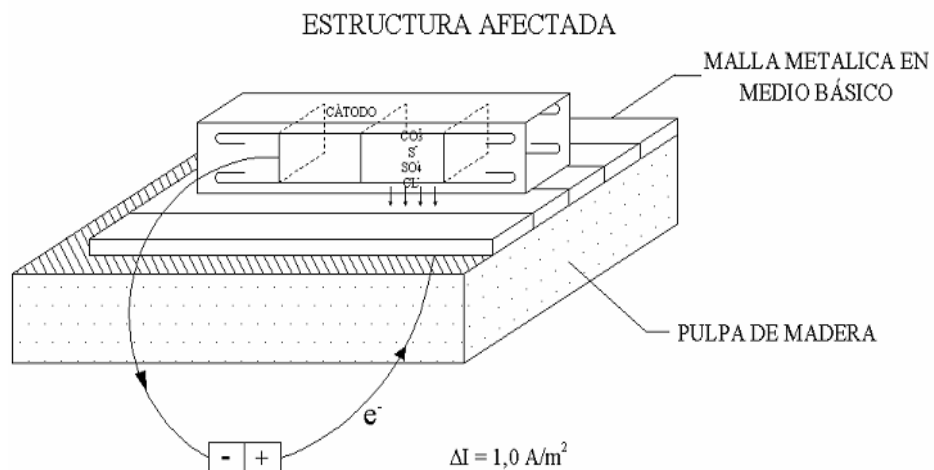
- a) Método de difusión: es un proceso sencillo que consiste en colocar sobre la pieza afectada compresas de papel humedecido con agua destilada (agua pura, carente de sales); al crearse este gradiente de concentración se

- b) provoca , migración de sales; de la zona de mayor concentración de sales hacia la zona de menor concentración.
Se empapan los papeles compres, las cuales se van cambiando. El proceso se repite unas 6 veces , es muy efectivo en piezas estructurales con espesores ≤ 15.0 cms.

Lo ideal sería la total imbibición del elemento en agua destilada.

- c) Método de ionización de la solución salina: o método de la oxidación reducción o método de protección catódica.

FIGURA 15. EXTRACCIÓN IÓNICA DE SALES



Un cemento puzolánico protege su medio del ataque de los sulfatos así:

Los sulfatos atacan al $Ca(OH)_2$ (portlandita), pero las puzolanas reaccionan con el $Ca(OH)_2$ formando productos insolubles y permitiendo que menos cantidad de $Ca(OH)_2$ quede expuesta (ver 4.1.2.3)

El ACI establece para los agregados del concreto una normatividad que debe cumplirse:

- a) Compuestos totales de S, expresado en SO_3^- en arenas y gravas $\leq 1\%$ en peso.

- b) SULFATOS solubles, en ácidos, expresados en SO_3^- en arenas y gravas $\leq 0.8\%$ en peso.

4.2.2 Gases Atmosféricos (O_2 , CO_2 , SO_x , NO_x , Vapor De Agua).

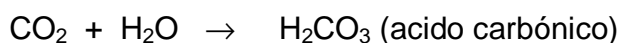
TABLA 6. GASES ATMOSFÉRICOS.

COMPOSICIÓN ATMOSFÉRICA

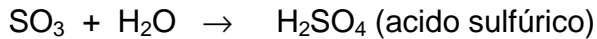
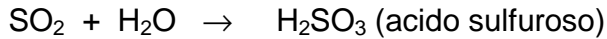
GAS CONSTANTE	VOLUMEN (%)	GAS VARIABLE	VOLUMEN (%)
NITROGENO	78.08	CO_2	0.034
OXIGENO	20.95	CO	0.01
ARGON	0.93	OZONO	0.001
NEON	0.0018	SO_2	0.0001
HELIO	0.00052	NO_2	0.00002
METANO	0.00015	VAPOR DE AGUA	(0 – 4%)
KRIPTON	0.00011	OZONO TROPÓSFERICO*	
HIDROGENO	0.00005		
XENON	0.000008		

Los gases atmosféricos son producidos por la combustión del carbón, del petróleo, por procesos industriales y por otras fuentes.

En presencia del agua atmosférica forman:



-
- El ozono Troposférico es el oxidante conocido más altamente perjudicial para los materiales.
Su producción es muy baja y no es tenida en cuenta en este trabajo.



4.2.2.1 Carbonatación

Es un fenómeno natural, que puede producir efectos muy graves en el concreto reforzado.

Es un fenómeno lento (la total carbonatación de una estructura puede demorar 30.000 años), costoso de reparar cuando se manifiesta. Hace que con el tiempo el cemento se convierta en piedra caliza lo cual permitiría obtener un material de altísima resistencia.

La carbonatación es la acción química del CO_2 atmosférico sobre los compuestos de calcio, producidos en la hidratación del cemento como también sobre sus compuestos alcalinos (Na, K).

Dicho de otro modo la carbonatación es la neutralización de la naturaleza alcalina, protectora de la pasta de cemento con lo cual los agentes agresores (H_2O , O_2) entran más fácilmente a la matriz del hormigón y pueden corroer el acero del refuerzo.

Los concretos porosos no solo son susceptibles de carbonatarse sin dificultad sino que lo harán a mayor velocidad.

Concretos y morteros de toda modalidad y materiales porosos en general sufren esta agresión del medioambiente; que si bien es inevitable sí se puede atenuar y aminorar sus efectos.

4.2.2.1.1 Antecedentes

El fenómeno fue estudiado inicialmente en 1.890, por L'ÉCHATELIER, ABRAMS, SCHUMAN, MANN, pioneros en la fabricación del cemento.

Posteriormente las universidades Americanas e instituciones como: ASTM, Cement Portland Association etc. hicieron de este tema el más estudiado, junto con la reacción álcali agregado.

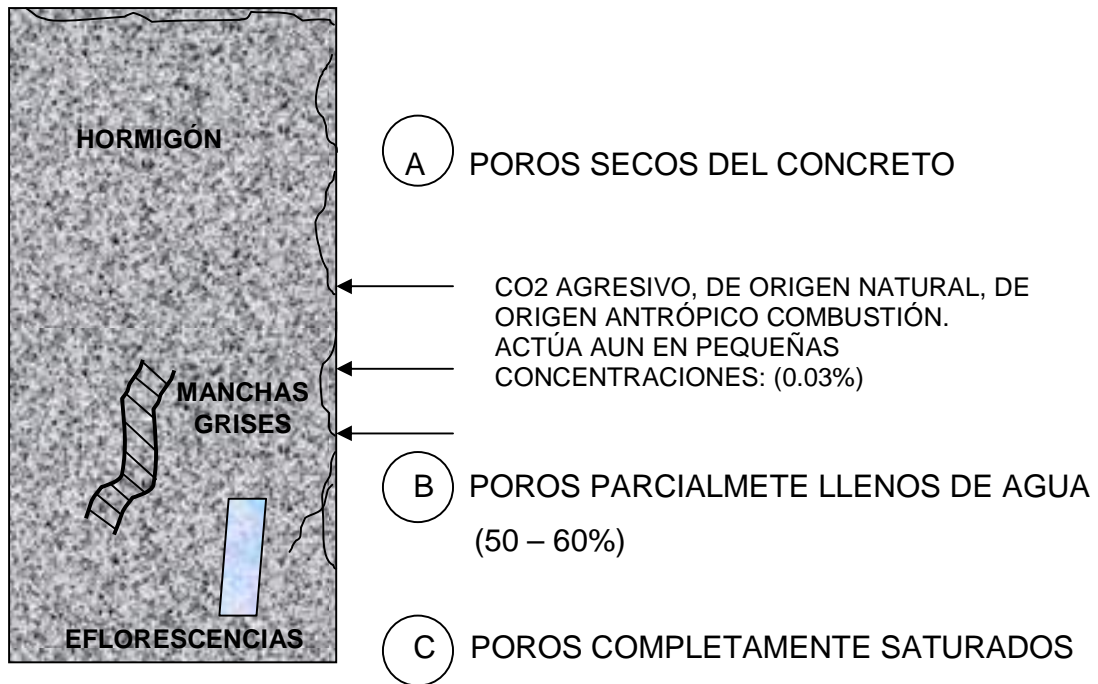
Investigadores alemanes como: H.J.KLEINSCHMIDT (1.960 – 1.980), efectuaron grandes ensayos sobre el desarrollo de la carbonatación en las construcciones.

KAUER, J.A y FREEMAN, R.L (1.950 – 1.960) midieron el efecto del dióxido de carbono sobre el hormigón fresco.

Infinidad de investigadores en muchos países han estudiado el proceso de carbonatación, han determinado pros – contras del fenómeno y hoy podemos decir que es un tema ABSOLUTAMENTE CONOCIDO.

4.2.2.1.2 Explicación Química Y Física Del Mecanismo De La Carbonatación

FIGURA 16. MECÁNISMO DE LA CARBONATACIÓN



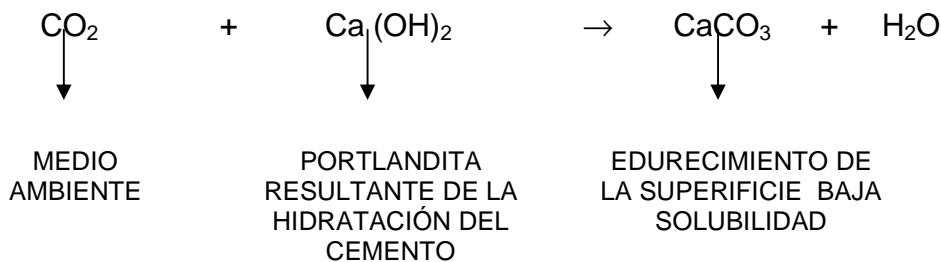
A. Si los poros del cemento están secos y no hay agua en ninguna forma; en este ambiente el CO₂ no puede reaccionar en los compuestos hidratados del cemento y no hay carbonatación.

B. Si los poros están parcialmente llenos de agua, por ciclos de humedecimiento y secado (saturación – desecación), es este el ambiente apropiado para la carbonatación y es aquí donde la agresión es crítica.

Existe un valor crítico de humedad relativa que depende de varios factores para los cuales se origina la máxima carbonatación. Se deben tener en cuenta los siguientes hechos comprobados por la química:

- Los productos obtenidos por la hidratación del cemento hacen que la mezcla posea una naturaleza totalmente básica $\text{pH} = (12 - 13)$ la cual protege al acero de refuerzo con una capa de óxido pasivo a su alrededor (llamada capa pasivadora), que se mantendrá mientras el pH no disminuya, pero si este alcanza valores ≤ 9.5 la capa pasivante se destruye y el acero se corroerá.
- Aguas con concentraciones de $\text{CO}_2 \geq 20\text{p.p.m}$, conducen a carbonatación, su comportamiento químico es el siguiente:

En términos generales:

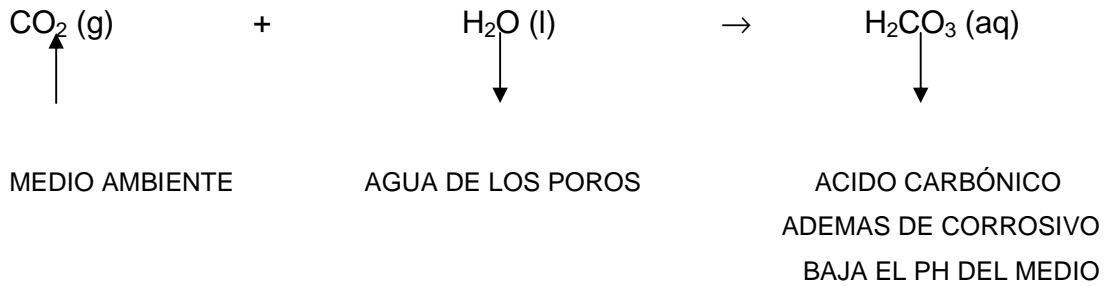


El carbonato de calcio se va formando inicialmente a gran velocidad pero a medida que el proceso avanza va disminuyendo su velocidad debido a la acción impermeabilizante del CaCO_3 formado que impide la entrada de CO_2 .

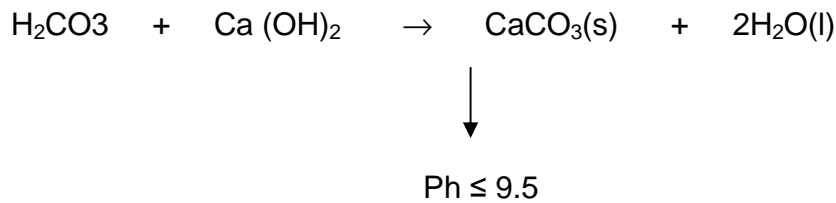
- Este CaCO_3 posee un $\text{pH} \leq 9.5$ con lo cual la capa pasivadora tendrá problemas y si la armadura esta próxima a la superficie, la carbonatación cobra su precio, porque entran el H_2O y el O_2 y corroen el acero.

LA CARBONATACIÓN TIENE IMPORTANCIA EN LOS PUNTOS EN QUE LA ARMADURA ESTA CERCA DE LA SUPERFICIE

Hasta aquí (aparte de la posible corrosión del acero) todo sería aceptable, máxime cuando la superficie del concreto se ha endurecido. Pero ocurre que las verdaderas reacciones químicas secuenciales que se suceden son las siguientes:

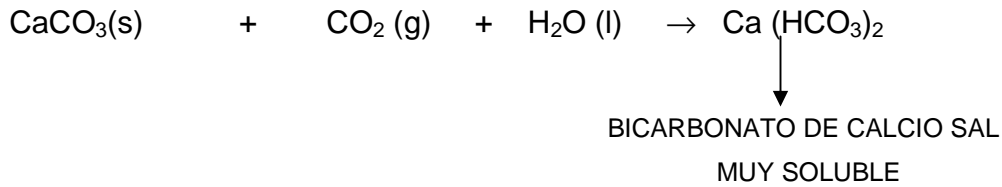


- Este ácido carbónico encuentra en su camino Ca (OH)_2 o portlandita, responsable de todas las propiedades cementicias y resistentes del cemento con $\text{ph} = (12 - 13)$.



- Una mezcla de cemento bien hidratada contiene (15% - 30%) de Ca (OH)_2 por peso de cemento; los excesos se depositan en los poros constituyendo una gran reserva alcalina y se va redisolviendo con el tiempo.
- Si el ácido carbónico presente, es gaseoso, $\text{H}_2\text{CO}_3 \text{ (g)}$ se hace extremadamente perjudicial para hormigones aún no fraguados.
- Si el concreto es fresco (< 24 horas), el CO_2 forma una capa blanda y gredosa, fácilmente desmenuzable no solo por su acción sobre Ca (OH)_2 , sino porque el ácido carbónico gaseoso descompone los silicatos y aluminatos del clinker, en un período en que el cemento aún se halla en estado de gel.

La impermeabilización de la superficie con el CaCO_3 es pasajera por que el CO_2 sigue entrando:



Se forma bicarbonato de calcio, que por su alta solubilidad, lava, lixivia el concreto y se sale del mismo, haciéndole perder volumen, E (módulo de elasticidad) y resistencia.

LA CARBONATACIÓN DEL CONCRETO ES MÁS DESCARBONATACIÓN QUE CARBONATACIÓN.

El poco bicarbonato que no alcanza a salir, se cristaliza y se hace expansivo generando retracciones y grietas.

Según H.J. KLEINSCHMIT (1.965) no es posible establecer una relación directa entre la carbonatación del hormigón y la corrosión de las armaduras pues la carbonatación no tiene como consecuencia obligada las oxidaciones del acero, lo cual precisa la coexistencia de otras condiciones como entrada de agua y de O₂.

EN UN HORMIGÓN DE BUENA CALIDAD BIEN COMPACTADO Y CURADO, LA CARBONATACIÓN NO PENETRA MUY PROFUNDAMENTE.

C. POROS COMPLETAMENTE SATURADOS DE AGUA

En este ambiente la penetración del CO₂ es muy lenta por la baja solubilidad del CO₂ en agua.

Sin negar que puedan existir aguas muy cargadas de CO₂ disuelto.

Se pueden presentar las mismas situaciones del apartado B. aunque mas atenuadas.

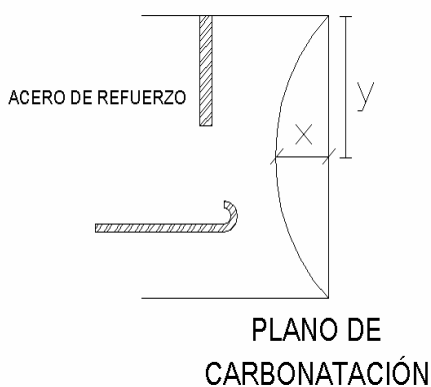
Las anteriores reacciones químicas indican:

- Más que carbonatación es descarbonatación

- El $\text{Ca}(\text{OH})_2$, base de la hidratación del cemento se sale (por transporte) a falta de hermeticidad del concreto.
 - Si la carbonatación baja el pH del medio la capa pasiva es decir no corroída del acero, se destruye, dándole lugar a la corrosión.
 - El concreto pierde masa, pierde el pegante, se le sale su alma.
 - El concreto pierde Módulo de $E = 1.85 \times 10^5 \text{ Kg./cm}^2$.
 - El concreto pierde peso unitario y rigidez.
 - El concreto se vuelve como una piedra pómez
- (Su exudado quema las latas de los vehículos por su extrema acidez).
- El concreto presenta eflorescencias y manchas grises.

4.2.2.1.3 Frente De Carbonatación

FIGURA 17. ESTRUCTURA CARBONATADA.



Es el plano que para un tiempo t mide la profundidad del efecto de carbonatación dentro de la estructura.

Deberá medirse en la dimensión más crítica, que no es la de la figura.

El frente de carbonatación depende de:

- Permeabilidad del hormigón.
- Contenido de humedad del concreto.
- CO_2 del aire
- Humedad relativa del medioambiente.

X= Profundidad del frente de carbonatación en mm, el frente de carbonatación se revela con FENOLFTALEINA (1%).

Este indicador en ambiente básico, adopta color rojo violeta (fucsia) y en medio ácido es incoloro.

La gráfica de esta reacción nos indica con claridad que la carbonatación es sobre el concreto pero el que paga es el acero, por que este pierde su capa de pasivación.

Cuando el frente de carbonatación llega al acero su ph que es ya menos alcalino ($ph < 9.5$), la capa de óxido protectora deja de ser pasivadora y estable, para empezar a permitir la oxidación.

USO DE LA FENOLFTALEINA - PROCEDIMIENTO

La fenolftaleína es un indicador liquido de ph aquí la usamos para indicar la carbonatación en el concreto, constituye un proceso sencillo de identificación y de diagnóstico.

Se rompe un pedazo de concreto, cerca a un borde donde se sospeche que haya carbonatación, se aplica una solución de 1% o 2% de fenolftaleina en alcohol. (se puede pulverizar la muestra) las áreas carbonatadas de concreto no cambian de color mientras que las áreas con $ph > 9.0$ ó > 9.5 adquieren color rosado brillante (fucsia).

La pieza así probada debe examinarse con pruebas complementarias: resistencia, contenido de cloruros, permeabilidad, chequeo de profundidad del recubrimiento.

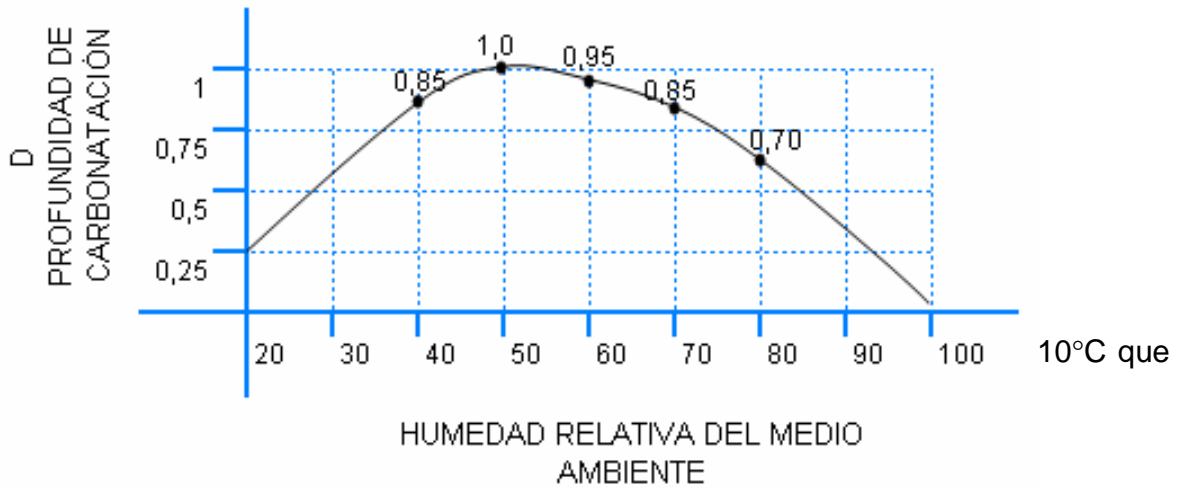
4.2.2.1.4 Profundidad Del Frente De Carbonatación , Cálculo:

A mayor masa carbonatable menor será la velocidad de carbonatación.

Ley de difusión de FICK

(Válida para humedad relativa (50%) del medioambiente) valores diferenciales, exigen el factor de corrección dado por la grafica siguiente.

FIGURA 18. FACTOR DE CORRECCIÓN.



X = frente de carbonatación

K = cte.

T = tiempo en años (interesa el tiempo en llegar la carbonatación a la armadura).

$$\text{El valor de k (formula empírica)} = 72 \left(\frac{3.24}{\sqrt{f'c}} - 0.126 \right)$$

Con $f'c$ (resistencia del concreto a los 28 días en kg / cm²)

Ej: Los edificios estudiados fueron diseñados hace más de 25 años con $f'c = (2500 - 3000 \text{ PSI}) \approx 190 \text{ kg/cm}^2$

$$\text{Calculo de k} = 72 \left(\frac{3.24}{\sqrt{190}} - 0.126 \right) = 7.85$$

Usando una humedad relativa promedio de 70% encuentro en la gráfica, factor = 0.85 luego k corregido = 0.85 x 7.85 = 6.67

$$\text{Luego } x(\text{mm}) = 6.67\sqrt{25} = 33.35\text{mm} = 3.34\text{cm}$$

Si la profundidad de carbonatación y el recubrimiento se conocen; podemos calcular el tiempo en que se produce la corrosión inicial.

X = corrosión actual

r = recubrimiento (distancia de la superficie del concreto al acero de refuerzo, en el momento de la construcción).

$$\begin{array}{l}
 r \rightarrow t1 \\
 x \rightarrow t
 \end{array}
 \left| \begin{array}{l}
 x = k\sqrt{t} \\
 k = \frac{x}{\sqrt{t}}
 \end{array} \right|
 \begin{array}{l}
 r = k\sqrt{t1} \\
 r = \frac{x}{\sqrt{t}} * \sqrt{t1}
 \end{array}
 \left| \begin{array}{l}
 t1 = \left(\frac{r}{x}\right)^2 t
 \end{array}
 \right.$$

Ej: Para los edificios estudiados:

$$X = 33.35\text{mm}$$

r = 35.0mm. (medido en ciertos sectores)

$$T1 = (35.00/33.50)^2 = 25 = 27.53 \text{ años}$$

Valor que coincide con los daños que se observan hoy en las construcciones muchas de las cuales han llegado al colapso.

El metro de Medellín (a propósito) ya tiene 17.0mm de profundidad de carbonatación según información del doctor Diego Sánchez de Guzmán.

4.2.2.1.5 Solución Y Prevención De La Carbonatación

Las reparaciones y protecciones que se hagan deben tratarse a fondo pues los daños son recurrentes.

SOLUCIONES:

- I- Cuando el frente de carbonatación no ha llegado al acero de refuerzo
- HACER HIDROLAVADO.
 - ELIMINAR EFLORESCENCIAS

APLICAR PINTURAS Y RECUBRIMIENTOS:

NO TODOS SON BUENOS

{ EPÓXICOS
ACRÍLICOS
ELASTOMÉRICOS

- EVITAR EL CONSABIDO CUENTO DE LOS MAESTROS DE OBRA:
“EL CONCRETO DEBE RESPIRAR”.

- II- Si el frente de carbonatación ha llegado al acero de refuerzo, ya se ha iniciado la corrosión y la rehabilitación deberá hacerse de modo total incluyendo, armaduras.

Los frentes de carbonatación progresan con humedad relativa del 80% y altas temperaturas como en el Chocó.

Dos lados de una misma fachada pueden presentar diferentes avances de carbonatación, según humedad, temperatura, viento y demás agentes medio ambientales.

Debe hacerse un diagnóstico apropiado en cada estructura.
Ver la norma ACI – 515 para protección a la carbonatación.

- Usar concreto hermético y poco poroso para evitar que penetre el CO₂, O₂ y H₂O.
- Usar concretos con baja permeabilidad ($v=1.0 \times 10^{-3} \text{m/s}$) baja porosidad
 $(p = \frac{v}{V} < 10\%)$ alta hermeticidad baja absorción
 $(\% ABS = \frac{PSSS - P}{P} \times 100 < 5\%)$.
- Baja A/C < 0.5
- Usar curado adecuado
- No usar cementos de escoria.
- Aplicar buena compactación
- Usar puzolanas (cenizas volantes, humo de sílice).
- Usar buen recubrimiento del concreto ≥ 5.0 cms. Por que al carbonatarse las capas externas hay debilitamiento mecánico.
- Si el daño es severo, usar protección catódico (P.C.)
- Usar realcalinización, es un proceso muy nuevo no hay historial completo.
- Usar recubrimiento (contra la carbonatación) de alta calidad.
- Recubrimiento que impida el ingreso de CO₂, este recubrimiento anticarbonatación se ha comprobado que puede agregar protección al acero en una cantidad igual a muchos centímetros de recubrimiento.

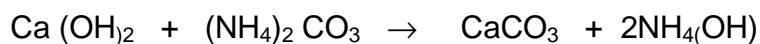
- Usar recubrimientos {
 - ACRÍLICOS
 - EPÓXICOS
 - ELASTOMÉRICOS
- Usar protecciones impermeables durante las primeras 24 horas.
- Usar inhibidores de corrosión (aplicables en spray o rodillo)
- El riego de la superficie con H₂O no aminora la carbonatación.
- Usar valores de $r \geq 4.5$ cm. (recubrimiento del acero)

ANALIZAR LO MÁXIMO PARA INTERVENIR LO MÍNIMO

Actualmente se dispone de la siguiente tecnología creada en 1.994 por Roger Jones del MATERIALS TECHNOLOGY en Reno, Nevada:

Usando dióxido de carbono supercrítico (SCCO₂) que disuelve compuestos y que se difunde fácilmente como un gas , se carbonata el cemento y se solidifica más fuertemente el concreto; obteniendo el doble de la resistencia a la compresión y el 75% más en la resistencia a la tracción.

- El curado de los hormigones debe realizar con gran cuidado ya que debido a la carbonatación de su superficie, puede observarse una degradación superficial.
- Para conseguir de manera artificial la carbonatación superficial se usa el carbonato amónico, (NH₄)₂CO₃ de acuerdo a la reacción :



Se da como protección en diferentes casos: contra aguas ricas en H₂CO₃ , contra aguas y gases residuales donde se use hipoclorito de calcio (fabricas de papel) en terrenos pantanosos.

4.2.3 Ácidos Agresores Del Concreto

La acción de los ácidos ha sido de las primeras agresiones sufridas por el concreto, que fueron estudiadas casi simultáneamente en 1.930 – 1.940 por varios países: Alemania, La Unión Soviética, Hungría, EE.UU.

Los ácidos en el concreto provienen fundamentalmente del uso natural que se hace de sustancias corrientes: vinos, elementos de limpieza, alimentos etc. de la lluvia ácida, de aguas portadoras de ácido acético y en general de aguas aciduladas (como pueden ser las subterráneas).

El concreto de cemento Pórtland tipo I en términos generales, no soporta ácidos.

Ningún hormigón ofrece resistencia al ataque corrosivo de los ácidos fuertes. Ocasionalmente soporta, ácidos suaves:

FORMICO, HÚMICO, TÁNICO, ÚRICO, CÍTRICO (limón), TARTÁRICO (vino). La velocidad con la cual los ácidos destruyen al cemento depende de varios factores:

- Concentración de los ácidos.
- Resistencia ofrecida por el cemento Pórtland usado.
- Temperatura de la solución del ácido.
- Movilidad de la sustancia ácida.
- Los ácidos: H_2SO_4 , HCl , HNO_3 y otros ácidos fuertes son altamente agresores para el concreto.

CÓMO ATACAN LOS ÁCIDOS AL CEMENTO?

Los ácidos disuelven los productos de hidratación del cemento, a través de reacciones ácido – base.

El $Ca(OH)_2$ es el producto más vulnerable del concreto (incluso en concentraciones ácidas suaves).

Los ácidos más fuertes (concentrados) atacan a todos los hidratos del silicato de calcio, haciéndolos más solubles.

Los ácidos que forman productos solubles de reacción son más agresivos que aquellos que forman productos estables de reacción.

LA PRESENCIA DE UN ÁCIDO PUEDE COMPROBARSE FÁCILMENTE POR EL PAPEL TORNASOL QUE SE ENROJECE

En el agua absolutamente neutra, la cantidad de iones H^+ (productores de acidez), es igual a la cantidad de iones OH^- (productores de alcalinidad) $(H^+) \times (OH^-) = 10^{-14}$ iones. g/l.

Clasificación de las aguas subterráneas según su ph (Pondus hidrogenii) dada por el ACl.

REACCIÓN	PH
Fuertemente ácida	< 5.5
Débilmente ácida	5.5 – 6.6
Casi neutra	6.7 – 7.4
Débilmente alcalina	7.5 – 8.4
Alcalina	8.5 – 9.0
Fuertemente alcalina	>9.0

4.2.3.1 Mecanismo Físico – Químico De La Agresión

La corrosión producida por ácidos se puede explicar así:

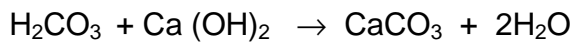
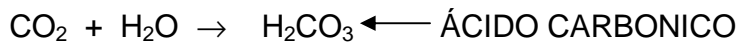
En primer lugar disuelven la capa de carbonatos que se han formado en la superficie del hormigón, lo que facilita la lixiviación de los componentes internos ,la solubilidad del $CaCO_3$ es mayor en los ácidos que en el agua .Después de destruidos los carbonatos, los ácidos forman con el $Ca(OH)_2$ sales muy solubles que son arrastradas por el agua.

La agresión por ácidos produce más estragos que la propia lixiviación.

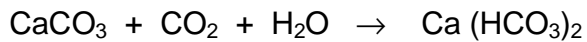
Los ácidos provocan METEORIZACIÓN química del concreto porque eliminan los agentes cementantes del cemento, esta corrosión - disolución, disocia las moléculas en iones gracias al disolvente presente, el agua.

Las superficies afectadas aparecen granulentas y devastadas.

REACCIONES PRINCIPALES DE LOS ÁCIDOS SOBRE EL HORMIGÓN



La solubilidad del CaCO_3 es mayor en presencia de ácidos. Por acción del ácido carbónico la caliza se convierte en bicarbonato, muy soluble:



SOBRE LA PORTLANDITA:

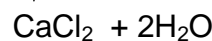
ÁCIDO SULFÚRICO



ÁCIDO CLORHÍDRICO

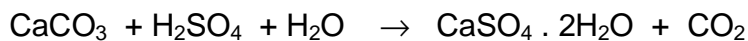


CLORURO DE CALCIO SAL ALTAMENTE EXPANSIVA



→

SOBRE AGREGADOS CALCÁREOS:



SOBRE SILICATOS:



LOS ÁCIDOS PRODUCEN CORROSIÓN DEJANDO LA PIEL DEL CONCRETO CORRUGADA Y SIN TERSURA

TABLA 7. ATAQUES DE ÁCIDOS

VELOCIDAD DEL ATAQUE A LA T. AMBIENTE	ÁCIDOS INORGANICOS	ACIDOS ORGANICOS
RÁPIDA	HF: Descompone los silicatos del cemento HCl HNO ₃ – Explosivo H ₂ SO ₄ HS	C ₂ H ₄ O ₂ : Acético – vinagre CH ₂ O ₂ : Fórmico C ₃ H ₆ O ₃ : Láctico
MODERADA	H ₃ PO ₄ (fosforico)	C ₇₆ H ₅₂ O ₄₆ (Tánico)
LENTA	HCO ₃	
DESPRECIABLE		C ₂ H ₄ O ₄ (Oxálico) C ₄ H ₆ O ₆ (Tartárico) forman productos de reacción no soluble

4.2.3.2 Lluvia Ácida – Breve Reseña

La atmósfera recibe SO₂ y No_x de distintas fuentes. Reaccionan con el O₂ atmosférico y se disuelven con la presencia de lluvia, nieve, rocío, formando

H_2SO_4 y HNO_3 , que acidifican la atmósfera y terminan precipitándose sobre el suelo, edificaciones, plantas, agua y seres vivos.

Particularmente caen sobre estructuras, monumentos históricos y zonas arqueológicas produciendo desgaste de las superficies en contacto, corrosión y profundización en la masa interna de los respectivos materiales.

Estos ácidos son verdaderamente agentes corrosivos que actúan a grandes distancias del punto de formación, arrastrados por el viento.

Las fuentes de emisiones de SO_x , NO_x son muy variadas:

Combustibles Fósiles (Carbón), Emisiones Volcánicas, Ascenso de partículas (arenas, limos) Centrales eléctricas, Industrias grandes y pequeñas, Usuarios del petróleo, Industrias Químicas, Gases vehiculares y Actividades antrópicas en general.

CHINA reconoce que la lluvia ácida afecta a más de la mitad de las ciudades del país (400) y que es originada por la emisión de dióxido de azufre a su atmósfera. En algunas regiones de China, toda el agua que cae es ácida. El 70% de las necesidades energéticas de la China se suple con carbón.

CHINA, INDIA Y JAPON son los países que más sufren las inclemencias corrosivas de la lluvia ácida.

En Bogotá las lluvias ácidas, caen después de un periodo de sequedad (no lluvias) arrastran elementos, iones, compuestos suspendidos en el aire, acidifican a tal extremo que dañan la pintura de los vehículos.

La lluvia ácida ataca edificios nuevos y antiguos, en especial si se han construido con materiales degradables como calizas y piedra arenisca.

El concreto es susceptible de degradación por lluvia ácida dada la naturaleza caliza de los componentes.

Como son daños que se suceden en largos periodos de tiempo, no les damos la gravedad de los daños instantáneos y simplemente los consideramos ENVEJECIMIENTO NATURAL.

El Partenón ha sufrido más erosión en los últimos 30 años que durante los 2.400 anteriores.

El tesoro pictórico del Prado se ha visto afectado por este fenómeno.

Además, los óxidos de nitrógeno pueden reaccionar con diversos compuestos orgánicos volátiles, en lugares soleados formando OZONO TROPOSFERICO, gas nocivo para el medio ambiente y particularmente para la salud y los materiales de construcción.

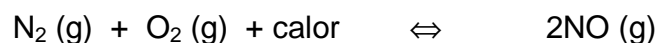
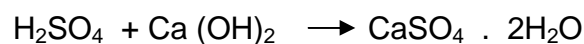
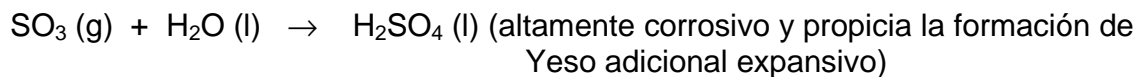
Algunas instituciones sin embargo le acreditan a la lluvia ácida efectos positivos. El SO₂, reduce el gas metano y con eso contribuye a disminuir el efecto invernadero. (OPEN UNIVERSITY, INGLATERRA).

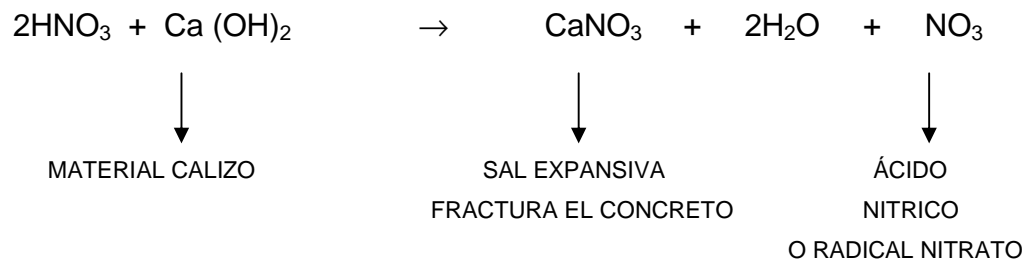
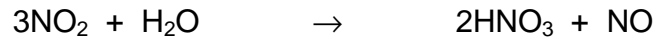
El SMOG – ÁCIDO, que es característico de ciudades con inviernos fríos , brumosos y meteorológicamente estables, se provoca por la aparición de SO₂ y cenizas en el aire, generalmente procedente de la combustión de carbones y combustibles con altos contenidos de azufre. Esta situación ambiental se da en la zona centro de Bogotá, objeto de nuestro estudio.

De alguna manera el smog fotoquímico por abundancia de NO₂ en el aire y de contaminantes provenientes de la expulsión de motores, con la acción de los rayos solares facilitan la formación de ozono, ácido fórmico y agua oxigenada, también se produce en la zona de estudio del centro de Bogotá ; según estudios del DAMA.

4.2.3.2.1 Mecanismo Químico

El siguiente conjunto de reacciones es de gran ocurrencia:





4.2.3.3 Prevención, Solución , Tratamientos

- Evitar concretos de alta permeabilidad y alta A/C, pues son muy susceptibles al daño.
- Usar aditivos reductores de permeabilidad y reductores de agua.
- Usar cementos puzolánicos como lo atestigua el muelle del puerto de ANZIO (ITALIA), construido en el imperio Romano.
- Usar humo de sílice (puzolona) el cual convierte el Ca (OH)_2 en CSH (hidrosilicato de calcio no soluble).
- Reduciendo así la permeabilidad del concreto (las autoridades químicas, recomiendan el uso de 30% de humo de sílice por peso de cemento).
- Los silicatos de sodio NaSi_3O_7 son sales alcalinas de muy bajo costo. Con los cementos forman químicamente masas con fuertes propiedades BINDER, que permitan producir concretos endurecidos y morteros de alta resistencia.
- Si los agregados vienen de rocas carbonatadas y (calizas) , se rayan fácilmente con la navaja y reacciona con ácidos, produciendo burbujas de CO_2 .

4.2.4 Azúcares, Miel, Aceites, Grasas

Se presentan estas sustancias en Silos, bodegas de almacenamiento, cervecerías, lecherías, procesadoras de alimentos, almacenamiento de productos agrícolas etc., y provocan normalmente daños superficiales, aunque algunas veces daños estructurales.

Los daños más acentuados se dan en elementos de hormigón que sirven de contenedores de tales productos, en elementos que reciban las emisiones de chimeneas y gases de cocina en restaurantes y residencias.

En términos generales la corrosión se produce por sales, ácidos y componentes orgánicos que atacan el hormigón y a su armadura.

4.2.4.1 AZÚCAR, MIEL

El azúcar en el agua de amasado es perjudicial para el hormigón. Un 0.1% de azúcar en el agua de amasado retrasa el fraguado, el cual no llega a producirse si el contenido de azúcar alcanza el 0.6%, práctica esta conocida por los constructores alemanes, de la segunda guerra mundial, quienes ante el ataque aéreo inminente interrumpían la operación de mezclado agregando azúcar a su hormigón para posteriormente neutralizarla una vez el peligro desapareciera (IMRE BICZOK).

Las disoluciones azucaradas, causan lixiviación del hormigón, ya que forman ácidos orgánicos de acción perjudicial conocida.

Las normas de la industria alemana DIN 4030 de s/bre 1.984, DDR – STANDARD TGL 11357 de Junio 1.992.

Permiten interpretar que una disolución que contenga el 3% de azúcar hace descender un 13% la resistencia Mecánica de un hormigón 1:2:3 en el plazo de un año.

Recomiendan igualmente que los depósitos de hormigón armado, destinado al

almacenaje o la elaboración de azúcares, deberán recubrirse con un mezcla de parafina o cerasina.

Los jarabes viscosos y de color oscuro, así como las melazas, tienen una acción menos peligrosa que las soluciones azucaradas de color claro y escasa viscosidad.

LOS AZÚCARES ATACAN AL HORMIGÓN FORMANDO SALES DE CALCIO LLAMADOS SACARATOS QUE ROMPEN LOS SILICATOS DEL CEMENTO Y DISMINUYEN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO. ADEMÁS PEPTIZA LOS COMPUESTOS HIDRATADOS DEL CEMENTO Y SUS GELES.

Durante los procesos de fermentación se forman : alcohol, ácido tánico ($C_{76}H_{52}O_{46}$) ácido acético ($C_2H_4O_2$), ácido láctico ($C_3H_6O_3$), ácido butírico ($C_4H_8O_2$), que producen los efectos conocidos de los ácidos, por lo cual deberá protegerse el concreto contra estas agresiones.

La acción del vino sobre el cemento tiene como resultado la formación de tartrato cálcico, sal poco soluble que colmata los poros del hormigón , e impide ulteriores procesos químicos.

Este es un modo de neutralizar los depósitos de vino lo cual se hace con vinos de baja calidad.

SE SUPONE QUE TODA AGUA POTABLE ES APROPIADA PARA ELABORAR CONCRETOS, SIN EMBARGO HAY OCASIONES EN QUE ESTA PRESUNCIÓN NO SE CUMPLE , POR QUE HAY AGUAS POTABLES ADEREZADAS CON NITRATOS O CON PEQUEÑAS CANTIDADES DE AZÚCARES QUE NO AFECTAN SU POTABILIDAD, PERO SON INADECUADAS PARA LA FABRICACIÓN DE CONCRETOS.

Si se da la presencia de azúcar $C_{12}H_{22}O_{11}$ junto con el vapor de agua; CO_2 , SO_2 , el azúcar se hincha y aumenta su volumen produciendo efectos de tracción parecidos a los que se dan en la formación de sales.

4.2.4.2 Grasas, Aceites

ACEITES Y GRASAS VEGETALES Y ANIMALES

Los aceites y grasas son productos viscosos sólidos o líquidos más o menos lubricantes, de origen vegetal o animal. Desde el punto de vista químico están formados por diversos ésteres de la glicerina con los ácidos grasos. Pesan menos que el agua; son insolubles en ella.

Pueden disolverse fácilmente en ÉTER, GASOLINA, CLOROFORMO, VINAGRE ETC.

Los aceites y grasas más importantes son los que destruyen lentamente la superficie de hormigón: aceite de ricino, de linaza, colza, oliva, almendra, palma, adormidera, girasol, coco, soja, grasa de cerdo, aceite de pescado, mantequilla etc.

Los aceites de colza, linaza, ricino, grasas animales son ligeramente perjudiciales para el hormigón pues son transformados por el $\text{Ca}(\text{OH})_2$ del cemento en sales grasas (jabones cálcicos, que carecen de consistencia).

Los aceites de poca viscosidad son principalmente los que penetran en mayor profundidad en el hormigón, en cuyo interior ejercen una acción lubricante, destruyendo la adherencia entre la pasta de cemento, los áridos y las armaduras de forma que el hormigón se disgrega.

Los aceites viejos y oxidados ejercen una acción corrosiva, de forma que las gotas de lubricante que caen sobre las placas de piso en garajes, acaban por destruir el hormigón.

Según la experiencia Americana, los aceites de densidad $\geq 0.825 \text{ gm/cm}_3$ no representan en frío, ningún peligro para el hormigón.

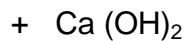
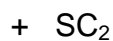
4.2.4.3 Mecanismo De Agresión

COMPUESTOS DEL CEMENTO



⇒

CONDUCE A MUCHAS SUSTANCIAS
TODAS ELLAS BLOQUEANTES DE LA
HIDRATACIÓN



Los daños producidos por aceites y grasas sobre el hormigón se pueden originar por variados conceptos:

- Las grasas y aceites al ser insolubles en el agua, actúan como bloqueantes de la hidratación del cemento. Impiden total o parcialmente su fraguado y pueden generar discontinuidades en su endurecimiento produciendo diferencias de resistencia en una mezcla.
- En el concreto endurecido el engrasamiento de una estructura de concreto, produce una capa donde se asientan microorganismos descomponedores, los cuales consumen los hidratos de carbono y segregan ácidos.
- Las largas cadenas de hidrocarburos, producen gran interferencia con la química del cemento, no pudiéndose predecir cuál va a ser el comportamiento de sus reacciones.
- Según observaciones de la sociedad Americana para el ensayo de materiales (ASTM) en el tratamiento y curado de los recipientes de hormigón: Los más agresivos son el aceite de hígado de bacalao y el aceite de ballena, entre los vegetales lo son el aceite y manteca de cacao, ricino, coco y mostaza.
- La acción de aceites y grasas impide la adherencia entre el hormigón y la armadura que no trabajarán conjuntamente.

4.2.4.4 Prevención Tratamiento

- Las acciones perjudiciales de aceites y grasas sobre el hormigón pueden evitarse mediante la preparación de hormigones compactados con cementos pobres en cal.
- Uso de cementos con puzolanas.
- Concretos con alta compactación.
- Uso de aditivos oleófugos en el remate de superficies.
- Existe una gran cantidad de revestimientos protectores patentados: Thioplast, keratileno, luxcement, y otros más conocidas a base de PVA (acetato de polivilino), fibra de vidrio etc.
- Aguas con grasas, aceites azucars, se consideran contaminadas para la fabricación de cemento y deben eliminarse bajo cualquier consideración.

El Instituto Lewis es sin embargo un poco más conservador y considera el contenido máximo de grasas y aceites en 1.5 gr/l y de azucars $\leq 0.2\%$ del peso de cemento usado.

5. CORROSIÓN DEL ACERO DE REFUERZO

La corrosión es la reacción química o electroquímica entre el acero de refuerzo de las estructuras de concreto o cualquier otro material metálico embebido en ellas y el medio ambiente de referencia. Este ataque electroquímico produce deterioro en el acero, en la fase acero /hormigón y continúa con el hormigón, creando situaciones que llevan a la falla y al colapso de la estructura. La corrosión por picadura se inicia ya con $\text{pH} = 10.0$.

Es un proceso no muy bien conocido, lento e invisible, pero una vez que se manifiesta origina altos costos de reparación.

La tendencia del material es a retornar a su estado natural, a generar óxido de hierro el cual es su forma más estable. Es un proceso inevitable y los constructores buscan que ese regreso sea lo más lento posible.

Uno de cada 4 hombres (25%) en la industria del acero, repone el hierro perdido en la oxidación.

En EE.UU. las pérdidas por corrosión equivalen al 3% del producto interno bruto (PIB). Valor que asciende a 100.000 millones de dólares por año.

En México las pérdidas ascienden al 5% del PIB.

Cada segundo se disuelven en el mundo 5 toneladas de acero.

Existe un proceso de fragilización del acero por absorción de hidrógeno, que aquí no tenemos en cuenta.

Los metales se oxidan debido a la inestabilidad termodinámica.

La corrosión es función de muchas variables: temperatura, salinidad, presión atmosférica, humedad, presencia de ácidos, esfuerzos en el metal, presencia de óxidos (autocatálisis etc.)

La corrosión se presenta en diferentes y variados escenarios:

Ambientes con presencia permanente de agua: (aguas de mar, aguas dulces); con afectación sobre: puertos, puentes, estructuras metálicas, estructuras de concreto, estructuras expuestas al rocío, brisas, vientos portadores de agua.

Espolones, pilotes, tablestacados, maquinaria (grúas, vehículos), cascos de barcos, cables de pre/post tensionamiento.

Plantas de tratamiento, edificios cercanos, estanques etc.

- Ambientes industriales (escenario no contemplado en este trabajo).
- Ambientes Urbanos:

Casas, edificaciones de variado número de pisos obras públicas, monumentos históricos, pavimentos rígidos etc.

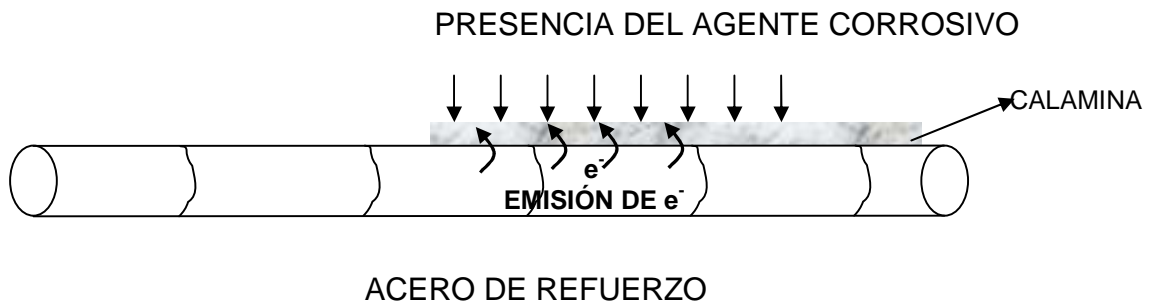
Este trabajo se refiere a la corrosión en ambiente urbano, limitada a edificaciones de menos de 5 pisos.

5.1 OXIDACIÓN SIMPLE (CORROSIÓN QUÍMICA)

Es un caso especial de corrosión:

El proceso para originarse necesita: a) material corrosible (en nuestro caso, el acero) b) Agente corrosivo (oxígeno diatómico disuelto en gases, agua, líquidos o aire).

FIGURA 19. ILUSTRACIÓN OXIDACIÓN



El agente corrosivo; por lo general el oxígeno o el agua produce sobre el acero: (varillas, perfiles, estructuras) una capa de óxido llamada calamina, no destructiva, la cual protege al metal del avance de agentes agresores y de la profundización de la corrosión ya que constituye una especie de agregado muy fino que favorece la granulometría de la mezcla de concreto, en la zona de interacción hormigón/acero.

Esta fina película de óxido gamma férrico: $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, es la famosa capa pasivadora u óxido que no progresa, pasivo, el cual al no existir $(\text{OH})^-$, H^+ , está protegido por el alto $\text{ph} > 13$ del medio.

5.2 CORROSIÓN ELECTROQUÍMICA (ATAQUE ELECTROQUÍMICO)

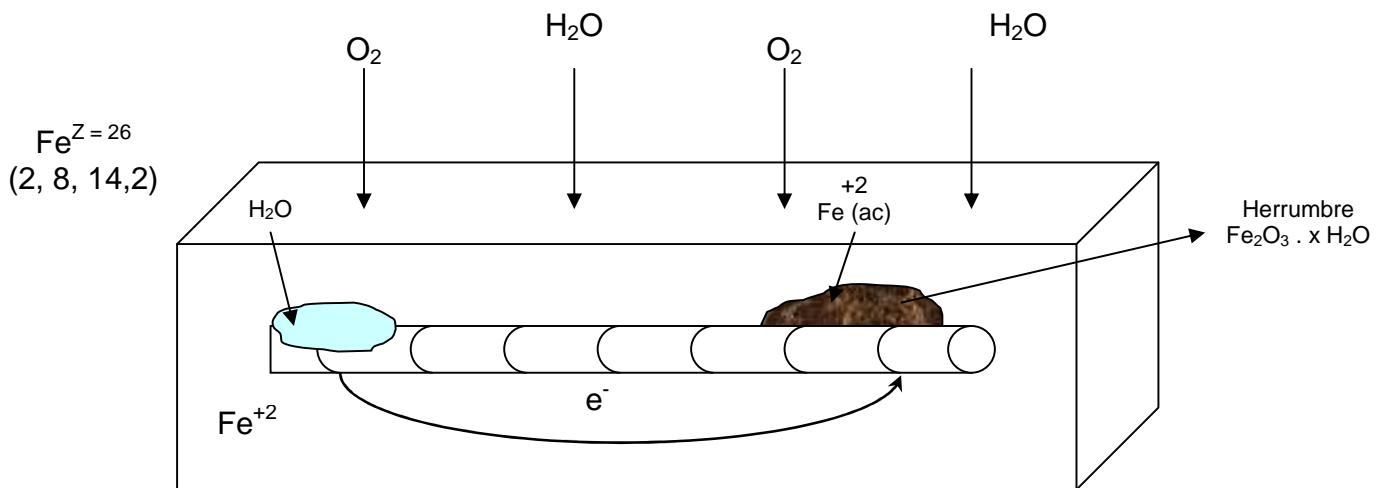
Es la principal y más destructiva corrosión atmosférica.

El proceso necesita: a) material corrosible, acero. b) Ambiente acuoso como electrolito, H_2O . c) oxígeno. d) transferencia de electrones (iones, cationes) o, presencia de corriente eléctrica o diferencia de potencial creada por pérdidas de circuito o falta de conexión a tierra.

En un mismo material existen zonas con diferente potencial eléctrico.

Los numerosos cráteres de corrosión por picadura se juntan en la superficie por su crecimiento.

FIGURA 20. ILUSTRACIÓN DE CORROSIÓN ELECTROQUIMICA.



ÁNODO	CÁTODO
<ul style="list-style-type: none"> • Hay menos oxígeno • Hay oxidación • $Fe(S) \rightarrow Fe^{+2}_{(ac)} + 2e^-$ <p>también:</p> $Fe^{+2}_{(ac)} \rightarrow Fe^{+3}_{(ac)} + e^-$ <ul style="list-style-type: none"> • Corrosión 	<ul style="list-style-type: none"> • Hay más oxígeno • Hay reducción • $O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O(l)$ • Electro deposición

La resistencia eléctrica es menor en la zona catódica que en la anódica, por eso se protege el cátodo.

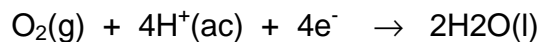
5.2.1 Explicación Electroquímica De La Corrosión Del Acero De Refuerzo. Mecanismo De La Corrosión

PASOS:

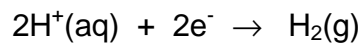
a- En el ánodo el Fe cede los dos electrones de su última capa y forma Fe^{+2}



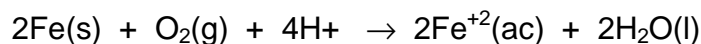
b- En el cátodo los electrones donados reducen el O_2 a agua, los H^{+} provienen del H_2CO_3 formado por la disolución del CO_2 en H_2O



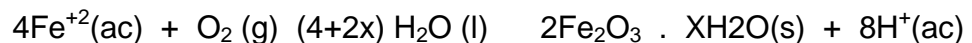
O dicho de otro modo : los electrones cedidos son captado por los iones H^{+} que se hallan en el H_2O o en las sustancias ácidas del H_2O y se aparejan para formar $H_2(g)$.



c- La reacción integral (ánodo / cátodo) REDOX se expresa así:



d- Los iones Fe^{+2} en el ánodo, se oxidan posteriormente así:



son oxidados por O_2 en presencia de agua, formando óxido gamma férrico (HERRUMBRE) $2Fe_2O_3 \cdot xH_2O$, el cual no es un compuesto sencillo es un hidrato indeterminado del Fe_2O_3 formando como $2Fe_2O_3 \cdot n H_2O$ (generalmente $n=3$).

A MEDIDA QUE EL ÓXIDO SE PRODUCE, MÁS Y MÁS ÓXIDO SE FORMA (AUTOCATÁLISIS)

Este óxido gamma férrico tiene un volumen (3-4) veces el del metal que lo origina, hecho que producirá expansiones, esfuerzos residuales fisuras y desprendimientos en el concreto de recubrimiento.

La corrosión se manifiesta en manchas rojizas que calcan la longitud de las armaduras.

5.3 CORROSIÓN GALVÁNICA – CASOS

Cuando el concreto reforzado posee otros metales embebidos; tuberías de cobre, ganchos de aluminio, remaches de bronce, electos de zinc, tornillos etc. se da la llamada corrosión galvánica.

Cuando además se dan algunas otras condiciones de humedad, temperatura y presión, se produce el efecto de galvanismo, en el cual el medio estructural se comporta como una celda galvánica.

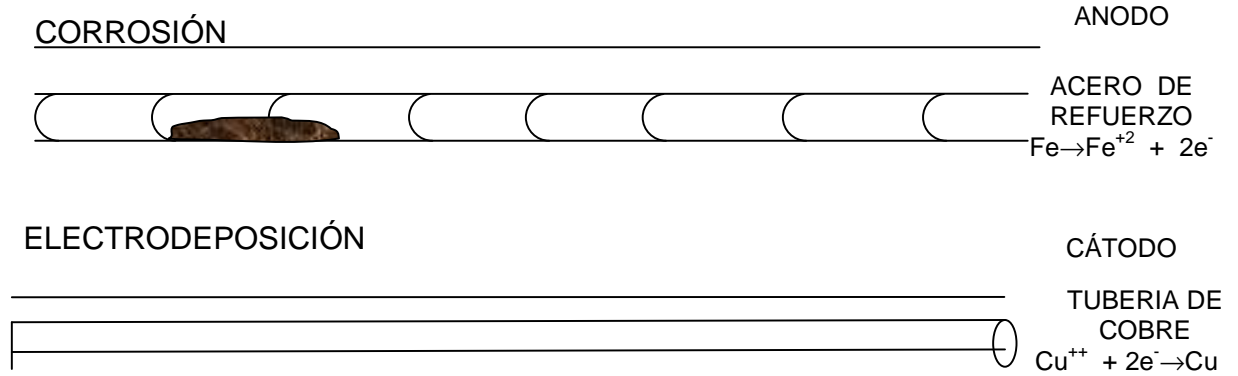
CASO No. 1

Elementos de cobre embebidos en el concreto.

Los elementos de cobre, cobre más níquel, cobre más estaño (bronce), de mayor frecuencia en las estructuras de concreto son: tuberías de conducción, pinturas, válvulas, tornillos, tuberías de gas. El cobre Cu, es cada vez más usado en las construcciones por ser antimicrobiano, no permite la vida en su cercanía, parece que modifica el ADN de los seres vivos.

Hasta hace poco tiempo, se usó en estructuras de concreto desconociendo su efecto galvánico junto al acero.

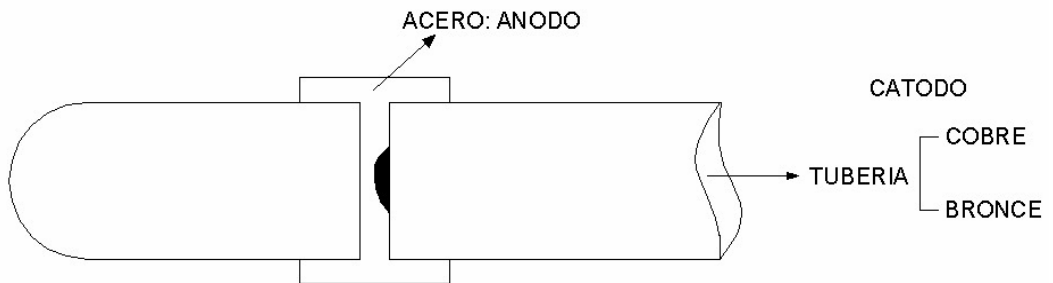
FIGURA 21. ILUSTRACIÓN DE CASOS GALVÁNICOS



El acero corroído pierde sección, pierde modulo de E, se exfolia, se delamina y reduce su resistencia hasta la falla.

CASO No. 2

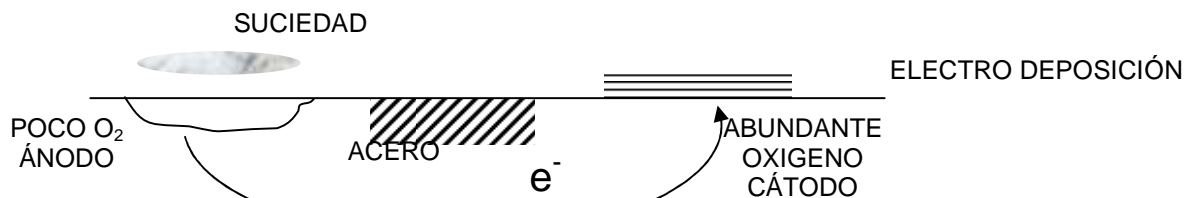
Abrazadera, remache, unión de fe en tubería de cobre o bronce = Cu + Sn + Zn



El acero se corroe y se electro deposita en el Cu.

CASO No. 3

Superficie descubierta



La corrosión se produce en la zona de baja concentración de O_2 .

A nivel superficial se producen descascaramientos, vacíos, desagregaciones, que reducen las secciones resistentes y colapsan las estructuras

CASO No. 4

Grietas



El O_2 presente en la grieta está expuesto a diferentes presiones parciales. La parte externa de la grieta es más aireada (cátodo) que la punta de grieta (ánodo). Diferencia que la convierte en pila galvánica. La punta de grieta se corroe por presiones parciales de O_2 y se produce la migración de electrones y avanza y progresa la grieta.

5.4 CORROSIÓN POR PENETRACIÓN DE CLORUROS

Los cloruros no causan corrosión, la acentúan.

IONES { Cl^- , Cloruro, forma más activa
 ClO_3^- , clorato, ClO^- hipoclorito, menos activa

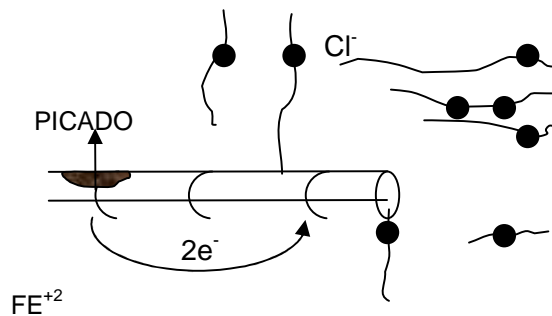
TIPOS DE IONES Cl^- { LIBRES: Son solubles, producen corrosión
Ligados: No son solubles en agua, no son peligrosos

Los cloruros atacan incluso a los aceros galvanizados la penetración de cloruros es muy rápida en 2 – 3 días hay agresión.

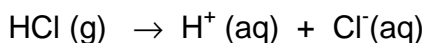
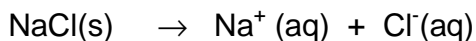
LOS IONES CLORURO (Cl^-) CAUSAN MÁS DAÑO EN EL ACERO QUE LA MISMA CARBONATACIÓN

5.4.1 Mecanismo De Acción De Los Cloruros En El Hormigón

FIGURA 22. CLORUROS SOBRE MEDIO POROSO



a) El hormigón se moja superficialmente y al secarse, las sales de cloro se fijan en los poros. Al mojarse nuevamente aumenta la concentración de los iones Cl^- y el proceso va incrementándose, dependiendo de la impermeabilidad del recubrimiento. Los iones cloruros son higroscópicos e imprescindibles como electrolitos que se difunden en los poros llenos de H_2O . Posibilitan la formación de celdas galvánicas.



Las sustancias semejantes al NaCl(s) y al HCl(g) que se disuelven en H_2O , formando soluciones conductoras, se les llaman electrolitos (conducen la electricidad por movimiento de los iones a través de la solución).

La electrólisis favorece la corrosión del acero de refuerzo por picado.

b) La agresión con cloruros acentúa el proceso de corrosión, por que además de propiciar la electrólisis, rompe la protección del acero o capa pasivamente del

- c) acero embebido y a medida que la corrosión avanza crea grietas, desconchamientos en el acero y en la masa del concreto.

Como se vio en 4.2.1.2

CLORO + PORTALNDITA = COMPUESTO DE ALTA SOLUBILIDAD + BRUCITA EXPANSIVA

- d) Los cloruros al entrar en contacto con el AC₃ (aluminato tricálcico) del cemento, forman el CLOROALUMINATO DE CALCIO

$AC_3 + Cl \rightarrow 3CaOAl_2O_3 \cdot CaCl_2 \cdot 10H_2O$ sólido que reacciona con los Cloros libres, quitándoles su agresividad corrosiva.

A más AC₃ del cemento, más protección contra los cloruros. Se halla aquí una de las poquísimas bondades del AC₃, su uso como inhibidor de la corrosión por cloruros.

5.4.2 Concentraciones De Cloruros (Cl⁻) Peligrosas Para El Concreto

El A.C.I. a través de sus comités ha establecido las concentraciones y niveles admisibles y/o peligrosos de los iones Cl⁻ :

- a. Si la concentración de cloruros es de 0.4% del peso del cemento usado, hay problemas en el concreto reforzado.
- b. Si la concentración de cloruros es (0.05% - 0.1%) del peso del concreto producido, se presentarán consecuencias destructivas.
- c. Si el concreto es fresco, valores de ph >13 para condiciones de concentración de cloruros de (7000-80000) ppm, hacen que empiece la corrosión del acero.
- d. Si el concreto no es fresco o su ph = (10 – 11), concentraciones de cloruros de solo 100ppm inician el proceso de corrosión.

e. Concentraciones de NaCl de 35000 ppm son propiciadoras de corrosión

La invasión de cloruros proviene de muy diversas fuentes ambientales, entre otras las siguientes:

- Aditivos, acelerantes de fraguado a base de cloruro de calcio.
 - Presencia de cloruros en el agua de mezclado del concreto.
 - Cloruros por aguas de mar y ambientes marinos (no es el caso tratado en este estudio)
 - Sales disueltas de NaCl con niveles de concentración $\geq 35000\text{mgr/l}$.
 - Aguas residuales.
 - Aguas subterráneas.
 - Agregados para el hormigón, especialmente arenas de río.
 - Cloruros disueltos en el aire.
 - Aguas industriales.
 - Aguas de inmersión contaminadas.
 - Sales de deshielo (CaCl_2) usadas en la descongelación de puentes y vías congeladas (invierno, en climas estacionales).
- NO CORRESPONDE AL CASO QUE ESTAMOS ESTUDIANDO.
- Se puede medir el potencial de corrosión del acero de refuerzo por varios métodos:

TABLA 8. VELOCIDADES DE CORROSIÓN

NIVEL DEL DAÑO	VELOCIDAD DE CORROSIÓN V.C. (Um/año)	ESTADO DEL HORMIGÓN
MUY LEVE	< 1.0	SECO, SIN CLORUROS
LEVE	1 – 5	SECO, CARBONATADO O POCO CONTAMINADO CON Cl ⁻
MODERADO	5 – 10	HÚMEDO, CARBONATADO O POCO CONTAMINADO CON Cl ⁻
ALTO	10 – 100	MUY HÚMEDO, CARBONATADO O CONTAMINADO CON Cl ⁻
MUY ALTO	>100	MUY HÚMEDO, CARBONATADO O MUY CONTAMINADO CON Cl ⁻

1. Electrodo de media celda, permite medir el potencial electroquímico de corrosión (E_c) empleando un electrodo de cobre, mide V.C. velocidad de corrosión de la armadura en términos de la disminución de la sección transversal del acero.

La tabla anterior es el resultado de este tipo de medición.

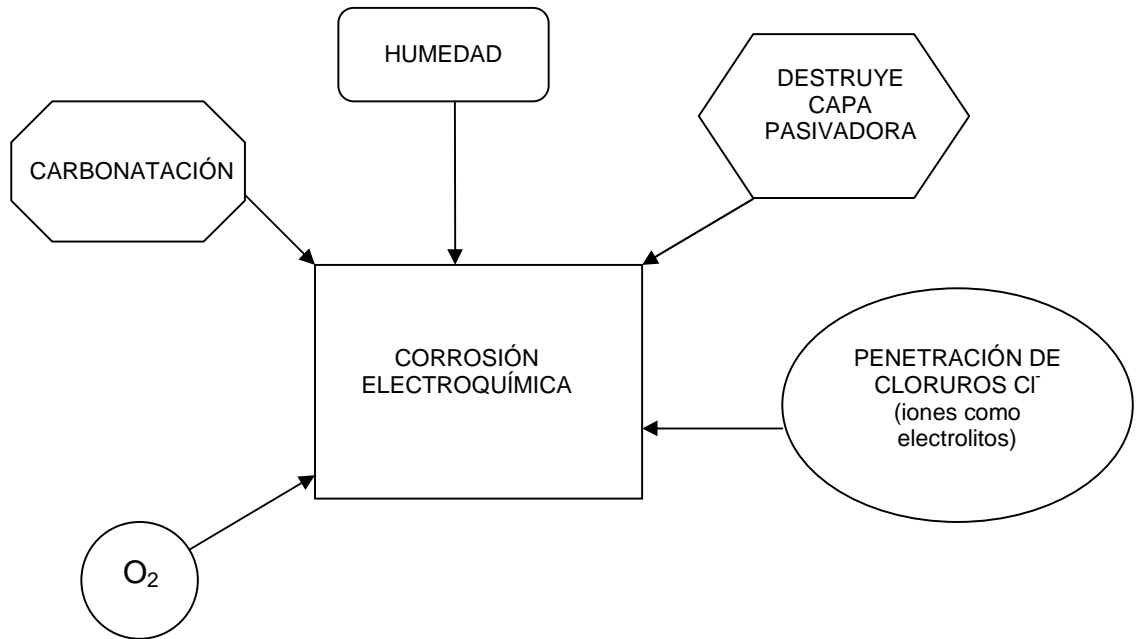
Tabla obtenida por:

Tutti, K. Corrosion of steel in concrete. Swedish cement and concrete institute. Stockholm. 1.982.

2. Metodo pulso – eco.
3. Equipo potencio stato.
4. Pacómetro (localización de armaduras) verifica, la continuidad eléctrica.

5.5 PREVENCIÓN, SOLUCIÓN, TRATAMIENTO DE LA CORROSIÓN

FIGURA 22. ACCIONES DE LA CORROSIÓN



La corrosión no ocurre en concretos secos por ausencia de electrolitos.

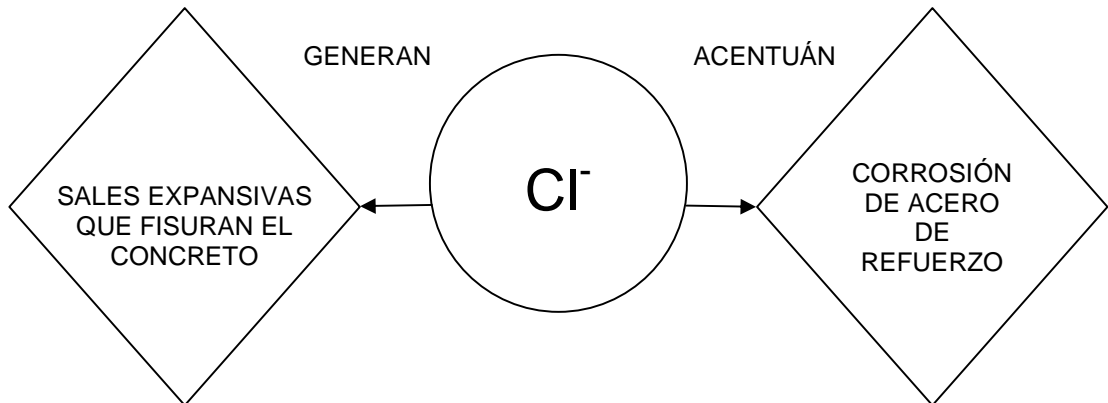
La corrosión tampoco sucede en concretos saturados pues no hay entrada de O₂.

La siguiente lista de soluciones y tratamientos no está formulada en orden de importancia.

- Diseño de mezclas con valores $A/C \leq 0.45$.
- Reducir la permeabilidad del concreto, para disminuir la velocidad del ingreso de agresores (concretos impermeabilizados):
- Tratar la superficie del concreto con selladores o membranas que minimicen el ingreso del agua, cloruro y agresores en general (pinturas de cinc).
- Usar revestimientos protectores para el acero: acero inoxidable, acero galvanizado, acero estañado, cromado, recubrimientos epóxicos.

- El avance de la corrosión es mayor mientras menor sea la resistencia del concreto.
- Uso de aditivos reductores de H₂O.
- Adición de micro sílice y bloqueadores de poros.
- Uso de cementantes fijadores de cloruros.
- Evitar las porosidades interconectadas.
- Usar recubrimientos hidrófugos.
- Mantener el hormigón, moderadamente seco.
- Uso de Rheocrete, aditivo inhibidor orgánico de la corrosión. Producto de comprobada efectividad (Construction Chemicals) Rheocrete 222.
- Uso de inhibidores orgánicos e inorgánicos de la corrosión compuestos fundamentalmente por aminoalcoholes (A.M.A.) y nitrito de calcio, que reducen la ionización del acero.
- Protectores galvánicos: uso de metales de sacrificio anódicos (Zn, Al, Mg) respecto al acero.
- Los estudios modernos de la corrosión incluyen: técnicas electroquímicas, difracción de rayos x, microscopía electrónica.
- El método llamado de media celda permite medir en % el potencial de corrosión.

FIGURA 23. ACCIÓN DE Cl^-



- Los cementos aluminosos tienen bajísima resistencia a la corrosión.
- Una construcción con este tipo de cemento, puede sufrir de ALUMINOSIS, hundimiento total por corrosión.

LA AUSENCIA DE DAÑOS VISIBLES NO GARANTIZA QUE UNA ESTRUCTURA ESTÉ BIEN DISEÑADA Y CONSTRUÍDA.

6. EROSIÓN DESGASTE

La erosión es producida en el concreto por muchas fuentes: AIRE: el viento transporta partículas que impactan las fachadas y concretos expuestos; partículas sólidas o de polvo fino con $D=(0.01 - 1 \text{ micra})$, son muy agresivas y actúan como proyectiles que van horadando y escariando los concretos y morteros desnudos dando lugar a acciones agresoras de variada naturaleza, están en suspensión en el aire y se adhieren a las superficies rugosas con gran capacidad de cubrimiento. Polvo grueso, partículas (1 micra→1mm) de origen mineral con baja capacidad de cubrir superficies usualmente se adhiere a las superficies húmedas.

El arrastre de partículas es notable en los centros urbanos, potenciadas por velocidades del viento $\geq 5\text{m/s}$ y encausadas en calles, vías, callejones.

- AGUA: Las estructuras de concreto sumergidas permanentemente en agua (Pilotes, estribos, espolones, superficies de presas etc.) se ven afectadas por el arrastre de sólidos y su impacto.

Los sólidos actúan como abrasivos

{	ARENAS
	GRAVAS
	LIMOS
	CORPÚSCULOS

que van puliendo y desgastando las superficies en contacto.

Los golpes del oleaje, corrientes, salpicaduras y cambios en la presión hidrostática y dinámica producen efectos de erosión sobre el hormigón.

De la misma manera que los vientos, las olas ejercen fuerzas verticales ascendentes, descendentes, fuerzas horizontales, fuerzas de corte, acciones hidrodinámicas por transición de la energía cinética, succiones, presiones radiales etc.

En zonas de extremo frío, el efecto de los impactos y la erosión se intensifican con el número de ciclos de hielo/deshielo.

- La abrasión – Erosión es también producida por el tráfico peatonal, vehículos ordinarios y vehículos industriales.

6.1 ABRASIÓN – EROSIÓN HIDRÁULICA

El más importante efecto abrasivo es provocado por el agua circulante; se agrava cuando el agua lleva abrasivos (arena, ripios, sedimentos, hielo u otros residuos). Una forma especial de erosión es la provocada por efectos de cavitación, estudiada en: 4.1.3.6.

6.1.1 Mecanismo Físico

El hormigón erosionado expone sus áridos y produce una apariencia de desgaste superficial. La resistencia a la abrasión la proporciona el árido grueso, pues el mortero tiene una resistencia al desgaste inferior a la del árido. Si existe presencia de hielo/deshielo; el agua al llenar los poros y congelarse produce tensiones importantes que rompen localmente la superficie y producen pérdidas del material.

El efecto erosivo elimina la superficie suave y deslizante que debe tener la pieza fundida de concreto.

6.2 DESGASTE

El ensayo que mide la capacidad de desgaste que tienen los agregados, está regido por la norma No. 98 de ICONTEC, y es llamada “DESGASTE EN LA MÁQUINA DE LOS ANGELES”.

Dado que los materiales deben cumplir con esa normatividad, entonces la resistencia al desgaste de un hormigón depende de la cantidad de “finos” que poseen sus agregados. En términos generales se puede limitar el contenido de material fino que posee una arena al valor dado por la norma de INVIAS No. 133 “equivalente de arena” $E.A \geq 85\%$ para arenas usadas en concretos.

7. BIODEGRADACIÓN Y ACCIONES BIOLÓGICAS

Además de los factores químicos y fisicoquímicos, pueden intervenir en los procesos de corrosión factores biológicos.

La bioerosión, la biocorrosión y otros daños biológicos se presentan fundamentalmente en ambientes acuosos (aguas permanentes, estancadas, de inundación, industriales). Son causados por: organismos, microorganismos, colonias, incrustaciones de origen animal o vegetal, que al encontrar biorreceptividad en el concreto, desarrollan sus actividades vitales.

El concreto les ofrece: agua (“donde hay agua hay vida”), nutrientes, superficie de colonización y anclaje, temperatura apropiada y en general ambiente propicio.

Los organismos forman biocapas, costras gelatinosas, capas mucilaginosas en sus procesos químicos de crecimiento, excreción y muerte; sus excretas facilitan reacciones fisicoquímicas de descomposición.

Los microorganismos segregan sustancias ácidas orgánicas e inorgánicas que catalizadas por el agua, erosionan y degradan las superficies expuestas.

En muchas construcciones marinas y costeras se ha encontrado que los organismos causantes del ataque al concreto provienen de procesos anteriores de biorremediación, que cumplieron su función pero que igualmente permitieron su adaptación al medio y se hicieron litófagos.

La mayoría de organismos degradadores del concreto tienen notable presencia en aguas de mar, aunque muchos de ellos medran y se multiplican en aguas dulces (ríos, quebradas estancadas, subterráneas, servidas) o simplemente en áreas muy húmedas.

Hoy conocemos que la especie de bacterias aeróbicas llamadas Tiobacterias (géneros BEGGIATOIA, THIOTRIX) produce sulfatos a partir del H₂S y que tal actividad es perjudicial para el hormigón por los efectos corrosivos de tales sustancias.

También, se conoce que las bacterias anaerobias (géneros SPORO VIBRIO, DESULFURICANS) reducen los sulfatos existentes transformándolos en H₂S, acción esta protectora del hormigón que ha permitido su uso como medios de cultivo defensivo de las estructuras de concreto; a pesar de esto la reducción de los sulfatos a sulfuros de hidrógeno y a sulfuros orgánicos volátiles se da con mucha frecuencia. Estos atacan el interior de las tuberías, suprimiendo la adherencia entre la pasta de cemento y el agregado.

Igualmente se sabe que las bacterias ferruginosas producen corrosión en el hormigón (géneros CRENOTHRIX, LEPTOTHRIX, GALLIONELLA) aprovechan el hierro de las aguas y con el H₂CO₃ de sus funciones vitales, hacen friable y corrosible al hormigón.

Las ferro bacterias son hidrogeno dependientes que usan el hidrógeno disuelto en H₂O para sus procesos metabólicos provocando una diferencia de potencial en el medio circundante. Su accionar está asociado al PITTING – picado del O₂ en la corrosión del acero: CORROSIÓN MICROBIOLÓGICA según TORUNSKY, H. se han observado densidades de perforación en el concreto debido a estos microorganismos de: (4500 – 8200) micro perforaciones por milímetro cuadrado.

Los principales tipos de organismos son:

ENDOLÍTICOS, BIOABRASIONADORES Y BIOPERFORADORES

7.1 MICROORGANISMOS ENDOLÍTICOS (ENDO = DENTRO, LITIS = PARTIR)

Además de los daños por ácidos los organismos endolíticos penetran al concreto hasta profundidades de un milímetro lo perforan perpendicularmente, lo atacan químicamente y permiten la entrada de otros agresores.

Este grupo esta constituido por: { ALGAS: (PLANTAS DE ORDEN INFERIOR)
BACTERIAS
LIQUENES Y MUSGOS :(PLANTAS DE
ORDEN SUPERIOR)
HONGOS

ALGAS:

Se ubican en zonas de humedad permanente o en atmósferas saturadas de humedad.

Tiene importancia en daños de hormigones sumergidos, en cuyos poros forman un recubrimiento de filamentos mucosos, de color marrón o verdes, que en cierta forma impermeabilizan la entrada de agentes agresores y sirven de protector del concreto. Se caracterizan por ser comedores de calcio y magnesio.

Presentan colores variados: pardas, verdes, calcáreas.

BACTERIAS:

Pueden ser aeróbicas, anaeróbicas, heterotróficas, autotróficas, sulfooxidantes, quimiolitotróficas, sulforeductoras, cianobacterias, ferruginosas, tiobacterias, oxidadoras de piritas etc.

Los daños en tuberías de concreto en alcantarillados tienen origen bacterial.

Ciertas bacterias generan corrosión por producción de H_2SO_4

LIQUENES Y MUSGOS:

Los líquenes y musgos son plantas de orden superior exigen menos cantidad de agua que las algas. Su alimento lo toman del polvo arrastrado por el viento,

disuelven los componentes del hormigón en ácidos débiles; el hormigón se desmorona exfoliándose; genera decoloraciones en el hormigón y permiten la entrada de agresores como el H_2CO_3 .

Sus raíces pueden profundizarse en el concreto hasta grandes longitudes.

Forman colonias, efectúan su ataque preferentemente a concretos con superficies húmedas, sucias y con materia orgánica.

Su ataque químico les permite colonizar muchas áreas de concreto.

Se distinguen: negros (verrucaria), lecanora, citrina, albescens.

7.2 ORGANISMOS BIOABRASIONADORES

Son caracoles y babosas que raspan la superficie del concreto con la RADULA órgano a manera de lija ubicado en la cabeza.

Luego pasan su cuerpo y remueven el material suelto; raen la superficie, friccionan y producen desgaste. Favorecen el ataque de otros agresores.

7.3 ORGANISMOS BIOPERFORADORES

Este grupo lo conforman los moluscos:

- a. CRUSTÁCEOS (con caparazón).
- b. GASTERÓPODOS (caracoles, babosas).
- c. BIVALVOS (mejillones, limnoerna fortunet, mejillones dorados)
- d. SIPUNCÚLIDOS (gusanos acuáticos).

Este grupo genera cavernas al interior del concreto por accionar químico / mecánico.

Se ubican en las estructuras en contacto con el H₂O: pilotes, estribos de puentes, zapatas, espolones, tablestacados, tuberías de alcantarillado, etc.

Todos estos microorganismos, efectúan su ataque superficialmente y en la medida que avanza la agresión el ph del medio disminuye.

Los mejillones crean su concha a base de CaCO₃ que a manera de ladrillos estratificados fueron pegando con una proteína.

Deben citarse los FOLADES Y BROMAS, que forman galerías y conductos en las masas de hormigón deteriorándolo a extremo de colapso, como ha sucedido en las construcciones del canal de Panamá.

7.4 PREVENCIÓN, SOLUCIÓN, TRATAMIENTO AL BIODETERIORO

- Los morteros son más biorreceptivos que los concretos.
- Ha sido costumbre, someter las zonas afectadas a procesos de lavado con ácidos (tánico, oxálico, muriático), con efectos secundarios perjudiciales por el uso masivo de los ácidos.
- Hidrolavado, para remover las conformaciones usando: cepillo metálico, agua, jabón.
- Terminados / acabados muy lisos para evitar la penetración y formación de biocapas.
- Uso de aditivos inhibidores de formación de algas, líquenes, hongos, mohos, levaduras.
- En estructuras de fácil acceso, se recomienda mantenimiento permanente.
- Uso de pinturas, epóxicos, repelentes.
- Es bueno resaltar el hecho de que unos 300 módulos huecos de cemento de hasta 600 Kg de peso .(forma esférica), se han usado para resucitar los arrecifes coralinos en el Cabo de la Vela, formando una barrera de 1 kilómetro que permite repoblar de peces dicha bahía.

- Dentro de dichos módulos florecen organismos que atraen los peces y dan vida a la fauna marina: algas, estrellas de mar, crustáceos etc.
- Se han establecido sistemas de protección del hormigón mediante el uso de bacterias, creando muros de defensa biológica en medios de cultivo a base de salvado, de trigo, paja triturada, arcilla y agua; según estudios hechos por el INSTITUTO DE GEODESIA E INVESTIGACIÓN DE SUELOS Y TERRENOS. Budapest. 1.980.

SEGUNDA PARTE

8.0 TRABAJO DE CAMPO

Los defectos en casas o edificaciones se deben, básicamente a cuatro causas primarias, las cuales pueden presentarse individualmente o combinadas: un mal diseño, baja calidad en la mano de obra, falta de apego de la construcción al diseño original y factores no contemplados en el diseño.

Dentro de este último ítem, ubicamos la agresión medioambiental sufrida por las edificaciones objeto de este estudio y cuyos agresores fueron estudiados en la primera parte.

Las observaciones y consultas hechas en el campo de trabajo, nos permiten inferir que dichas edificaciones fueron bien diseñadas y bien construidas y las obras prestaron su función estructural para las cuales fueron creadas, por lo menos en los primeros 15 años; después de lo cual sobreviene un notable deterioro social del sector (a partir de 1968 – 1972), con lo que las edificaciones se vuelven inquilinatos y tierra de nadie.

Los propietarios desestimulados por leyes que favorecían al inquilino, no dieron mantenimiento a sus edificaciones que pronto empezaron a deteriorarse y a cambiar su uso (fabriquillas, talleres, etc.), con lo que el medio ambiente y sus agentes agresores hacen su agosto, al extremo que hoy aproximadamente 180 edificaciones del sector se encuentran totalmente inutilizadas.

En algunas de dichas edificaciones aproximadamente siete fue posible con algún grado de dificultad, adelantar las observaciones necesarias para la ejecución de este estudio.

8.1 ZONA URBANA DE TRABAJO – PLANO DE BOGOTA

El sector centro de Bogotá, comprendido entre la avenida Jiménez (calle 11-12-13) y la calle 26 y limitado por las carreras 14 (avenida caracas) y la carrera 22, es la

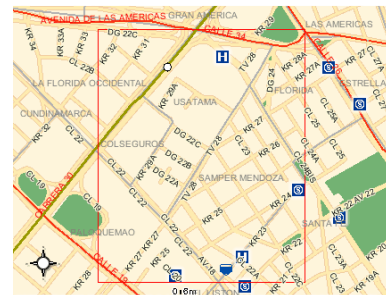
zona urbana objeto de la observación. Incluye los barrios: SANTAFÉ, SAMPER MENDOZA, ESTACIÓN Y CEMENTERIO.

Ha sido escogida para tal efecto, debido al deterioro natural y continuo, que la ha convertido en laboratorio real disponible.

El sector a pesar del descuido administrativo de la ciudad parece formar parte de planes urbanísticos que quieren hacer de él, un Down – Town (ciudadela dentro de la gran ciudad) con programas de construcción y remodelación totales.

En las siguientes direcciones pudimos entrar y constatar daños medioambientales en pisos, columnas, cubiertas, etc.:

- Carrera 20 # 23-43 (4 Pisos)
- Carrera 19A # 23^a-44 (3 Pisos)
- Avenida 22 # 21-37(4 Pisos)
- Carrera 22 # 22^a-94 (2 Pisos)
- Avenida calle 22 #19-01 (4 Pisos)
- Calle 22 # 18-69 (4 Pisos)
- Calle 16 # 17-28 (3 Pisos)
- Calle 18 #16B-35 (4 Pisos)
- Carrera 16^a con calle 24 (Esquina sur-occidental) (3 Pisos)
- Transversal 17 · 23^a-16 (2 Pisos)
- Avenida calle 22 # 18-33 (3 Pisos)



8.2. DATOS CLIMATICOS DE BOGOTA CORRESPONDIENTES AL AEROPUERTO “EL DORADO”

**(PROMEDIOS ANUALES DE LOS ULTIMOS 20 AÑOS)
ESTACION METEOROLOGICA 80220 (SKB0) (1987-2007)**

CLIMA: Tropical frío moderado.

LATITUD 4.7 grados norte

LONGITUD 74.13 grados oeste

ALTITUD 2547 metros

T= Temperatura Media (°C): 12.5 – 13.0

TM= Temperatura Máxima (°C): 19.5 – 20.0

Tm= Temperatura mínima (°C):4.5 – 5.9
 SLP= Presión Atmosférica nivel del mar (m.b): (1008-1012)
 H= Humedad Relativa Media (%): (69.1 – 78.4)
 PP= Precipitación total de lluvia (mm): (100 – 150)
 VV= Visibilidad Media (km): (9-10)
 V= Velocidad media del viento (km/h): (7-8) del sur al sureste
 VM= Velocidad máxima sostenida del viento (km/h): (20-22)
 Vg= Velocidad de ráfagas máximas de viento (km/g)
 RA= Total días que llovió (días): 180
 SN= Total días que nevó: 3
 TS= Total días con tormenta: (15-20)
 FG= Total días con niebla: 120
 Promedio de horas de sol/ día= 3.0

Según GEIR BRAATHEN científico de la OMM (Organización meteorológica mundial) en los últimos 20 años se ha incrementado la concentración CO₂ en 9.5% y el promedio anual de los últimos 20 años es de 250 (p.p.m) partes por millón.

El oxido Nitroso (NO₂) ha mantenido un promedio de 230 p.p.m al año.

La temperatura se ha incrementado en 0.6 °C en los últimos 30 años.

Todos los incrementos anteriores ocurren por fuentes vehiculares. Según convenio Dama – Universidad de los Andes, Banco de la República, se viene realizando un inventario de emisiones para Bogotá y se encontró con emisiones totales (Fijas+ móviles) por día en KG, en los últimos 15 años son:

CO	500.000
MP	10.000 (Material Particulado)
NOX	35.000
SOX	15.000
CH4	100.000
C02	4.500.000
COVNM	30.000 (Precursores de ozono Troposférico) (Compuestos orgánicos volátiles no metálicos)

Valores que nos sirven para comprobar que efectivamente existe una agresión a todo cuanto se halle sumergido en dicho ambiente, puntualmente a las estructuras de concreto.

8.3 DESCRIPCION DEL MEDIO AMBIENTE DEL LUGAR OBJETO DE LAS OBSERVACIONES

- Podemos considerar que el medio ambiente reinante en la zona de estudio, es el mismo que el reinante en términos generales para Bogotá – Dorado, aunque son válidas algunas modificaciones:
- Hay mayor concentración de SO_x, CO_x, NO_x, CH₄, ya que la densidad de la población >3.912 Hab/Km². Además los gases de combustión presentan mayores concentraciones por: presencia del tren de la sabana, quemas permanentes de llantas, hogueras producidas por la población indigente, fundiciones artesanales, materia orgánica en descomposición, etc.
- Vientos de 10 nudos debidos al encañalamiento de calle; con arrastre de partículas ≥ 2.0 mm.
- Calles sin pavimentar, que incrementan la erosión sobre las edificaciones
- Alta concertación de CO₂, por el uso de vehículos viejos
- Las edificaciones carecen de aislamiento térmico, siendo calurosas en verano y muy frías en invierno
- Según consulta hecha en la zona, se presenta una gran oscilación de la temperatura en el año = 5⁰C

8.4 PREDIAGNOSTICO

ES EL PRIMER CONTACTO CON LA ESTRUCTURA.

Es el conjunto de indicios que el autor obtiene de la observación (Aspecto, olor, tacto o incluso sonidos) o por medio de los datos proporcionados por los habitantes del edificio.

Con los cuales verifica el estado: (grado de conservación o deterioro), estima las patologías, agrietamientos, fisuras, desplomes, desgastes, efluorescencias, descascaramientos, etc. En esta parte del proceso se recoge información, se hacen cateos, se toman algunas muestras y se hacen mediciones, estos parámetros se consignan en formatos de campo y se conservan en fotografías, para el proceso analítico del diagnóstico.

Se comparan las estructuras actuales con sus planos originales con los diseños y los procesos constructivos que les dieron vida (normalmente es difícil cumplir con algunos de esos apartes del prediagnóstico). Esta comparación permitiría conocer con más facilidad los factores medioambientales que condujeron al deterioro, permitirían igualmente descartar o no errores puramente estructurales, constructivos o de materiales.

8.5 DATOS DE CAMPO

Las observaciones consignadas en el formato de campo para las diferentes edificaciones, fueron hechas entre noviembre 2006 y julio 2007.

Las fotografías fueron tomadas en su mayoría con una cámara digital Sony CYBERT – SHOT DE 6.0 MEGA PIXFLS.

Hay necesidad de dejar consignado el hecho difícil de la obtención de dichas fotografías, dada la inseguridad reinante en toda la zona objeto de la muestra.

Los habitantes y residentes del sector, se muestran poco colaboradores, temen sobre el alcance que puedan tener las observaciones.

TERCERA PARTE CONCEPTUALIZACION ANALITICA DEL TRABAJO

9.0 EL DIAGNÓSTICO

Es un juicio que el autor establece partiendo de las observaciones pormenorizadas de campo ofrecidas en el prediagnóstico.

El autor confronta, compara, sopesa y coteja tales observaciones con los elementos teóricos de la primera parte que nos ofreció la bibliografía especializada.

El autor busca causas e indicios y sus respectivas consecuencias; desde el único punto de vista presente en este proyecto, el medioambiental.

El diagnóstico de defectos es un procedimiento lógico que parte de los indicios del defecto para llegar a su causa.

La correlación que se hace es estricta y metodológicamente ceñida a la física y a la química de los materiales en juego; y le permite al autor diagnosticar y evidenciar los daños observados.

9.1 ANALISIS EDIFICACION No.1

- La foto No.01 nos da cuenta de la ubicación de la edificación del deterioro por desgaste y erosión total de su fachada.

La edificación está situada en una esquina donde confluyen calles principales. El arrastre de partículas por vientos, la presencia de gases vehiculares, la acción penetrante de CO₂, aunados a la falta de mantenimiento en el tiempo; permiten observar que la erosión y el desgaste de los morteros y ladrillos de fachada es causada por los agentes medioambientales citados.

Fundamentos: 4.2.2 y 6.0.

- Las fotos Nos.2, 4,8, indican formación de mohos, mancha negra o mancha de humedad de paredes y techos en áreas aproximadas de 400 cm² cada una.
- Son debidas fundamentalmente a la falta de aislamiento térmico de la edificación y a la condensación de la humedad ambiental (>80%), que con el paso del tiempo permiten la acumulación de polvo, mugre, mohos, bacterias litófagas, que erosionan los morteros de pega y pañete.
Fundamentos: 1.6 y 7.1

Adicionalmente la pérdida del acabado protector permite que la incidencia sobre los productos del cemento, sea muy activa, manifestándose en desmoronamientos y erosiones fáciles de producirse con el paso ligero de la mano.

- Las fotos Nos: 3 y 5. Delatan el efecto físico de la poca adherencia en la interfase: Mortero – madera, que se da al paso del tiempo por las dilataciones térmicas diferenciales: Mortero ($\alpha= 10 \times 10^{-6}$ cm/cm/⁰C), madera ($\alpha=1 \times 10^{-7}$ cm/cm/⁰C).

Dilataciones y contracciones repetidas por ΔT , producen fisuras, agrietamientos y descascaramientos, por movimientos diferenciales en los dos materiales.

Fundamentos: 1.5

- La foto No.6, corresponde a una columna interior del segundo piso, denota un avanzado estado de desmoronamiento y pérdida de sección.

La fisuración y desmoronamiento del material se presenta a una altura de 1.80 MS, sobre el nivel de la placa de piso.

Declaraciones de ex residentes de la edificación, aseguran que adjunto a la columna funcionó la cocina de petróleo y que en muchas oportunidades, con algún mortero pobre, arreglaron los daños recurrentes de la columna.

Dados los antecedentes podemos inferir lo siguiente: la producción de gases, en la cocina: (vapor de agua, CO₂, gases orgánicos, etc.) promovieron la carbonatación de la superficie de la columna y debido a su

poco recubrimiento (3.0cms), se corrosionó muy fácilmente el acero de refuerzo y produjo los desprendimientos consiguientes, observables en la fotografía, se midió la profundidad de la carbonatación con fenolftaleina (1%) y se obtuvo $X > 40$ Mm.

Fundamentación: 4.2.2.1 y 5.2

- Las fotos Nos.7 y 9 corresponden a la placa del tercer piso. La manifestación del daño se materializa en casi el 50% del área de la placa.

Manchas grises rojizas que calcan la longitud del acero de refuerzo

La porosidad de la placa debida a un concreto pobre, permite deducir un caso de carbonatación: la humedad primero se encarga de destruir la pintura, seguidamente el ascenso de CO₂ y más humedad han permitido el proceso químico de la carbonatación del concreto con corrosión del acero de refuerzo, cuya capa pasivadora se ha ido perdiendo por acidificación.

La grieta ha comprometido la estabilidad de la estructura, su profundidad de 3.5 cms ha contaminado todo el acero superficial y rompe e interrumpe la continuidad y el monolitismo de la placa.

Fundamentación: 4.2.2.1 y 5.2.1

- La foto No.10 corresponde a la placa del cuarto piso. En la totalidad de su área se observan manchas de color negro y blanco.

Las manchas negras como ya lo hemos observado, corresponden a humedad, acumulación de polvo, mugre, hongos y bacterias.

Las manchas blancas, pulverulentas y a manera de talcos, fácilmente desprendibles, originadas por la presencia permanente de aguas lluvias dada la carencia de tejas protectoras en la cubierta; indican un proceso de lixiviación que hacen las aguas "puras" de lluvia sobre la cal deslavada a través del hormigón.

Los recubrimientos blancos son las eflorescencias calizas que debilitan al hormigón sacándole sus compuestos cementantes.

Es notorio el ablandamiento y desmoronamiento superficiales

Fundamentación: 1.6, 4.1.3.7 y 4.1.3.7.1

- La foto No.11, corresponde a una viga perimetral de corona (cubriera) del cuarto piso, atacada por algas, líquenes y musgos. Su superficie es fácilmente desmoronable.

Es evidente la bioperforación producida por estos vegetales que se desarrollan a partir de elementos químicos, acompañados de humedad.
Fundamentación: 7.1

9.2 ANALISIS DE LA EDIFICACION No.2

DIRECCION: Calle 16 # 17-28
No. de Pisos: 3.

- Fotografías Nos. 13, 14, revelan el daño producido a través de los años de una instalación sanitaria que ha vertido sus fugas en un muro de concreto posterior de la edificación.

El daño ha existido aproximadamente hace 10 años y ha tenido arreglos muy superficiales.

Los contenidos ácidos del vertimiento han corroído el concreto del muro y lo han fracturado, produciendo un daño estructural en el mismo.

La fotografía No.14 deja ver una superficie muy accidentada y poco lisa

Fundamentación: 4.2.3 y 4.2.3.1

- Fotografía No.15, dada la falta de ventilación de la edificación, la humedad en la placa del segundo piso se manifiestan manchas negras de condensación de agua, acompañadas de líquenes, hongos, polvo y material particulado grueso, nos ofrecen el estadio inicial de la carbonatación.

Fundamentos dados en 1.6 y 7.1

- Fotografías Nos. 16-17, manchas eflorescentes blancas, en aproximadamente toda el área de la placa.

Al no existir presencia permanente y abundante de agua que nos pudiera hacer pensar en lixiviación; podemos razonar del siguiente modo:

Hay presencia de ácido carbónico, formado por vapor de agua + CO₂ que terminan produciendo bicarbonato, el cual aflora por su gran solubilidad, dando el color blanco y el ablandamiento superficial del concreto observados.

Fundamentación: 4.2.3 y 4.2.3.1

- Fotografías Nos. 18, 19 y 20, corresponden a la placa de cubierta o techo del tercer piso.

Se observan aquí manchas gris – rojizas en el 60% de la placa que muestran diferentes intensidades de color.

Las fotografías 19 y 20 muestran grietas que calcan el acero de refuerzo, el cual presenta grados de oxidación diferentes, aunque la acción corrosiva es aquí menos drástica porque existe una marquesina de cubierta.

Las superficies observadas ofrecen alta resistencia al raspado. Lo anterior nos hace pensar en la acción de la carbonatación en diferentes estados de agresión, mostrándose más avanzada en los sitios donde el acero de refuerzo se ha corroído.

Argumentación: 4.2.2.1, 5.1, y 5.2

- Fotografía No.21, corresponde a una viga de amarre en la cubierta que inexplicablemente fue fundida sin continuidad perimetral total.

Independientemente de su defecto estructural esta altamente contaminada de mugre, polvo, hongos, mohos y deslaves de cal, producidos por ácidos menores y amenaza resquebrajamiento en sus bordes.

Argumentación: 1.6, 7.1 y 4.2.3

9.3. ANALISIS DE LA EDIFICACION No.3

DIRECCION: Carrera 16^a calle 24, esquina
La edificación está ubicada en un sitio de alta contaminación por emisiones vehiculares.

- Fotografías No.22 y 23, corresponden a la fachada de la edificación. Es manifiesto el desgaste y erosión de los materiales porosos de fachada (ladrillos, recubrimientos, morteros).
Argumentación: 6.0
- Fotografías No.24 y 25, corresponden a la placa del primer piso y a la zona de un patio interior (12 m²) donde se almacenaron durante muchos años los productos químicos usados en tipografía, litografía y fotocopia (artes graficas): reveladores, ácidos, disolventes, emulsiones, etc.

Se observa la corrosión y aspereza superficiales de la placa de piso producida por la pérdida de los componentes cementantes del concreto, dejando a la vista los agregados gruesos.

Indudablemente el ataque de los ácidos, amoniacales y nítricos por los derrames superficiales de estas sustancias condujeron la agresión.
Argumentación: 4.2.3 y 4.2.3.1

- Fotografías No.26, 27 y 28, corresponden a la placa del primer piso. Representan manchas de aceite y lubricantes.
- La fotografía No.28 representa la rotura de las partes de concreto contaminadas con aceites, combustibles y lubricantes que son sustancias bloqueadoras de la hidratación (fraguado, secundario y eterno del hormigón) y de los enlaces iónicos y covalentes de la estructura cristalina del concreto.
Argumentos: 4.2.4.2
- Fotografía No. 29, 30,31 y 32, corresponden a la escalera entre el primero y segundo piso.
Fotografía No.29, corresponde a la escalera, la cual en su huella y contra huella perdió el recubrimiento de enchape granítico.
- Las fotografías No.30, 31 y 32, corresponden a diferentes tomas (hechas con alguna dificultad) de la viga externa y de la contra huella de la escalera entre los niveles del primero y segundo piso. Se pueden observar en ellas figuraciones casi hexagonales de (1-2) milímetros de profundidad y distribuidas de forma errática sobre la superficie. Dichas fisuras tienden a profundizarse y a inutilizar la escalera la cual esta fracturada entre los pisos 2 y 3.

Analizando la agresión, podemos establecer que es propia de la reacción álcali / agregado, más puntualmente debida a la reacción álcali silicato promovida por el cemento usado en la fundida de la escalera, el cual seguramente tuvo en su composición altos contenidos de álcalis.

Desechamos la idea de agregados reactivos porque el problema seguramente se hubiera manifestado también en otros sitios de la mezcla.

Fundamentos: 4.1.2.1, 4.1.2.1.1 y 4.1.2.1.3

- Fotografía No.33, muro exterior del segundo piso
Presenta manchas negras en aproximadamente una tercera parte del área del muro, propias de la condensación de la humedad, alimentadas con suciedad y partículas orgánicas que dan origen a mohos, hongos y bacterias litófagas, se experimentan fáciles desprendimientos superficiales con la mano.

Argumentación: 1.6 y 7.1

- Fotografía No.34, columna (machón) del segundo piso (debe verse verticalmente).

El elemento vertical hecho en concreto simple corresponde a uno de los cuatro existentes por piso y ubicados en las respectivas esquinas del piso.

No se conocen planos de la edificación; tal parece que estos elementos fueron construidos después de la construcción del edificio, con el objeto de darle más rigidez.

El machón en cuestión, como todos los otros fue montado del piso segundo al techo del tercero y al no poseer una junta de dilatación apropiada, las continuas tracciones y comprensiones por temperatura terminaron fatigando al material.

El elemento presenta desbordes, falta de alineamiento y tiende a colapsar.

Argumentación: 1.5

- Fotografía No.35, corresponde al tercer piso
Al quitar un viejo tapete de un apartamento del tercer piso, se puede observar la fisuración, en forma de figuras casi repetidas.

Todo hace pensar que sí existió un problema de álcali – agregado que afectó las escaleras. Dicha reacción pudo darse aquí por el uso de los mismos materiales.

Las grietas a pesar de su poco espesor tienen alguna profundidad (3.0 mm), que afectan estructuralmente toda la placa.
Argumentos dados en 4.1.2.1.3 y 4.1.2.1.4

De otro modo podemos pensar en la retracción plástica (1-7 días) que sufre el hormigón por evaporación superficial (retracción capilar).

9.4 ANALISIS EDIFICACION No.4
DIRECCION: CALLE 18 # 16B-35
No. PISOS: 4

Solamente se hicieron observaciones en el sótano el cual por sugerencias del autor, está próximo a ser reparado.

- Fotografías No.38, 39, 40, 41 y 42 corresponden al techo abovedado del Sótano.

Es notoria la presencia de manchas de humedad (80%) por condensación, el sótano no posee ventilación de ninguna clase, lo cual ha generado estas manchas con presencia de mohos, hongos y bacterias, que se descaman fácilmente con la mano.

El color gris – rojizo, gris bermellón de las manchas, hace pensar en el uso de un cemento con altos contenidos de C4AF (Browmillerita), compuesto este que ante la presencia de humedad origina manchas ferrosas.

Los excesos de hierro, forman sales expansivas que deslaminan las superficies del concreto.

Argumentación: I.1, 1.6

- La fotografía No.40, presenta el agrietamiento de un sector del abovedado del sótano; todo parece indicar que el agrietamiento es de origen constructivo y no ha ofrecido peligro a través de los años; sin embargo es potenciador de otras agresiones.
- Fotografía No.43, corresponde a la viga de contorno del sótano y muestra unas excrescencias pulverulentas de color gris – blancuzco desprendibles con poco esfuerzo, no pueden tener otros orígenes (dados el aislamiento del sótano) que en las aguas subterráneas (nivel freático) selenitosos y duros de la sabana de Bogotá.

A pensar del nivel freático profundo de la zona (15,0 – 18,0 MS) si existe un nivel de aguas colgante (3.0 – 5.0 MS) que puede incidir en el arrastre de sales.

Argumentación: 4.2.1.2

- Fotografías No.44, 45 y 46, muestran la presencia en las paredes del sótano, de bacterias, hongos y mohos, rojos y rojizos.

Las condiciones ambientales del sitio, con altas temperaturas ($T > 15^{\circ}\text{C}$), alta humedad relativa ($> 80\%$) y ventilación nula son apropiadas, para la formación de mohos y hongos del género micelio (rojos y oscuros) grandes comedores de yeso y morteros.

A largo plazo la corrosión superficial se manifiesta. La superficie de la placa de concreto del sótano, presenta zonas blandas, erosionables al tacto.

Argumentos: 7.1

9.5 ANALISIS DE LA EDIFICACION No.5

DIRECCION: CALLE 22 No: 18-69
No: PISOS 4, FOTOGRAFÍA No.47

- Fotografías Nos.48, 49, 50, 51, 52; corresponden al primer piso.
- La fotografía No.48 deja ver la acción erosiva y corrosiva del agua de la tubería, sobre una viga de amarre transversal de la edificación. La acción se ha desarrollado a lo largo de los años.
- Las fotografías Nos.49, 50 y 51; reflejan la corrosión y desgastes reinantes en diferentes tramos de las vigas de amarre – mixtas (Concreto, acero, ladrillo) que afloran en el primer piso como reemplazando o complementando la cimentación.

El primer piso ha servido de depósito de muchos negocios que han funcionado en la edificación.

- La fotografía No.52 corresponde al sector del patio donde depositan y transvasan hipoclorito (Decol, cloros, límpido). Se nota en ella la acción

corrosiva del cloro sobre la placa de piso que de igual modo que los sulfatos expande y destruye las superficies de manera que produce pequeñas fisuras las cuales sumadas dan una gran grieta paralela a la superficie, que termina descascarando y descamando la superficie de la placa por la formación del cloro aluminato de calcio, poco cementicio.

Fundamentación: 4.2.1.3.2

- Las Fotografías 53, 54 y 55; corresponden a la placa del segundo piso (H.R.=85%).
Las manchas observadas poseen una área central de color oscuro o rojizo ($A \approx 400 \text{ cm}^2$), que identifican zonas con diferentes grados de carbonatación.

Las de reciente carbonatación son altamente resistentes, pero con el paso del tiempo y la entrada permanente de CO_2 se van debilitando aumentando el área de ablandamiento.

Dicho núcleo oscuro esta rodeado de una zona húmeda y de colores más claros que identifican el avance de la humedad que primeramente se ha encargado de destruir la capa de pintura y de servir de agente transportador de agresivos.

Cuando el avance de la carbonatación es manifiesto, se oxida el acero de refuerzo al alcance (Fotos Nos.53 y 54).

Argumentación: 4.2.2.1

- Fotografías Nos. 56, 57, 58 y 59; corresponden a la placa del tercer piso.

La humedad es ligeramente menor del 80%, son manchas típicas del proceso de carbonatación en etapas menos avanzadas que las correspondientes a la placa del segundo piso. Los colores más claros (No.58, 59) corresponden a la etapa inicial del proceso.

La fotografía No.56 podríamos decir que corresponde a la edad adolescente de la carbonatación y la fotografía No.57 a la edad adulta.

Argumentación: 4.2.2.1

- Las Fotografías Nos.60, 61 y 62 corresponden a placas y paredes del cuarto piso.

La humedad es cercana al 80%. En el piso funciona una fábrica de embutidos, sin las técnicas adecuadas de higiene, calidad y seguridad.

Dos grandes calderas emiten permanentemente vapores, grasas, ácidos orgánicos e inorgánicos, los cuales se controlan con una pequeña chimenea poco visible.

Las manchas son de color negras, rojizas y grasosas.

Los conservantes de las carnes: nitratos, nitritos y sales dejan su impronta corrosiva en las paredes. (El techo es enmaderado).

La acción de NO, N₂, NO₃, producen acción expansiva y destructora sobre los elementos de cemento a manera de lluvia ácida, se observa su agresión a la viga de amarre (fotografía No.62), cuyo deterioro por corrosión y pérdida de sección es ostensible.

Argumentación: 4.2.3.2.1

9.6 ANALISIS DE LA EDIFICACION No.6

DIRECCION: TRANSVERSAL 17 # 23^a – 16
No. PISOS: 2, MAS TERRAZA INTERIOR

- Fotografía No.63, corresponde a la fachada de la edificación, totalmente corroída y erosionada por acciones múltiples (humedad, arrastre de partículas, ataque de CO₂, etc.), las aguas lluvias son absorbidas por la superficie extremadamente porosa de su fachada, la cual está hecha en ladrillo y mortero (4.0 cms).

La porosidad ha contribuido a su evaporación. La acción de los vientos aunada a los ciclos de humedecimiento y secado, han destruido la fachada la cual presenta manchas de hongos y depósitos de líquenes verdes.

Argumentación: 2.0, 6.0, 7.0

- Fotografías Nos. 64, 65, 66 y 67, corresponden a la placa del primer piso.

La placa ha perdido el baldosín de recubrimiento. Su textura de placa de

concreto que alguna vez fue lisa y terminada, parece un barrial de lodo, a manera de cuarteos en zigzag y de baja resistencia.

Referencias de los vecinos confirman allí el funcionamiento por muchos años de un depósito y fabrica de enyesados para construcción, el cual dejó de funcionar aproximadamente hace dos años.

La textura de la placa, permite atribuir tal daño a corrosión por iones sulfato. Su corrosión a manera de desgaste granuloso es indicadora de la formación excesiva de etringita.

Fundamentos dados en: 4.2.1.3.3 y 4.2.1.3.4

- Fotografías Nos.68 y 69 corresponden a la placa maciza del segundo piso.

Las vistas corresponden al techo del primer piso, dejan ver la formación de gránulos o condensaciones del hormigón; a manera de superficie deslavada de la pasta cementante.

El agregado grueso aflora al perderse la pasta de cemento. Los agregados del concreto pierden cohesión.

Todo indica ataque químico, por los ácidos procedentes del depósito de materiales. Fundamentos: 4.2.3 y 4.2.3.1

- Fotos Nos.70, 71, 72 y 73, corresponden a la plaquita de terraza, vistas como techo del segundo piso.
- Las Fotografías Nos.70 y 71, describen en toda la extensión de la losa el avance de la carbonatación y la corrosión de los aceros de refuerzo, que han inutilizado y colapsado la placa. Han contribuido al daño observado; la humedad, el oxígeno y el CO₂ del intemperismo. Argumentación: 4.2.2.1 y 4.2.2.1.1
- Las fotografías Nos.72 y 73 corresponden a los muros del segundo piso, cuyos morteros han sido destruidos por las algas y líquenes formados a partir de la humedad, las esporas arrastradas por los vientos y las sustancias químicas, han producido bioperforación en los morteros de pañete y de pega y ablandamiento del material.
Argumentos: 7.0 y 7.1

9.7 ANALISIS DE LA EDIFICACION No.7

DIRECCION: CALLE 22 # 18 – 33 (3 PISOS)

La edificación ofrece una estructura sólida la cual si bien presenta daños significativos, pueden ser reparables.

La edificación construida hace 30 años, se diseño para cinco pisos , pero solo se terminó con tres.

Lo anterior hace pensar que la estructura está sobre diseñada y a pesar de esto, los agentes medioambientales están desarrollando su acción destructiva.

El edificio como la mayoría de las construcciones del sector está en cierta forma abandonado por la incertidumbre en la disposición final de las construcciones al declarar al barrio “zona de tolerancia”.

En los pisos bajos de la edificación, funcionaron durante muchos años, negocios variados, entre ellos, depósito de cilindros de gas domiciliario.

La observación se limitó a las placas de piso, que muestran deterioro progresivo.

- Las fotografías Nos.75, 76, 77, 78 y 79 corresponden a la placa del segundo piso.

Particularmente las fotografías Nos.75, 77 y 78 muestran la acción del CO₂, sus efectos de carbonatación y el posterior ablandamiento por el lavado de la sal bicarbonato.

En las fotografía Nos.77 y 79, las manchas rojizas denotan la acción de la corrosión del acero de refuerzo, en la medida que el frente de carbonatación, destruye la capa pasivadora.

La manifestación de la corrosión se hace expresa en las fotografías Nos.76 y 79, en la cual la corrosión permite observar el óxido magna férrico formado.

Se midió la profundidad de las grietas y su promedio $r = 3.5$ cms indica que la corrosión está actuando al interior de la masa de concreto. Las grietas potencian el ingreso de otros contaminantes que aceleran el daño.

Fundamentos: 4.2.2.1 y 5.2.1

- Las fotografías Nos.80, 81, 82, 83, y 84, corresponden a la placa del tercer piso.

Se manifiesta en ellas el avance de la carbonatación, la generación de grietas y la acción de agentes biológicos; mohos, algas y líquenes cuya erosión es manifiesta.

Fundamentos: 4.2.2.1, 5.2.1, 7.0 y 7.1

9.8 INDICADORES DE AGRESIÒN

HUMEDAD H.

Qué tipo de humedad hay?

La humedad está generalizada o es irregular?

Si aparece en el piso se trata de la planta baja?

Si se aparece en la pared.

Se trata de una pared interior o de una exterior?

H. Dónde está la humedad?	Qué tipo de humedad?			
	Asociada con lluvia	Asociada con el clima frío/ húmedo	Semi permanente	Temporada no asociada a la lluvia o al clima frío y húmedo
Sótano		H1	H1	
Planta baja			H2	H4
Pisos en general				H4
Pared cercana al nivel del suelo.			H3	
Parte interior de paredes / muros exteriores	H5			
En toda una pared		H6		H6

DEFECTO	HUMEDAD EN LOS SOTANOS H1	DEFECTO	HUMEDAD EN SÓTANO H1
LOCALIZACIÓN	Sótanos	LOCALIZACION	Sótanos
INDICIOS	La humedad es visible en paredes y pisos. En casos severos el agua puede filtrarse a través de paredes o pisos o estar siempre presente.	Daños producidos sobre el concreto y los morteros	H11. Meteorización, gránulos, eliminación de cementación superficial. Superficies ásperas que dejan al descubierto, los agregados. H12. Manchas blandas o blancas grisáceas, áreas fácilmente desintegrables. H13. Manchas negras con acumulación de polvo, fácilmente erosionables. H14. Manchas combinadas, blancas y negras, áreas deleznales.
CAUSAS	1- El H2O subterránea que se encuentra bajo presión penetra en las juntas constructivas 2- Penetración de la humedad del subsuelo a través de las cuarteaduras de las paredes del sótano. 3- Condensación se produce por lo general cuando se usan calentadores de ambiente.	Correspondientes indicadores de daño:	1. Transporte de sales (sulfatos y cloruros) provenientes del sub-suelo. 2. Lixiviación de calizas del cemento por aguas puras (Blandas). 3. Condensación por falta de ventilación (aislamiento térmico). 4. Aguas duras, carbonatáceas provenientes del subsuelo.

DEFECTO	HUMEDAD SEMIPERMANENTE H3	DEFECTO	HUMEDAD SEMI-PERMANENTE H3
LOCALIZACIÓN	Paredes cerca nivel del suelo	LOCALIZACION	Paredes cerca nivel del suelo
INDICIOS	Se observa humedad semipermanente, en las superficies de la pared desde el nivel del suelo hasta aproximadamente 75 cms, ó, en casos severos aún más arriba. Los acabados están húmedos, avejigados, decolorados, o secos y despegados de la pared, a causa de los depósitos de sal.	Daños producidos sobre el concreto y los morteros	H31. Manchas de variado color. Si se alcanza el acero de refuerzo adquieren color rojizo. Fácil desportillamiento y descascamiento del material. H32. Manchas de variado color, con acumulación de hongos, ablandamiento del material. H33. Descascamiento superficial , masivo.
CAUSAS	Este tipo de humedad se debe a una ó más de las siguientes causas: 1. Falta de capa aislante 2. Flujo lateral por fuera de la capa aislante 3. Daño (falla) de la capa aislante.	Correspondientes indicadores de daño:	1. Aguas de todo tipo carbonatáceas, duras blandas, ácidas, selenitosas. 2. Aguas de todo tipo: carbonatáceas, duras, blandas selenitosas. 3. Aguas de todo tipo: carbonatáceas, duras, de filtraciones hidráulicas, servidas.

DEFECTO	HUMEDAD NO ASOCIADA CON LLUVIA Ø CON LA CONDENSACIÓN H4	DEFECTO	HUMEDAD NO ASOCIADA CON LLUVIA Ø CON LA CONDENSACIÓN H4
LOCALIZACIÓN	Techos y pisos	LOCALIZACION	Techos y pisos
INDICIOS	Manchas húmedas en techos y pisos que no están cerca de paredes exteriores	Daños producidos sobre el concreto y los morteros	H41. Mancha húmeda de variado color originada por agua que termina siendo transporte de agresores. Desprendimiento, meteorización del concreto en el área de la mancha. H42. Mancha húmeda con gotera, fácilmente detectable . Produce arrastre de los materiales del concreto. Produce erosión y desprendimientos de la zona lavada.
CAUSAS	Fugas en tuberías. Fugas en juntas	Correspondientes indicadores de daño:	1. Fugas de aguas potables de alta pureza. Fugas de agua servida de instalaciones sanitarias. 2. Aguas de acueducto de tuberías o depósitos, con poca o baja concentración de sales.

DEFECTO	HUMEDAD PERSISTENTE H2	DEFECTO	HUMEDAD PERSISTENTE H2
LOCALIZACIÓN	Placas de concreto en planta baja	LOCALIZACIÓN	Placas de concreto en planta baja
INDICIOS	La superficie del piso está siempre húmeda, excepto en clima muy seco. El acabado del piso se encuentra totalmente húmedo, cubierto de moho o podrido.	Daños producidos sobre el concreto y los morteros	H21. Manchas de agua en toda la extensión de la placa. Mancha gris oscura, genera deterioro (desmoronamiento) a largo plazo y potencia el daño al piso bajo por evaporación. H22. Manchas localizadas. El mismo daño anterior pero ahora localizadas puntualmente.
CAUSAS	1. Ausencia e ineffectividad de la membrana aislante. La humedad sube desde el suelo El acabado del piso retiene la humedad que debería evaporarse. 2. Si la humedad está restringida al perímetro se debe a la falta de unión correcta entre la membrana aislante y la capa de recebo aislante.	Correspondientes indicadores de daño:	1. Inundación por aguas totales de nivel freático, la cual puede ser portadora de iones de azufre, cloro, magnesio, etc. 2. Inundaciones por partes según las fluctuaciones del nivel freático.

DEFECTO	PAREDES Y MUROS CON HUMEDAD ASOCIADA CON LLUVIA H5	DEFECTO	PAREDES Y MUROS CON HUMEDAD ASOCIADA CON LLUVIA H5
LOCALIZACIÓN	Paredes Y Muros	LOCALIZACIÓN	Paredes Y Muros
INDICIOS	<p>Los elementos de acabados de las superficies interiores de muros y paredes exteriores que están expuestos a lluvias, se ven húmedos después de estas. Al secarse la pared, se observan manchas. También puede haber manchas de indicios de desarrollo de moho debajo de la superficie.</p> <p>Se presentan ciclos de humedecimiento y secado.</p>	Daños producidos sobre el concreto y los morteros	<p>H51. La humedad cubre toda la pared o es parcial. Mancha colorida según los contenidos de browmillerita del cemento. La mancha aparece después de la lluvia.</p> <p>H52. Manchas de humedad con mohos que van colonizando el sector y pueden reducir la cementación de la superficie.</p>
CAUSAS	<ol style="list-style-type: none"> 1. La pared no puede resistir la penetración directa de la lluvia debido a la intensidad de esta: se deterioran las juntas de albañilería o de acabado. 2. Mal drenaje en ductos y canales de bajada de agua. 	Correspondientes indicadores de daño:	<ol style="list-style-type: none"> 1. No ofrece peligro. Es causada por la capilaridad y porosidad de muros y morteros. 2. Los mohos son aero e hidro transportados. Ofrecen daños en el material a largo plazo.

DEFECTO	HUMEDAD ASOCIADA CON LA CONDENSACIÓN H6	DEFECTO	HUMEDAD ASOCIADA CON LA CONDENSACIÓN H6
LOCALIZACIÓN	Paredes	LOCALIZACIÓN	Paredes
INDICIOS	La humedad generalizada o en manchas aparece en sitios fríos.	Daños producidos sobre el concreto y los morteros	H61. Aparecen gotas de agua que no dependen de la lluvia y que van conquistando áreas que se llenan de polvo y moho; generando manchas color oscuro. H62. Zonas del concreto con manchas de agua y color rojizo en zonas del acero de refuerzo.
CAUSAS	1. La causa más común es la condensación del vapor de agua en el aire cuando entra en contacto con superficies frías. El clima frío, la mala ventilación el aislamiento térmico defectuoso, etc. 2. Condensación en el interior de la pared 3. Aguas residuales.	Correspondientes indicadores de daño:	1. Se debe a que el aire y su vapor de agua contenido alcanzan la temperatura llamado PUNTO DE ROCIO y se condensa. 2. Condensación de H ₂ O que ha alcanzado la superficie de recubrimiento y potencia la corrosión.

TEMPERATURA T.

Qué tipo de temperatura existe?

La temperatura es constante o irregular?

La afectación de la temperatura se produce sobre el concreto o los morteros en las etapas de mezclado?

De fraguado?

De curado?

De edad reciente?

De edad Adulta?

T. EN QUÉ CONSISTE EL DEFECTO?	DÓNDE ESTA EL DEFECTO?		
	CONCRETOS ESTRUCTURALES	MORTEROS DE PAÑETE	MORTEROS DE PEGA
Disminución de la resistencia mecánica inicial	T1	T1	T1
Disminución de la resistencia mecánica final.	T2	T2	T2
Agrietamiento por congelamiento y ciclos de hielo / deshielo.	T3	T3	T3
Agrietamiento por ciclos de fatiga: calor/ frío.	T4	T4	T4

DEFECTO	DISMINUCIÓN DE LA RESISTENCIA POR BAJA TEMPERATURA EN: MEZCLADO, VACIADO, FRA GUADO CURADO T1	DEFECTO	DISMINUCIÓN DE LA RESISTENCIA POR BAJA TEMPERATURA EN: MEZCLADO, VACIADO, FRA-GUADO CURADO T1
LOCALIZACIÓN	Estructura integral, morteros de pega y de pañete	LOCALIZACIÓN	Estructura integral morteros de pega y de pañete
INDICIOS	Se observa desarrollo no homogéneo de la resistencia. Cuarteaduras y agrietamiento general desprendimiento por falta de auto soporte del peso propio. Sensación de endurecimiento sin desprendimiento de calor.	Daños producidos sobre el concreto y los morteros.	T11. La estructura no desarrolla su resistencia de manera homogénea. Aparecen tramos débiles que no soportan su peso propio, formación de grietas. T12. La estructura desarrolla su resistencia pero esta no alcanza los valores de diseño. Los morteros no pueden retener el agua. T13. La estructura no permite la desformateada programada hasta mucho tiempo después.
CAUSAS	1. Ejecución de las operaciones de mezclado a menos de 5°C 2. Falta de atención al proceso de curado. El que seguramente se desarrolló también a muy baja temperatura. 3. Al no desarrollarse el proceso de fraguado, con el suficiente calor de hidratación muchas de sus reacciones pueden aletargarse y no reiniciarse.	Correspondientes indicadores de daño.	1. Es debido a que el concreto o mortero no pudo realizar sus reacciones químicas de fraguado por no tener la energía calórica adecuada. 2. El concreto no tuvo el tiempo necesario para desarrollar sus procesos reológicos de fraguado. 3. No hubo el desarrollo de los tiempos de fraguado, pero la buena atención en el curado le permite su recuperación.

DEFECTO	DISMINUCION DE LA RESISTENCIA MECÁNICA FINAL POR ALZAS DE TEMPERATURA EN EL CONCRETO TIERNO. T2	DEFECTO	DISMINUCION DE LA RESISTENCIA MECÁNICA FINAL POR ALZAS DE TEMPERATURA EN EL CONCRETO TIERNO. T2
LOCALIZACIÓN	Grandes superficies con espesor reducido. Morteros de albañilería	LOCALIZACIÓN	Estructura total preferentemente en grandes superficies con pequeños espesores Morteros de albañilería
INDICIOS	En los procesos de mezcla y aplicación de fraguado, curado y tempranas edades, el concreto se observa muy seco. Se generan grietas de retracción plástica en mucha cantidad y en tiempos menores de cinco (5) días. Grietas con distribución aleatoria, aunque imitando la piel de cocodrilo.	Daños producidos sobre el concreto y los morteros.	T21. Concretos y morteros con resequedad y deshidratación. Pérdida de la cohesión y meteorización de las superficies. T22. Grietas de retracción plástica, abundantes. T23. Grietas de retracción capilar, las cuales pueden alcanzar el acero superficial de refuerzo.
CAUSAS	1. El concreto se deshidrata por alta temperatura 2. La aplicación se hace con mucha lentitud 3. Uso de cementos con alto contenido de AC3. 4. Procesos de mezcla y aplicación sin protección solar ni de vientos. 5. Curado ineficiente	Correspondientes indicadores de daño.	1. Pérdida prematura del agua de reacción química. 2. Falta de protección (solar, viento) de la superficie fundida. 3. Concreto mal compactado. Valores de A/C indebidos Mal curado.

DEFECTO	AGRIETAMIENTO POR CONGELACION Y CICLOS HIELO/DESHIELO T3	DEFECTO	AGRIETAMIENTO POR CONGELACION Y CICLOS HIELO/DESHIELO T3
LOCALIZACIÓN	Estructura total de concreto y morteros de albañilería	LOCALIZACIÓN	Estructura total de concreto morteros de albañilería
INDICIOS	Agrietamientos de tracción, se notan como en alto relieve (de dentro hacia fuera), ubicados en piezas de concreto congeladas, permiten el descascaramiento del material de afuera hacia dentro, con gran facilidad. La estructura es inutilizada por esta acción.	Daños producidos sobre el concreto y los morteros.	T31. Aparición de agua líquida que filtra de dentro hacia fuera de la estructura. T32. Abultamientos de la estructura en las zonas congelación. T33. Fragilidad en las zonas de congelación.
CAUSAS	1. Congelación del agua interior del concreto o mortero. (El agua congelada ocupa un volumen 9% mayor que el agua líquida). 2. La expansión por aumento del volumen crea esfuerzos de tracción hasta 50 Kg/cm ₂ mayores que la resistencia del concreto a la tracción.	Correspondientes indicadores de daño.	1. Valores de temperatura por mas de tres (3) días, menores de 4°C. 2. Congelación de estructuras ubicadas a la intemperie. 3. Por ciclos repetidos de hielo/deshielo.

DEFECTO	AGRIETAMIENTO POR CICLOS DE FRÍO/CALOR (FATIGA TÉRMICA) T4	DEFECTO	AGRIETAMIENTO POR CICLOS DE FRÍO/CALOR (FATIGA TÉRMICA) T4
LOCALIZACIÓN	Estructura total de concreto morteros de albañilería	LOCALIZACIÓN	Estructura total de concreto morteros de albañilería
INDICIOS	Elementos estructurales: vigas, columnas, codales, etc., con deficientes o nulos empotramientos. Elementos estructurales con deficientes o nulas juntas de dilatación, pueden presentar desgaste en los apoyos= rezago de cortante. Grietas de tracción perpendiculares al acero de refuerzo. Grietas longitudinales y paralelas al acero de refuerzo.	Daños producidos sobre el concreto y los morteros.	T41. Grietas profundas de tracción perpendiculares a los aceros longitudinales que interrumpen la continuidad y el monolitismo. Bajan la resistencia del elemento. T42. Grietas profundas a lo largo del acero de refuerzo, que indican la pérdida de cohesión del concreto y la armadura.
CAUSAS	1. Cambios (ΔT) de temperaturas intensas pero poco frecuentes. 2. Cambios (ΔT) poco intensos pero frecuentes. 3. Estructuras de concreto cercanas a emisiones de energía.	Correspondientes indicadores de daño.	1. Cambios de temperatura, lo suficientemente grandes para crear ΔL diferencial entre el acero y el hormigón. 2. Cambios repetidos que friccionan y erosionan la fase concreto – acero.

REACCIONES ALCALI – AGREGADO

R.A.A.

Qué tipos de reacciones se dan?

Son Frecuentes?

Qué cementos las producen?

Qué agregados son propicios?

Qué daños producen?

Son tan graves?

EN QUÉ CONSISTE EL DEFECTO?	DÓNDE SE PRESENTA EL DEFECTO?	
	CONCRETOS Y MORTEROS CON CEMENTOS MUY RICOS EN ALCALIS	CONCRETOS MORTEROS CON AGREGADOS REACTIVOS
Generación de un gel muy reactivo pero poco resistente, en la interfase pasta agregado. Gel de gran volumen	RAA11	RAA12
Generación de sales altamente expansivas. Geles de menor volumen	RAA21	RAA22
Descomposición del carbonato de calcio por acción de los álcalis.	RAA31	RAA32

DEFECTO	REACCIÓN ALCALI – SILICE RAA1	DEFECTO	REACCIÓN ALCALI – SILICE RAA1
Localización	Cualquier elemento de la estructura. Superficie. Morteros de pañete.	Localización	Cualquier elemento de la estructura. Superficie. Morteros de pañete.
Indicios	Agrietamientos en forma de mapas con parches de formas hexagonales sobre la superficie. Agrietamientos con fisuras (1-3) mm., de profundidad. Climas de alta temperatura y alta presión atmosférica. Afectación de grandes áreas.	Daños producidos sobre el concreto y los morteros	RAA 11. Fisuras a manera de piel de cocodrilo de dimensiones aproximadas 20X20 CMS y 3mm de profundidad, que cuando se manifiestan el mal casi es irreversible. RAA 12. Fisuras mas erráticas en forma, pero tratando de mantener el formato hexagonal. Fisuras de menor tamaño aproximadamente 10X10 CMS y 3mm de profundidad.
Causas	1. Agregados de origen volcánico 2. Cementos con altos contenidos de álcalis 3. Medio Alcalino con $pH > 14$ 4. Vertimientos de álcalis (soda, potasa cáustica) sobre las superficies del concreto. 5. Sales de deshielo.,	Correspondientes indicadores de daño	1. Uso de cementos con: $Na_2O + K_2O \geq 0.6\%$ ó sodio equivalente $> Na_2O + 0.68 < K_2O$ 2. Uso de agregados de origen volcánico y textura vítrea: (ópalos, cristobalitas, andesitas, riolitas).

DEFECTO	REACCIÓN ALCALI – SILICATO RAA2	DEFECTO	REACCIÓN ALCALI – SILICATO RAA2
Localización	Cualquier elemento de la estructura. Superficie. Morteros de albañilería.	Localización	Cualquier elemento de la estructura. Superficie. Morteros de albañilería.
Indicios	Presencia de agrietamiento superficial mapeado en formas casi hexagonales con dimensiones aproximadas 5X5 CMS y profundidades ≤ 3.0 mm. Si las superficies están protegidas, no hay posibilidad de observar los indicios.	Daños producidos sobre el concreto y los morteros.	-RAA21 cuarteaduras continuas en forma hexagonal o casi hexagonal, que debilitan y descascaran la pieza de concreto de fuera hacia dentro. Destrucción masiva de la zona afectada. - RAA22 desprendimiento del volumen afectado, a manera de efecto erosivo en gran masa.
Causas	1- Fundamentalmente, se debe a los agregados gruesos (gravas) con contenidos de ácidos silícico o salicílico, que reacciona con los álcalis del cemento. 2- Formación de sales: silicato de sodio, o silicato de potasio, altamente expansivos. 3- Uso de sales de deshielo.	Correspondientes indicadores de daño	1- Uso de agregados reactivos, provenientes de rocas volcánicas: ópalos, cristobalitas, riolitas, chert, etc., que reaccionan con cementos de alto contenido de álcalis. 2- Uso de agregados muy reactivos con cementos de no muy alto contenido de álcalis. Uso de agregados poco reactivos con cementos de alto contenido de álcalis.

DEFECTO	REACCIÓN ALCALI CARBONATO RAA3	DEFECTO	REACCIÓN ALCALI CARBONATO RAA3
Localización	Cualquier elemento de la estructura, superficie morteros de albañilería.	Localización	Cualquier elemento de la estructura. Superficie. Morteros de albañilería.
Indicios	Atmósfera muy húmeda, concretos que presentan fraguados muy rápidos. Ablandamiento de las superficies afectadas (zonas puntuales o áreas totales).	Daños producidos sobre el concreto y los morteros	RAA31. Hinchamientos por zonas de la superficie de concreto. RAA32. En presencia de H ₂ O el concreto tiende a lavarse (perder su cementación).
Causas	Uso de agregados calcáreos de grano fino, con presencia de contenidos arcillosos. Uso de agregados dolomíticos C _a Mg (CO ₃) ₂ .	Correspondientes indicadores de daño	1- La desdolomitización de las gravas hace que se fracturen, y aumente el volumen de la pieza afectada. El uso de gravas carbonatáceas debe ser limitado. 2- La brucita formada: Mg (OH) ² , es fácilmente soluble y lavable, pues no tiene resistencia cementante hidráulica.

ATAQUE DE ÁCIDOS A.

En qué consiste?

Dónde se presenta el daño?

Qué gravedad presenta?

Qué sucede con el acero de refuerzo?

Cómo se identifica el daño?

EN QUÉ CONSISTE EL DAÑO?	DÓNDE SE PRESENTA EL DAÑO?		
	ESTRUCTURAS DE FABRICACIÓN O ALMACENAMIENTO DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS	AGUAS RESIDUALES	SOBRE SUPERFICIES EXPUESTAS A LA LLUVIA ÁCIDA.
Superficies desgastadas y granuladas	A11	A12	A11
Corrosión del acero de refuerzo	A21	A22	A23
Lixiviación de los productos interiores del concreto	A21	A22	A23

DEFECTO	DISOLUCIÓN DE LA CAPA EXTERIOR DE CARBONATOS DE LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO A1	DAÑO	DISOLUCION DE LA CAPA EXTERIOR DE CARBONATOS DE LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO A1
LOCALIZACIÓN	Superficies de las estructuras	LOCALIZACIÓN	Superficies de las estructuras
INDICIOS	Pérdida de la textura lisa de los elementos estructurales. Desagregación superficial de los compuestos del concreto. Granulosidad superficial lixiviación (salida) de sustancias solubles.	Daños producidos sobre el concreto y los morteros	A11. Al perderse la textura lisa de las superficies, queda un área desgastada, granulosa y de fricción. A12. La anterior superficie, permitirá la salida de sales del cemento que se hidrosolubilizan por acción de los ácidos.
CAUSAS	Ácidos transportados por: aire, agua, suelo. Sustancias que dan lugar a la formación de ácidos (SO ₄ , SO ₃ , NO ₂ , NO ₃ , etc.).	Correspondientes indicadores de daño.	1. ácidos de acción despreciable a moderada. 2. Ácidos de acción moderada a rápida.

DEFECTO	DESINTEGRACIÓN DE LA MASA DE CONCRETO A2	DAÑO	DESINTEGRACIÓN DE LA MASA DE CONCRETO A2
LOCALIZACIÓN	Masa interna de elementos estructurales en contacto con agresores ácidos.	LOCALIZACIÓN	Masa interna de elementos estructurales en contacto con agresores ácidos.
INDICIOS	Pérdida superficial del concreto y salida de productos por estas porosidades dando lugar a manchas claro – oscuras y de humedad en toda la superficie afectada.	Daños sobre el concreto y los morteros	A21. Pérdidas de sección de piezas estructurales, con textura de gran rugosidad. A22. Desmoronamiento importante de sectores afectados. A23. Superficies granulosas desgastadas a manera de salpicaduras.
CAUSAS	Lluvia ácida de regular frecuencia a permanente. Contacto con aguas residuales industriales o domésticas. Suelos ácidos arcillosos o con precursores de acidez. Contacto con ácidos de alta solubilidad.	Correspondientes indicadores de daño.	1. Agentes ácidos muy activos. 2. Agentes ácidos muy activos, muy concentrados y muy móviles. 3. Lluvia ácida permanente.

ATAQUE DE IONES Y SALES I.

En qué consiste la agresión?
 Dónde se presenta?
 Cómo se desarrolla?
 Cuál es su manifestación?
 Qué lesiones produce?

EN QUÉ CONSISTE EL DAÑO?	DÓNDE SE PRESENTA EL DAÑO?			
	ESTRUCTURAS EN CONTACTO CON AGUAS DE LAGOS, PANTANOS, SELENITOSAS SUBTERRÁNEAS	ESTRUCTURAS EN CONTACTO CON AGUAS LIXIVIADAS DE ABONOS MINERALES Y DE MATERIAS FECALES	ESTRUCTURA EN CONTACTO CON AIRE DE DESCOMPOSICIÓN AERÓBICA DE PLANTAS.	ADITIVOS DEL CONCRETO (ACELERANTES)
Afloraciones superficiales blancas, escamaciones	I11	I12	I13	I11
Expansiones, grietas, fisuras, debilitamiento al interior de la masa del concreto.	I21	I22	I23	I11
Corrosión del acero de refuerzo.	I21	I21	I21	I21

DAÑO	FORMACION DE COPOS ALGODONOSOS (BLANDOS Y BLANCOS) QUE DEBILITAN LA MASA DEL CONCRETO. I1	DAÑO	FORMACION DE COPOS ALGODONOSOS (BLANDOS Y BLANCOS) QUE DEBILITAN LA MASA DEL CONCRETO. I1
LOCALIZACIÓN	Superficies de las piezas de concreto	LOCALIZACIÓN	Superficies de las piezas de concreto
INDICIOS	Abultamientos suaves al tacto. Fácil desagregación con los dedos Esponjamientos blancos.	Daños producidos sobre el concreto y los morteros	I11. Formación de brucita $Mg(OH)_2$, que carece de cementación y descama el concreto. I12. Formación de yeso $CaSO_4$, adicional y expansivo, que hincha el concreto y lo deslaminan en sus superficies. I13. Pérdida de portlandita que meteoriza al concreto. I14. Desmoronamiento de las juntas de mortero entre ladrillos.
CAUSAS	Acción del $MgSO_4$ que al interactuar en AC3 forma yeso adicional expansivo, que es el que se observa. Presencia de aguas subterráneas ricas en magnesio.	Correspondientes indicadores de daño.	1. Aguas selenitosas, aguas estancadas de lixiviación que actúan por salpicadura o en la zona de mareas. 2. Aguas subterráneas con acción sobre las superficies del concreto. 3. Aguas y aire que contiene sustancias en descomposición de plantas y vegetales. 4. Ataque general de sulfatos.

DEFECTO	DESCOMPOSICION Y ABLANDAMIENTO AL INTERIOR DE LA MASA DE CONCRETO, CON EXCRECENCIAS SUPERFICIALES BLANCUZCAS. I2	DAÑO	DESCOMPOSICION Y ABLANDAMIENTO AL INTERIOR DE LA MASA DE CONCRETO, CON EXCRECENCIAS SUPERFICIALES BLANCUZCAS. I2
LOCALIZACIÓN	Masas de concreto en contacto con el agua agresora.	LOCALIZACIÓN	Masas de concreto en contacto con el agua agresora y/o suelos arcillosos.
INDICIOS	Colores blancuzcos de las excrecencias superficiales. Ablandamiento de la zona periférica a la excrecencia. Pérdida de la cementación de la masa de concreto. Desgaste granuloso superficial. Oxidación del acero de refuerzo.	Daños sobre el concreto y los morteros	I.2.1. Agrietamiento del revestimiento del acero. I.2.2. Desgaste superficial granuloso I.2.3. Transformación de la masa sólida del concreto en una masa pastosa.
CAUSAS	Sales de cloro, magnesio, azufre, aguas de mar, sal común, etc., que al reaccionar con compuestos de cemento originan sales más solubles que drenan del interior de la masa de concreto. Aquella fracción que permanece al interior del concreto se cristaliza y se expande, creando tracciones desintegradoras.	Correspondientes indicadores de daño.	1. Ataque por cloruros 2. Ataque por sulfatos 3. Ataque por aguas selenitosas

CARBONATACION C.

Qué es?

Dónde se presenta?

Cómo se desarrolla el proceso?

Qué sucede con el acero de refuerzo?

C. EN QUÉ CONSISTE EL DEFECTO?	DÓNDE SE PRESENTA EL DEFECTO?	
	POROS PARCIALMENTE LLENOS DE AGUA EN CONCRETOS Y MORTEROS.	POROS TOTALMENTE LLENOS DE AGUA EN CONCRETOS Y MORTEROS
Manchas grises con tonalidades claras y oscuras en zonas de humedad.	C11 C12 C13	C11
Manchas rojizas calcando los aceros de refuerzo.	C21	

DEFECTO	MANCHAS CON CENTROS OSCUROS Y ALREDEDORES CLAROS. FÁCIL EROSIONABILIDAD C1	DEFECTO	MANCHAS CON CENTROS OSCUROS Y ALREDEDORES CLAROS. FÁCIL EROSIONABILIDAD C1
LOCALIZACIÓN	Sitios de la estructura con presencia permanente de humedad y concurso de CO ₂	LOCALIZACIÓN	Sitios de la estructura con presencia permanente de humedad y concurso de CO ₂
INDICIOS	Mancha que crece gradualmente con el tiempo. (Crecimiento lento). Mancha con radiación a partir de un centro. Mancha cuyo centro es blando y sus alrededores con buena dureza. Mancha con exudación blanquecina.	Daños sobre el concreto y los morteros	C11. Debilitamiento de zonas puntuales del hormigón. C12. Exudación (salida) de materiales cementicios desde cierta profundidad del hormigón. C13. Escamaciones, caída de partes, erosionabilidad de grandes zonas.
CAUSAS	1. Presencia de agua sin saturación total. 2. Material (concretos – morteros) poroso 3. Presencia de CO ₂ 4. Zonas de humedecimiento y secados permanentes. 5. Formación de ácido carbónico en la superficie de las estructuras.	Correspondientes indicadores de daño.	1. Carbonatación en estadios primarios. 2. Carbonatación, avance medio de la enfermedad. 3. Estado avanzado de la enfermedad.

DEFECTO	MANCHAS ROJIZAS QUE SIGUEN LA LONGITUD DEL ACERO DE REFUERZO AGRIETAMIENTOS. C2	DEFECTO	MANCHAS ROJIZAS QUE SIGUEN LA LONGITUD DEL ACERO DE REFUERZO AGRIETAMIENTOS. C2
LOCALIZACIÓN	Sitios de la estructura con presencia permanente de humedad y de CO2.	LOCALIZACIÓN	Sitios de la estructura con presencia permanente de humedad y de CO2.
INDICIOS	Agrietamiento color rojizo a lo largo del acero de refuerzo. Enbombamiento en las líneas de refuerzo grietas que se profundizan con el tiempo, dejando ver el acero de refuerzo. Presencia de óxido en la grieta longitudinal.	Daños sobre el concreto y los morteros	C21. Despasivación de la capa protectora del acero de refuerzo, por acidificación, con pérdida de continuidad (monolitismo) entre el concreto y el acero de refuerzo.
CAUSAS	1. Aceros de refuerzo con escaso recubrimiento 2. Concretos mal compactados (mala impermeabilidad, alta porosidad). 3. Disminución del PH de la zona afectada, por presencia de ácido carbónico. 4. Uso de concretos con A / C > 0.5.	Correspondientes indicadores de daño.	1. Carbonatación que presenta un frente avanzado. Oxidación, corrosión simple o electro-química del acero de refuerzo. 2. Carbonatación con compromiso de la adherencia del acero y del concreto.

CONCLUSIONES

En el comportamiento de una mezcla de concreto estructural, se deben tener en cuenta aproximadamente 200 variables que tienen que ver con los materiales, los métodos de diseño los procesos constructivos, la agresión, medio ambiental y las técnicas de control. Los agentes contaminantes son cada vez más abundantes y peligrosos.

La misma razón que nos asiste para no poder diseñar estructuras de control de inundaciones basándonos en los datos históricos, ya superados; nos lleva a pensar que todas las actividades humanas deberán rediseñarse ante el desafío de la sostenibilidad.

Así como el desarrollo de la física nos sacó de la idea de la tierra como centro del universo, igualmente esta nueva visión del hormigón, nos permitirá tener estructuras más resistentes y durables.

Como no existen ensayos universales que permitan predecir o medir con algún mínimo grado de acierto la durabilidad del concreto, el autor se apoya en medidas indirectas; porosidad, permeabilidad, desgaste, manchas, eflorescencias, escamaciones, pérdidas de masa, etc., cualidades físico químicas que no siempre son suficientes.

Tampoco existen estudios para considerar la concentración de una sustancia como peligrosa y casi siempre se presenta el concurso de varias sustancias agresivas en un mismo ambiente con lo cual se pueden neutralizar sus efectos, ser más benignos o sumar su agresividad. Dada la existencia de miles de variables, tampoco se ha establecido un modelo matemático que mida el comportamiento del material ante la agresión.

Esto es: "Retracciones por un solo concepto, son imposibles de medir, más bien se calcula la suma de todas las retracciones".

Las conclusiones alusivas a este trabajo de concreto se pueden referenciar a las personas del oficio, a los materiales, a los procesos constructivos, a las agresiones medioambientales y a la obra analizada.

DE LAS PERSONAS DEL OFICIO:

- La información dada por el constructor al propietario de vivienda es deficiente en lo que toca a su durabilidad a la afectación medioambiental y a factores mecánicos.
- La adquisición de un vehículo ofrece más garantías al comprador que las que se pueden obtener para una vivienda.

Los constructores deberían estar en la obligación de dar una garantía de la edificación, proteger al propietario de la indefensión actual y crear la obligatoriedad de una inspección periódica en tiempo y modo definibles; como sucede con la adquisición de vehículo.

- La mano de obra constructiva debe especializarse. Se está pasando del arado al palustre sin preparación y este proceso no ofrece resultados positivos.
- Debe existir de modo manifiesto, el trabajo multidisciplinar, buscando el objetivo común de producir mejores concretos:

Químicos en la ingeniería de la construcción e ingenieros civiles y arquitectos en la química.

DE LOS MATERIALES:

- Exigir una buena proporción de cemento en las mezclas para tener una buena reserva alcalina y a su vez una baja relación agua cemento (A/C).
- Contar con una resistencia mínima del concreto.
Fijarla por ejemplo en $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$., equivalente a siete (7) bultos de cemento por M^3 .
Establecer: $A/C \leq 0.50$ y recubrimiento $\geq 4.0 \text{ cms}$.
- El concreto puede ser perdurable, dependiendo del mantenimiento en tiempo y modo según sus usos y entorno.
- Por esos mecanismos de transporte que actúan hacia el interior del hormigón

- este debe ser hermético, poco permeable y poco poroso.
- La investigación mundial de materiales ofrece grandes expectativas futuras para el uso del concreto.

La academia de ingenieros de EE.UU. trabaja en la seguridad de estructuras metálicas y de hormigón pretensado, concretamente en problemas de corrosión bajo tensión. Donde materiales que tienen un comportamiento dúctil, se pueden volver frágiles en presencia de agentes agresivos, aceros que se vuelven frágiles por la presencia de humedad.

- El continuo estudio sobre el comportamiento del cemento con otros materiales (Arcillas ignifugadas, asfaltos, fillers, llenantes, CO₂, supercrítico, etc.), sumado a una mayor toma de conciencia ambiental como consecuencia del agotamiento de los recursos naturales, la necesidad de reducir el consumo de energía en los procesos constructivos, la obligación de aprovechar los materiales existentes ya explotados, la necesidad de reducir los costos, hacen que el estudio del cemento, del concreto y otros productos afines, sea creciente y de capital importancia en el mundo moderno.
- Los productores de cemento deberán tener en cuenta el concepto cada día más usado de módulo de agresividad (M.A.)

$$\text{M.A. } \frac{\% \text{SiO}_2 + \% \text{Fe}_2\text{O}_3}{\% \text{CaO} + \% \text{MgO} + \% \text{Al}_2\text{O}_3} = [0.25-0.40]$$

Índice usado en Europa, que significa que a mayor valor, habrá mayor resistencia del hormigón a la corrosión.

DE LAS ESTRUCTURAS:

- La tendencia cada vez mayor a construir edificios en concreto a la vista, sistemas de muros estructurales y no sistemas aporcados y el deseo cada vez mayor de que al quitar la formaleta quede el concreto terminado nos obliga a controlar más los efectos medioambientales sobre la estructura.
- Que las, construcciones lleguen al final de su vida útil en buen estado de servicio, obligando el cumplimiento de normas y códigos nos hace pensar no

- solo en la resistencia, sino en la durabilidad de la estructura.
- Rehabilitar es muy costoso. Sin embargo ésta que es la reacción más frecuente debe hacerse con el especial cuidado que exige una nueva obra.
- En los procesos estructurales se debe ser más proactivo que reactivo.
- Se deben diseñar las estructuras no solo para las cargas estáticas y dinámicas probables, sino también para las cargas medioambientales posibles.
- Esta nueva, variable, la durabilidad estructural, deberá involucrarse en los procesos de concepción, análisis, diseño, construcción y mantenimiento estructurales; sobre todo en ambientes que favorezcan el proceso de deterioro.
- Los pisos (Placas) como cualquier otro elemento de una obra, pasan desapercibidos, mientras funcionen adecuadamente.

Así como el oficio estructural tiene en cuenta: cargas fijas, puntuales, distribuidas, móviles, etc., deberá igualmente considerar: cambios de temperatura diarios o estacionales, almacenamiento de productos simples o terminados, derrames de sustancias (orgánicas, abrasivas o químicas), problemas bacterianos, consideraciones climáticas, etc.

- Lo ideal es disminuir la patología constructiva, con prevención en la planeación, el diseño y la construcción.

DE LA AGRESIÓN:

- La carbonatación, la corrosión, el ataque ácido y las agresiones de la humedad son con mucha ventaja los mecanismos más agresivos de deterioro de las obras estudiadas en nuestro trabajo.
- Los ataques de sales, iones, reacción álcali agregado y lixiviación, son factores agresivos menores en nuestro trabajo.
- La lluvia ácida y el smog fotoquímico son factores preponderantes en el daño de fachadas, observable en nuestra área de experimentación.
- El medio ambiente de los edificios estudiados es moderado pero se han

- acumulado en el tiempo, los agresores por falta de mantenimiento.
- La naturaleza del hormigón, el proceso de la hidratación, las acciones atmosféricas, la naturaleza de los componentes hacen que las fisuras sean consustanciales con el material.
- El mantenimiento de las edificaciones ante las agresiones medio ambientales es un aspecto que requiere de la atención de propietarios, habitantes, contratistas y supervisores.
- El diagnóstico exacto del problema aunado a la elección de la solución adecuada, es la base del éxito en un programa de mantenimiento.
- Nuestro Lema:
Menos SAP, más control ambiental y más
RECUBRIMIENTO .

DE LA OBRA ANALIZADA

EDIFICIO No.1 No. PISOS 4

DIRECCION: AV. CALLE 22 # 19-01

Según las observaciones y datos tomados "IN SITU" más el respaldo argumental de la teoría especializada, el edificio se vió gravemente afectado por las siguientes agresiones, a través del tiempo.

AGRESIONES ILUSTRADAS EN LA TEORIA	DAÑOS GENERICOS	AGRESION DESCRITA
4.2.2	A2	Gases atmosféricos
6.0	A2	Erosión desgaste
1.6	T4	Aislamiento térmico
7.1		Acción micro orgánica
1.5	T4	Cambios del L. por T
4.2.2.1	C1	Carbonatación
5.2	C21	Corrosión
5.2.1	C21	Corrosión electroquímica
4.1.3.7	H2	Lixiviación

El colapso total de la edificación pudo haberse presentado hace aproximadamente 6 – 7 años cuando la profundidad de carbonatación alcanzó el recubrimiento $r=3.5$ cms, hoy la profundidad de carbonatación es de : $X= K\sqrt{t}= 7.85\sqrt{35}=4.65$ cms

CONCLUSIÓN:

El colapso total del edificio se produjo por carbonatación, la cual potenció los diferentes grados de corrosión y facilitó la entrada de fluidos al medio.

EDIFICIO No.2 No. PISOS 3

DIRECCION: CALLE 16 # 17-28

Según las observaciones y datos tomados "IN SITU" más el respaldo argumental de la teoría especializada, el edificio se vió gravemente afectado por las siguientes agresiones, a través del tiempo.

AGRESIONES ILUSTRADAS EN LA TEORIA	DAÑOS GENERICOS	AGRESION DESCRITA
4.2.3	A2	Acción de ácidos
4.2.2.1	C1	Carbonatación
5.1	C21	Corrosión
5.2	C21	Corrosión electroquímica

CONCLUSIÓN:

El colapso total de la edificación aún no se ha presentado; por que la profundidad de carbonatación en 30 años fue alcanzando el valor de:

Factor de corrosión $0.70 \times 7.85 = 5.5$

$X = 5.5 \sqrt{30} = 30.12$ Mm. y el r (recubrimiento) = 3.5 cms.

Pero la falla es inevitable que se presente si no hay reparación y se presentará por carbonatación potenciada por la acción agresiva de ácidos.

EDIFICIO No.3 No. PISOS 3

DIRECCION: CRA 16ª CALLE 24 ESQUINA

Según las observaciones y datos tomados “IN SITU” más el respaldo argumental de la teoría especializada, el edificio se vió gravemente afectado por las siguientes agresiones, a través del tiempo.

AGRESIONES ILUSTRADAS EN LA TEORIA	DAÑOS GENERICOS	AGRESION DESCRITA
4.2.3	A1.1 Y A1.2	Ataque de ácidos
4.2.4.2		Grasas, aceites
4.1.2.1	RAA11, RAA12	Reacción álcali- agregado
4.1.2.1.3	RAA2	Reacciones Álcali – silicato
1.6	T4	Aislamiento térmico
7.1		Acción de microorganismos
4.1.2.14	RAA3	Reacción álcali, carbonato

CONCLUSIÓN:

El colapso total de la edificación es un hecho cierto, hoy: $X = 7.85 \times 0.7 \sqrt{40} = 34.75$ Mm. ≈ 3.5 cms valor que fue alcanzado al acero de refuerzo en vigas y columnas.

La falla obedece a un concurso múltiple de agresiones, pero los daños observados en obra hacen creer que la reacción álcali agregado, potenciada por la carbonatación y sus secuelas son las causantes del colapso.

EDIFICIO No.4 No. PISOS 4

DIRECCION: CALLE 18 # 16B - 35

Según las observaciones y datos tomados "IN SITU" más el respaldo argumental de la teoría especializada, el edificio se vió gravemente afectado por las siguientes agresiones, a través del tiempo.

AGRESIONES ILUSTRADAS EN LA TEORIA	DAÑOS GENERICOS	AGRESION DESCRITA
1.6 – 1.1	T1, T2, T3,T4	Aislamiento térmico Altas temperaturas
4.2.1.	I.2.1, I.2.2, I.2.3	Afectación por sales
7.1		Agresión por microorganismos

CONCLUSIÓN:

El edificio no está en riesgo de colapso y según: $X = 7.85 \times 0.60 \sqrt{30} = 25.8$ Mm. puede resistir mínimo: 25 años más prestando su servicio y más si recibe mantenimiento.

Los daños observados son debidos a todas luces al efecto térmico.

EDIFICIO No.5 No. PISOS 4

DIRECCION: CALLE 22 # 18-69

Según las observaciones y datos tomados "IN SITU" más el respaldo argumental de la teoría especializada, el edificio a través del tiempo se vió afectado por los siguientes agresores:

AGRESIONES ILUSTRADAS EN LA TEORIA	DAÑOS GENERICOS	AGRESION DESCRITA
5.2.1		Corrosión electroquímica
4.2.1.3.2	I.2.1, I.2.2, I.2.3	Ataque de iones cloro
4.2.1.3.2	I.2.1, I.2.2, I.2.3	Ataque de sulfatos
4.2.2.1	C1	Carbonatación
4.2.3.2.1	A.1.1 – A.1.2	Lluvia ácida

CONCLUSIÓN:

El colapso total de la edificación esta próximo a darse: $X=0.7 \times 7.85 \sqrt{35}=3.3$ cm. , el cual presenta un valor inmediatamente cercano a $r=3.5$ cm.

El desmoronamiento se llevaría a cabo por la carbonatación y sus secuelas agresivas, potenciada por el ataque de sulfatos y por efectos de la temperatura.

EDIFICIO No.6 No. PISOS 2 (MÁS TERRAZA INTERIOR)

DIRECCION: TRANSV. 17 # 23^a-16

Según las observaciones y datos tomados “IN SITU” más el respaldo argumental de la teoría especializada, el edificio se vió gravemente afectado por las siguientes agresiones, a través del tiempo.

AGRESIONES ILUSTRADAS EN LA TEORIA	DAÑOS GENERICOS	AGRESION DESCRITA
2.0	H.5.1, H.5.2	Humedad Ambiental
6.0 – 7.0	A2	Erosión, desgaste
4.2.1.3.3, 4.2.1.3.4	I.2.1, I.2.2, I.2.3	Agresión ION sulfato
4.2.3, 4.2.3.1	A1.1, A.1.2	Ácidos agresores
4.2.2.1, 4.2.2.1.1	C1	Carbonatación

CONCLUSIÓN:

La construcción actualmente está colapsada: $X=0.7 \times 7.85 \sqrt{40}=3.5$ cm. la realidad describe valores de carbonatación mayores $r=3.5$ cms.

La falla obedece a la acción de los sulfatos y sales, potenciadas por problemas de humedad.

EDIFICIO No.7 No. PISOS 3

DIRECCION: CALLE 22 No. 18-33

Según las observaciones y datos tomados "IN SITU" más el respaldo argumental de la teoría especializada, el edificio se vió gravemente afectado por las siguientes agresiones, a través del tiempo.

AGRESIONES ILUSTRADAS EN LA TEORIA	DAÑOS GENERICOS	AGRESION DESCRITA
4.2.2.1	C1	Carbonatación
5.2.1	C21	Corrosión electroquímica
4.2.2.1	C1	Carbonatación
7.0		Biodegradación
7.1		Acción de microorganismos

CONCLUSIÓN:

La construcción no está actualmente colapsada porque su estructura es muy sólida.

Además $x = 0.7 * 7.85 \cdot 30 = 30 \text{ Mm}$.

Y el recubrimiento $r = 4 \text{ cms}$ lo cual implica que la estructura puede sobrevivir 23 años más.

$$\begin{array}{lll}
 x = k\sqrt{t} & r = k\sqrt{t}1 & t1 = \left(\frac{r}{x}\right)^2 * t \\
 r \rightarrow t1 & & \\
 x \rightarrow t & k = \frac{x}{\sqrt{t}} & r = \frac{x}{\sqrt{t}} * \sqrt{t}1 \\
 & & t1 = \left(\frac{4}{3}\right)^2 * 30 = 53 \text{ años}
 \end{array}$$

Naturalmente que el daño puede ser potenciado por agentes medioambientales que producirán el colapso antes de esta edad pero siempre por carbonatación.

BIBLIOGRAFIA

CAPITULO PRELIMINAR

- CALAVERA., José. Patología de estructuras de hormigón armado y pretensado. Tomo I y II, INTEMAC. Madrid, España. 1.996.
- COMITÉ ACI 224. “Control de agrietamiento de estructuras del concreto”: IMCYC. 1981.
- FERNANDEZ CANOVAS, Manuel. Patología y terapéutica del concreto: DOSSAT. Madrid, España. 1.977
- SANCHEZ DE GUZMAN, Diego. Durabilidad y patología del concreto. Instituto del concreto. Bogotá. 2003.
- MUÑOZ MUÑOZ, Harold Alberto. Estructuras técnicas de construcción aplicadas a edificios. (1º. : 1.999: Bogotá). 1 seminario Concepción estructural de las edificaciones. Bogotá: 1.999.
- MUÑOZ MUÑOZ, Harold Alberto. La vida útil de las estructuras. En: Noticrete. No. 49, Bogotá: (1998): p. 58 – 63.
- GOMEZ C. José Gabriel. Historia del cemento y el concreto. En: Noticrete. No. 39, Bogotá: (1.996) : p: 22 -26.
- GOMEZ C. José Gabriel. Historia del cemento y el concreto. En: Noticrete. No. 40, Bogotá: (1.996) : p: 24 -28.
- SANDINO, Alejandro. “Hormigón”. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.1.976.
- ALLEN. E. Como funciona un edificio. Principios elementales. Gustavo GILI. Barcelona; España. 1.995.

AGENTES MEDIO AMBIENTALES

- MEDINA, Mariano. Iniciación a la meteorología: Biblioteca científica. Barcelona. SALVAT, 1.986.
- SANCHEZ DE GUZMAN, Diego. Tecnología del concreto y del mortero. Edt. Pontificia universidad Javeriana. 1985.
- SANCHEZ DE GUZMAN, Diego. Durabilidad y patología del concreto. Convenio SENA _ ASOCRETO, instituto del concreto. 2003.
- ACI COMMITTEE 201. ACI 201. 1R-92. Guide for making a condition survey of concrete in service, ACI FARMINGTON HILLS; MI USA; 1.992.
- BENTON – Kallender. Manual practico del hormigón. 50 Edt. ATENEO. 1975.

INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA

- ACI COMMITTEE 301. SPECIFICATIONS FOR STRUCTURAL CONCRETE FOR BUILDINGS, Manual of concrete practice, ACI. Detroit, USA. 1975.
- INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO. Durabilidad del concreto. Ed. LIMUSA. México. 1979.
- COLECCIÓN BÁSICA DEL CONCRETO. Construcción de pavimentos. Instituto del concreto SENA. Bogotá. 1.999.
- BEER, Ferdinand; JOHNSTON, Russell y DE WOLF, John. Mecánica de materiales. Ed. Mc'GRAWHILL. México. 2004.
- SEMINARIO Regional de Ingeniería (1, Bogotá, Colombia). La experiencia española en la pavimentación en concreto. ICPC INSTITUTO COLOMBIANO DE PRODUCTORES DE CEMENTO. Cementos Boyacá S.A. 1.989.
- VANDER MERWE, Carel. Física general. Libros Mc'GRAWHILL. Bogotá, Colombia. 1.969.
- HART, F y otros. Atlas de la construcción metálica. Ediciones. Gustavo Gil. Barcelona, España. 1.976.
- PDF. Resistencia al fuego de las estructuras de hormigón. File Format: PDF / ADOBE ACROBAT – WIEW AS HTML. www.asocem.org. Pe / resistencias estructuras hormigón CH – 873 PDF.
- VEGA, L y BURON, M. Durabilidad y Resistencia al fuego de estructuras. Curso de Industrialización. Curso CEMCO 2.004. Instituto de ciencias de la construcción. Eduardo TORROJA.

INFLUENCIA DE LA HUMEDAD AMBIENTAL

- NEVILLE A. M. Metodología del Concreto. En: Instituto Mexicano del cemento y del concreto. Tomo 1, ACI. 1977.
- STEVEN H, Kosmatka; WILLIAC. Panarese. Diseño y control de mezclas de concreto. En: Instituto mecánico del cemento y del concreto. En: Noticreto. No. 68. Bogotá: (2003): P. 32 – 36.
- GOMEZ, Gabriel. Durabilidad del concreto. En: Noticreto. No. 35. Bogotá: (1.995). P. 65 – 72.
- MUÑOZ, Harold A. La ciencia de la patología estructural. En: Noticreto. No. 49. Bogotá: (1.998). P 5 - 63.
- PERENCHIO William. El dilema de la construcción por secado. En: Boletín ICPC. No. 78. Bogotá: (1.997). P. 35 – 38.
- CARDONA, Omar Darío. Daños causados por sismos. En: Noticreto. No. 36. Bogotá. (1.995). P. 22 – 26.
- HERMIDA, German: GONZALEZ, Jaime y ROMERO, Alejandro. La retracción del concreto. En: Noticreto No. 68, Bogotá: (2.003): p: 32 – 36.

DE LA PRESIÓN ATMOSFERICA

- A.C.I. Comite 516. High Pressure Steam Curing: Modern Practice and properties of Autoclaved Products” Proceedings, Vol. 62. American Concrete institute. Detroit. Mich. August. 1.965. P. 819 – 908.
- SANCHEZ DE GUZMAN, Diego. Durabilidad y Patología del Concreto. Bogotá, Colombia. 2.003.
- BLACKWOOD, Oswald. High School Physics. Ginn and Company. Boston, EE.UU. 1.951.
- Tarbuck, Edward J. Ciencias de la Tierra. Pearson. Bogotá. 2.005.
- MEDINA, Mariano. Iniciación a la metodología. Biblioteca Científica Salvat, Barcelona, España. 1.986.
- INSTITUTO DEL CONCRETO, Cartilla JOSE concreto. ASOCRETO. Bogotá, Colombia. 2003.

INFLUENCIA DE SUSTANCIAS Y RECCIONES QUÍMICAS

- GARCIA ARENAS, j. Química analítica. 2 Ed. UIS. Bucaramanga, Colombia. (1.967): p: 50 – 65.
- TAYLOR, H.F.W. La química de los cementos. Ediciones URMO. Bilbao, España. (1.967): p: 3 -20.
- LEET Y JUDSON. Fundamentos de la Geología física. Limusa. México. 1.977.
- Neville, M.A. Tecnología del concreto. 2 Ed. México Edt. IMCYC. Tomo 2, 394pp, tomo 1, 415pp. 1.977.
- ACI. Sección centro y sur de México. Guía para la durabilidad del concreto. Suplemento Mejicano del informe del comité ACI 201. En: Guía del consumidor del concreto profesional. 1.996.
- MENA FERRER. Reacción álcalis sílice en el concreto. Causas, efectos y medios de prevención. En: Revista IMCYC. México. Agosto, 1983.
- BICZOK IMRE. Corrosión y protección del hormigón. URMO, S.A. de ediciones. Bilbao, España. 1978.
- COLOMER, Juan. Medina de la rosa E. La aluminosis. Centro de la cultura popular Canaria. España. 1.9999.

ATAQUE QUÍMICOS POR AGUAS

- GRUNAU, Eduard. Lesiones en el hormigón, reparación y protección. Ediciones CEAC. Barcelona, España. 1988.
- CALLEJAS, J. Corrosión de armaduras en el hormigón armado y pretensados. Instituto Torroja. Barcelona, España. 1.966.
- MAYOR GONZALEZ, Gerardo. Materiales de construcción. Libros M`cgrawhill. ATLAMOCULCO. México. 1.980.
- SHEWMON, P. Diffusion in solids. 2 nd. Edition. The materials Society, 1.989.
- Johnson, S.M. Deterioro, conservación y reparación de estructuras. Blume ed. Madrid, España 1.973.
- RUSSO, C. Lesiones en edificios, SALVAT ed. Madrid, España. 1.951.
- HELENE, Paulo R. La agresividad del medio y la durabilidad del hormigón. AATH. No.10. p: 25 – 35 Marzo 1983.

CORROSIÓN DEL ACERO DE REFUERZO

- BICZOK IMRE. La corrosión del hormigón y su protección. URMO, S.A. de ediciones. Bilbao, España. 1.978.
- KIND W. La corrosión del cemento y del hormigón en las obras hidráulicas. Moscú. 1.955.
- STEOPOE, A. La acción de las soluciones agresivas sobre el cemento endurecido. Tomindustrie. Bucarest. 1935.
- TAYLOR, H.F.W. La química de los cementos. Ediciones URMO. Bilbao, España. 1967.

CARBONATACIÓN

- JUDGE, Michael. El cemento modificado, Un nuevo material. New Scientist. Abril 10. 1.997. P. 44.
- ANDRADE, M.C. Corrosión de armaduras y su inspección en hormigones de cemento Pórtland. En: Informes de la construcción. Vol. 44.No.422 (Noviembre, - Diciembre 1.992). p. 39 – 48.
- CAMPBELL, D.H. R.D. Sturm. Y S.H. Kosmatka. Detecting carbonation. En: Concret technology today. EE.UU. (Marzo 1.991).
- MONTANI, Rick. La carbonatación, enemigo olvidado del concreto. En: Revista IMCYC.
- M.C. Andrade. Corrosión de armaduras por carbonatación de hormigón. En: SEMINARIO INTERNACIONAL DE PROTECCIÓN DEL ACERO EN HORMIGÓN ARMADO (1º.:1.996: Buenos Aires, Argentina). Memorias de 1 Seminario Internacional Sobre Protección del acero. P. 43.
- <<http://www.concretonline.com/jsp/articulo/hormigon8.jsp-36k>
- BELMUNT, Rafael. FERNANDEZ CANOVAS, Manuel. Manual de diagnóstico e intervención en estructuras de hormigón armado. Barcelona, España. 2.000.

LLUVIA ÁCIDA, ACEITES Y AZUCARES

- J. CALAVERA. Calculo, Construcción y patologías de forjados en edificaciones. INTEMAC. 1.988. Biblioteca ATSAM. Barcelona, España. 1998.
- JIMENEZ MONTOYA, P. GARCIA MESSEGUER, A. MORAN CABRE, F. Hormigón armado. Barcelona. G.Gili. 1.991.
- PERRY Chilton Y KIRK Patrik. Chemical Engineers handbook. 4 Edición. Editorial McGraw-Hill. 1.963
- ACI. COMMITTEE 515, Protection of concrete against chemical attack. AM. Concr. Inst.(proc)63, 1305. 1.966.
- PETRUCCI Y HAWOOD. Química general principios y aplicaciones modernas. Editorial, Prentice. Madrid. Mayo. 1.999.
- GALVAGNI, Maria Florencia. Las Tesinas de Belgrano. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. El aspecto sustentable de la piel en edificios inteligentes Buenos Aires. Julio. 2.002.

CORROSIÓN

- A.C.I. AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Corrosión de metales en concreto. ACI comité 222. 1.979.
- SHACKELFORD, J. Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros. 4 Ed. Prentice may. España. 1.998.
- SMITH; W. Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales. 2 Ed. McGraw Hill. Mexico. 1.993.
- TROJAN, P y FLINN, R. Materiales de ingeniería y sus aplicaciones. McGraw Hill. Bogotá, Colombia. 1.980.
- SEABORG, Glenn T. Chemical education material study. The national science foundation. Ed. Reverte SA. Barcelona, España.1.970.
- SANCHEZ, D. Durabilidad y patología del concreto. Convenio SENA _ ASOCRETO. Bogotá. 2.003.

BIODEGRADACIÓN

- TORUNSKY, H. Biological erosion and its significance for the morphogenesis of limestone coasts and for nearshore sedimentation. II (3-6): 195 – 265. 1.968.
- V.G. ROSATO and L.P. Traversa: Microscopical observations on the “In situ” action of the lichens *caloplaca citrine* and *lecanora albescence* on pink granite. Atenas, Gresia. 4 – 7 September. 2.001. Pg. 381 – 384.

ANEXOS

**ANEXO A
ZONA URBANA DE TRABAJO
PLANO SECTOR**



ANEXO B

EDIFICIO
No. 1

No. PISOS: 4

PROPIETARIO: GRACIELA DE LEON

DIRECCION: AV. CALLE 22 # 19-01

ESTADO GENERAL: ANEXO C
DETERIORO TOTAL

AÑOS DE CONSTRUCCION: 35 AÑOS

COTAS	ZONA	MANIFESTACIONES													CONDICIONES
	DEL	FOTO	MANCHA	FISURAS	DESGASTE	PORO-	AFLORA-	HUME-	L	DESPORTI-	AGENTES	CORRO-	PERDIDA	FALLA	AMBIENTALES
	EDIFICIO	No.	COLOR	GRIETAS	SUPERF.	SIDAD	CIONES	DAD		LLAMIENTO	BIOLOGICOS	SION	SECCION	ESTRUCTURA	LOCALES
	COLUMNAS					NO EXISTE SÓTANO									
	PLACAS MUROS														
PISO No.1	PLANTAS BAJAS														
	VIGAS				X		X								
	COLUMNAS				X		X								
	PLACAS					X	X	X							HUMEDAD
	ACABADOS-PARED	2	NEGRA	X	X		X	X							GENERAL
	MUROS	3		X	X	X	X	X			MOHOS			X	GENERAL
PISO No.2	PISOS INTERMEDIOS														
	VIGAS														
	COLUMNAS	6		X	X	X	X	X		X		X	X	X	HUMEDAD
	PLACAS														
	ACABADOS-TECHOS	4		X	X										
	MUROS	5		X	X	X	X								
	PLACAS	7-9	GRIS-ROJIZA			X					X				HUMEDAD
	ACABADOS-TECHO	8	NEGRA					X							HUMEDAD
MUROS															
	CUBIERTAS 4º PISO	10-11	BLANCA-NEGRA	X			X	X			ALGAS	X		X	HUMEDAD
	FACHADAS EXTERIORES	1													
	FACHALETA														
	LADRILLO				X										

OBSERVACIONES: El edificio nunca recibió mantenimiento correctivo, ni preventivo. Humedad general en pisos y paredes (>80%), debe demolerse totalmente.

EDIFICIO No.
2

No. PISOS: 3

PROPIETARIO: SIN IDENTIFICAR

DIRECCION: CALLE
16 # 17 - 28

ESTADO GENERAL: DETERIORADO

AÑOS DE CONSTRUCCION: 30

COTAS	ZONA DEL EDIFICIO	MANIFESTACIONES													CONDICIONES
		FOTO No.	MANCHA COLOR	FISURAS GRIETAS	DESGASTE SUPERF.	POROSIDAD	AFLORACIONES	HUMEDAD	DESPORTILLAMIENTO	AGENTES BIOLOGICOS	CORROSION	PERDIDA SECCION	FALLA ESTRUCTURA	AMBIENTALES LOCALES	
	COLUMNAS					NO EXISTE SÓTANO									
	MUROS-POSTERIOR	13-14		X			X	X		X		X	X	X	HUMEDAD
	COLUMNAS														
	PLACAS	15	NEGRA	X				X			X				HUMEDAD
	ACABADOS														
	MUROS														
	COLUMNAS														
	PLACAS	16-17					X	X							HUMEDAD
	PLACAS X	18,19,20													
	TEJAS - VIGA	21	GRIS-ROJIZA	X	X	X	X	X		X	X	X	X	HUMEDAD	
	ESTRUCTURA METALICA		NEGRA			X		X		X				HUMEDAD	
	FACHADAS	12													

OBSERVACIONES: El edificio esta habitado sus daños podrian ser fácilmente corregidos. El avance del deterioro es veloz, pues esta habitado por muchos residentes (humedad 12>70%)

ANEXO D

EDIFICIO No. 3

No. PISOS: 3

PROPIETARIO: SIN IDENTIFICAR

DIRECCION: CRA 16A CALLE 24 ESQUINA

ESTADO GENERAL: DESTRUIDO

AÑOS DE CONSTRUCCION: 40

	ZONA DEL EDIFICIO	MANIFESTACIONES												CONDICIONES		
		FOTO No.	MANCHA COLOR	FISURAS GRIETAS	DESGASTE SUPERF.	PORO-SIDAD	AFLORACIONES	HUMEDAD	DESPORTILLO LLAMIENTO	AGENTES BIOLÓGICOS	CORROSION	PERDIDA SECCION	FALLA ESTRUCTURA	AMBIENTALES	LOCALES	
COTAS	COLUMNAS					NO EXISTE SÓTANO										
	COLUMNAS															
	PLACAS	24-25				X					X	X	X			
	ACABADOS - PLACAS	26,27,28	NEGRA							X						SUCIEDAD
	MUROS - ESCALERA	29,30,31,32				X								X		
	COLUMNAS	34							X					X		
	PLACAS															
	ACABADOS															
	MUROS	33	NEGRA						X							
PISO No.3	PISOS ALTOS															
	VIGAS															
	COLUMNAS															
	PLACAS	35		X										X		
	ACABADOS															
	MUROS															
	EXTERIORES	22-23				X										

OBSERVACIONES: El edificio esta deshabitado, podría reconstruirse a altos costos. Parece ser que los dueños no estan interesados en su reconstrucción, humedad > 80%.

ANEXO E

EDIFICIO No. 4

No. PISOS: 4

PROPIETARIO: SIN IDENTIFICAR

DIRECCION: CALLE 18 # 16B - 35

ESTADO GENERAL: BUENO

AÑOS DE CONSTRUCCION: 30

COTAS	ZONA DEL EDIFICIO	MANIFESTACIONES													CONDICIONES
		FOTO	MANCHA	FISURAS	DESGASTE	PORO-	AFLORA-	HUME-	Δ L por T	DESPORTI-	AGENTES	CORRO-	PERDIDA	FALLA	AMBIENTALES
		No.	COLOR	GRIETAS	SUPERF.	SIDAD	CIONES	DAD		LLAMIENTO	BIOLOGICOS	SION	SECCION	ESTRUCTURA	LOCALES
-240 M	SOTANO-CIMENTACIONES	37						X							
	VIGAS	43						X			X				
	COLUMNAS														
	PLACAS	38-42	GRIS -					X			X				HUMEDAD
	MUROS	44-45-46	OCRE					X			X				
	PLANTAS BAJAS														
	VIGAS														
	MUROS														
	PISOS INTERMEDIOS														
	VIGAS														
	MUROS														
	PISOS ALTOS														
	VIGAS														
	MUROS														
	CUBIERTAS														
	ESTRUCTURA METALICA														
	FACHADAS														
	LADRILLO														

OBSERVACIONES: Solamente se observó el sótano, para los restantes pisos no se obtuvo permiso. Humedad >85%.

ANEXO F

EDIFICIO No.5

No. PISOS: 4

PROPIETARIO: SIN IDENTIFICAR

DIRECCION: CALLE 22 # 18-69

ESTADO GENERAL: DETERIORADO

AÑOS DE CONSTRUCCION: 35

COTAS	ZONA DEL EDIFICIO	MANIFESTACIONES												CONDICIONES AMBIENTALES	
		FOTO	MANCHA	FISURAS	DESGASTE	PORO-	AFLORA-	HUME-	L	DESPORTI-	AGENTES	CORRO-	PERDIDA	FALLA	LOCALES
		No.	COLOR	GRIETAS	SUPERF.	SIDAD	CIONES	DAD							
	SOTANO-CIMENTACIONES														
	VIGAS														
	COLUMNAS					NO EXISTE SÓTANO									
PISO No.1	PLANTAS BAJAS														HUMEDAD-
	VIGAS 48,49,50,51,52							X		X		X			SUCIEDAD
PISO No.2	PISOS INTERMEDIOS														HUMEDAD
	VIGAS														
	COLUMNAS 53,54,55		NEGRAS					X							
	COLUMNAS														
	PLACAS 56,57,58,59		GRISES					X							
	ACABADOS														
	MUROS														
PISO No.4	CUBIERTAS														HUMEDAD
	PLACAS - PAREDES	60-61	NEGRA					X				X			
	TEJAS	62	GRASOSA												
	FACHADAS														
	EXTERIORES	47													

OBSERVACIONES: La fachada presenta erosión por viento, arrastre de partículas y gases de emisión. El edificio esta próximo a entrar en total deterioro si no se le hace un exhaustivo mantenimiento. HR = 80%

ANEXO G

EDIFICIO No. 6

No. PISOS: 2

PROPIETARIO: LUIS J. ZAPATA

DIRECCION: TRANSV. 17 # 23A-16

ESTADO GENERAL: DESTRUCCION

AÑOS DE CONSTRUCCION: 40

COTAS	ZONA DEL EDIFICIO	MANIFESTACIONES													CONDICIONES AMBIENTALES
		FOTO No.	MANCHA COLOR	FISURAS GRIETAS	DESGASTE SUPERF.	POROSIDAD	AFLORACIONES	HUMEDAD	DESPORTILLO	AGENTES BIOLÓGICOS	CORROSION	PERDIDA SECCION	FALLA ESTRUCTURA	LOCALES	
COTAS	VIGAS														
	COLUMNAS					NO EXISTE SÓTANO									
	PLACAS														
	MUROS														
PISO No.1	PLANTAS BAJAS														HUMEDAD VENTILACION NULA
	VIGAS														
	PLACAS	64,6566,67	BARROSA	X	X	X		X			X				
	ACABADOS														
	MUROS														
PISO No.2	PISOS INTERMEDIOS														HUMEDAD
	PLACAS	68-69			X			X			X				
	ACABADOS														
	MUROS														
PLACA CUBIERTA	PISOS ALTOS														HUMEDAD
	PLACAS	70-71	GRIS-NEGRA					X			X	X			
	ACABADOS														
	MUROS	72-73													
EXTERIORES	CUBIERTAS														
	FACHADAS	63													
	EXTERIORES														

OBSERVACIONES: La edificación nunca fue sometida a mantenimiento, el dueño confiesa que era inexplicable el deterioro.

ANEXO H

EDIFICIO No.
Z

No. PISOS: 3

PROPIETARIO: GUILLERMO RAMIREZ

DIRECCION: CALLE 22 #
18-33

ESTADO GENERAL: RECUPERABLE

AÑOS DE CONSTRUCCION: 30

COTAS	ZONA	MANIFESTACIONES													CONDICIONES
	DEL EDIFICIO	FOTO No.	MANCHA COLOR	FISURAS GRIETAS	DESGASTE SUPERF.	POROSIDAD	AFLORACIONES	HUMEDAD	Δ L por T	DESPORTILLO	AGENTES BIOLÓGICOS	CORROSION	PERDIDA SECCION	FALLA ESTRUCTURA	AMBIENTALES LOCALES
	COLUMNAS					NO EXISTE SÓTANO									
	PLACAS														
	MUROS														
PISO No.2	PLANTAS BAJAS														HUMEDAD Y CONTAMINACION
	PLACAS	75-79	GRIS-ROJIZA	X		X	X	X				X		X	
	ACABADOS														
	MUROS														
	PISOS INTERMEDIOS														
	MUROS														
PISO No.3	PISOS ALTOS														HUMEDAD
	VIGAS														AIRE
	COLUMNAS														IRRESPIRABLE
	PLACAS	80-84	NEGRA			X						X	X		X
	ACABADOS														
	MUROS														
	CUBIERTAS														
	LADRILLO														

OBSERVACIONES: El estado general es deteriorado, pero reconstruible; posee una estructura solida, aunque a partes destruida

REGISTRO FOTOGRAFICO



FOTO No. 1



FOTO No. 1



FOTO No. 2



FOTO No. 3



FOTO No. 4



FOTO No. 5



FOTO No. 6

22 3



FOTO No. 7



FOTO No. 8



FOTO No. 11



FOTO No. 9



FOTO No. 10



FOTO No. 12



FOTO No. 14



FOTO No. 13



FOTO No. 15



FOTO No. 16



FOTO No. 17



FOTO No. 18



FOTO No. 19



FOTO No. 20



FOTO No. 21



FOTO No. 22



FOTO No. 23



FOTO No. 24



FOTO No. 26



FOTO No. 27

FOTO No. 25



FOTO No. 30



FOTO No. 28

229



FOTO No. 29



FOTO No. 33



FOTO No. 34



FOTO No. 35



FOTO No. 36

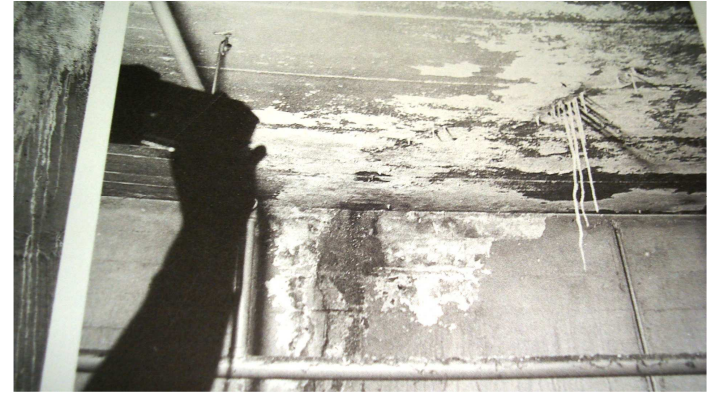


FOTO No. 37



FOTO No. 38

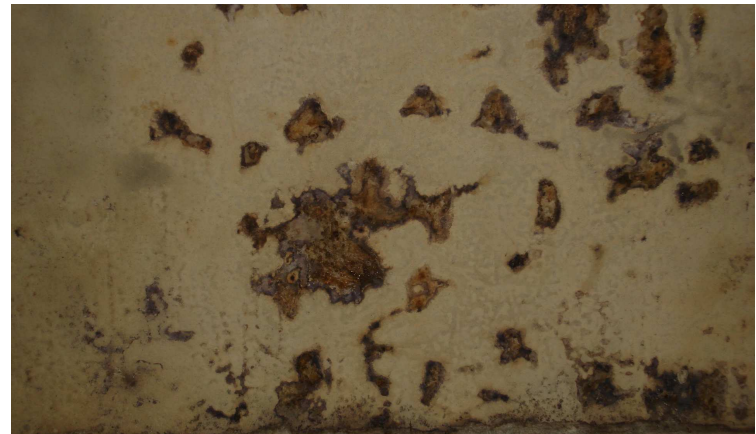


FOTO No. 39

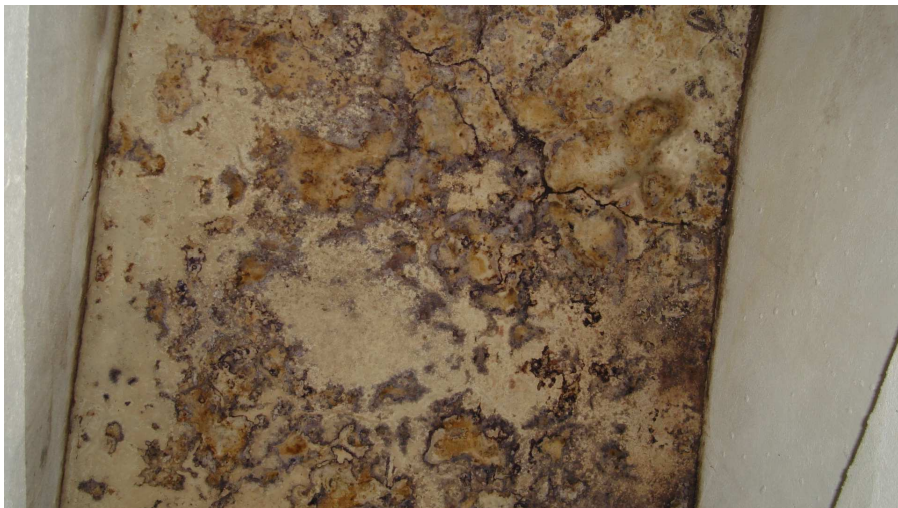


FOTO No. 40



FOTO No. 41



FOTO No. 42



FOTO No. 43



FOTO No. 44



FOTO No. 45



FOTO No. 46



FOTO No. 47



FOTO No. 53



FOTO No. 55



FOTO No. 56



FOTO No. 57



FOTO No. 58

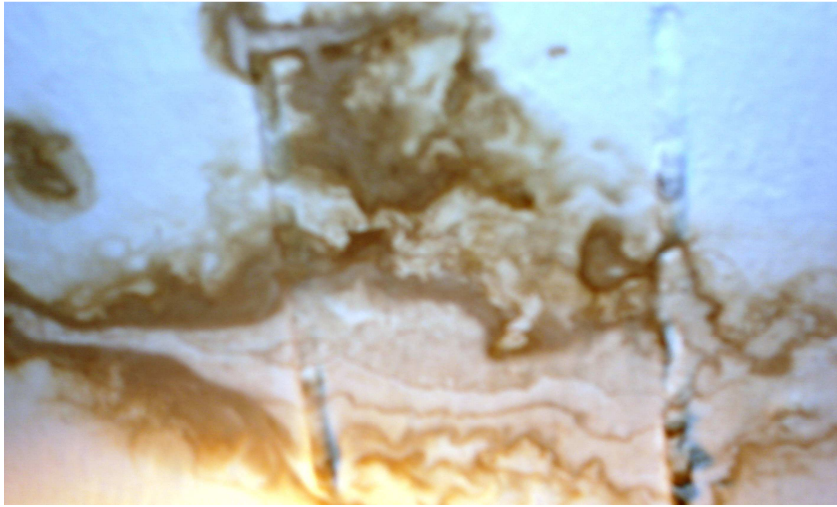


FOTO No. 59



FOTO No. 60



FOTO No. 61

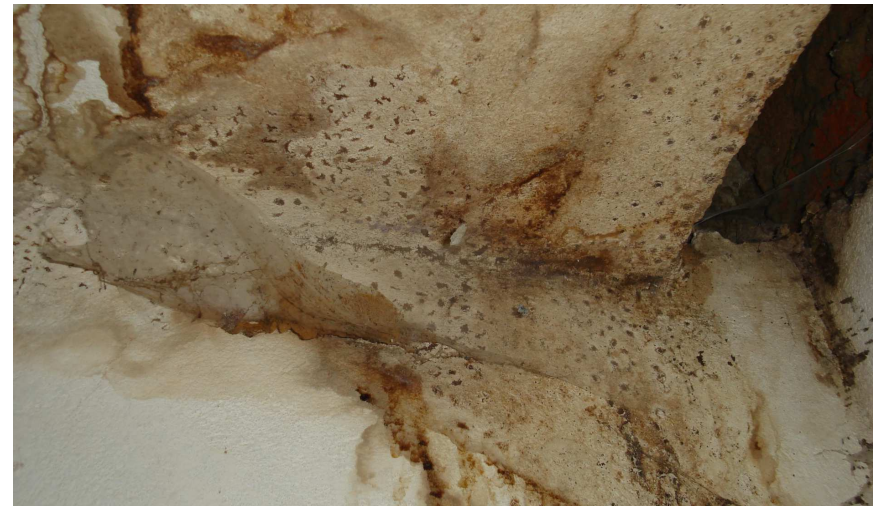


FOTO No. 62



FOTO No. 63



FOTO No. 64



FOTO No. 65



FOTO No. 66



FOTO No. 67

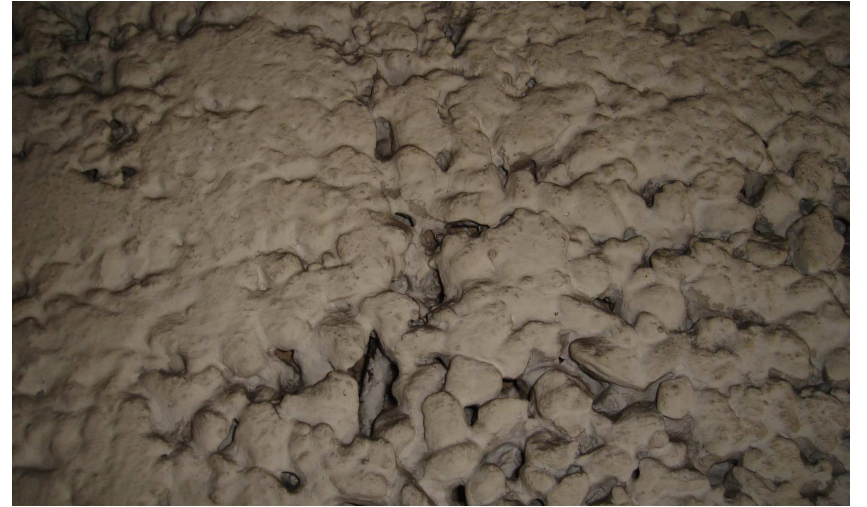


FOTO No. 68



FOTO No. 69

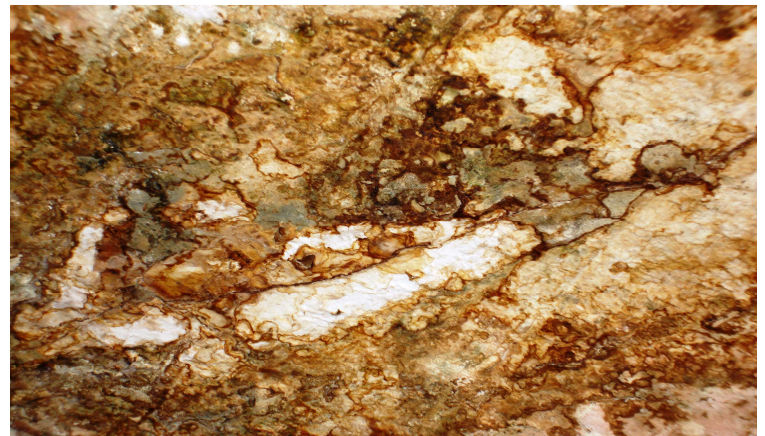


FOTO No. 70



FOTO No. 71



FOTO No. 72



FOTO No. 72



FOTO No. 83 PLACA TERCER PISO



FC



FOTO No. 80 PLACA TE



FOTO No. 81 PLACA TERCER PISO



FOTO No. 84 PLACA TERCER PISO
243

GLOSARIO

ACIDO ACETICO: Vinagre $C_2H_4O_2$

ACIDO BUTIRICO: Lactosa $C_4H_8O_2$

ACIDO LACTICO: Leche $C_3H_6O_3$

ACIDO TANICO: Vino, té, café, $C_{76}H_{52}O_{46}$

AGUA DE ADSORCION: Parte del agua que absorbida, se evapora por acción de la temperatura ambiental y adhiere sus moléculas a la superficie de los poros.

AGUA DURA: Agua que posee una dureza superior a 120 gr. de $CaCO_3$ por litro.

ALUMINOSIS: Es una patología del hormigón. Se manifiesta en elementos fabricados con cemento aluminoso. Este cemento sufre cambios químicos, potenciados por altas temperaturas y humedad ambiental. Los cambios químicos producen porosidad, disminuye la resistencia mecánica y facilitan la corrosión del componente metálico.

CERESINA: Parafina, cera mineral formada por hidrocarburos completos que fusionan entre 130-160 grados Fahrenheit.

CICLO CIRCADIANO: Hechos que suceden en 24 horas: día – noche.

CONCRETUS: (LATIN): concreto (español): crecer unidos, unir.

CRIOCLASTIA: Fragmentación del concreto por tensiones de congelación y descongelación.

DIFUSIÓN: Flujo de energía o materia desde puntos de mayor concentración a menor. Tiende a producir una distribución homogénea.

EPITAXIA: Reacción química favorable de los agregados, la cual mejora la adherencia entre los agregados calizos y la pasta de cemento.

EROSIÓN: Desgaste físico producido en un cuerpo por el roce de otro.

FACTOR DE PHILLEO: Índice que mide la protección que tiene un hormigón para resistir los ciclos de hielo – deshielo. Está dado por la distancia del exterior del concreto al perímetro de la burbuja de aire mas cercana.

FÓRMICO (LATIN): Moldeable, dar forma.

HALOCLASTIA: Fragmentación del concreto por los esfuerzos que provocan los cambios de volumen de los cristales salinos.

HIDROCLASTIA: Fragmentación del concreto por los ciclos de humedecimiento y secado.

HUMEDAD ABSOLUTA: Es la masa de vapor de H₂O contenida en la unidad de volumen de la atmósfera (grs./m³).

HUMEDAD RELATIVA: Masa de vapor de H₂O en la unidad de volumen de aire, dividida por masa de vapor de agua en la unidad de volumen de aire, saturado, a la misma temperatura (%).

JUNTA FRIA: Junta originada por el proceso constructivo que exige establecer adherencia entre las dos etapas.

LIXIVIACIÓN: Característica por la cual algunos componentes se vuelven solubles y pueden perder las sustancias que los componen.

MAGNESITA: Carbonato de magnesio llamado también GIOBERTITA.

PASIVIDAD: Interfase o capa que se forma alrededor del acero de refuerzo. Con ella el concreto sella totalmente el refuerzo garantizando el medio alcalino que evita la oxidación del metal.

PEPTIZAR: Desflocular. Causar dispersión en un medio.

PROPIEDADES BINDER: Resistencia que ofrece un material a diferentes

agresores: temperatura, ácidos, disolventes, factores mecánicos, aislamiento térmico.

PROTECCIÓN CATÓDICA: Sistema de protección contra la corrosión que funciona por un flujo de corriente hacia el metal protegido conectándolo al polo negativo de una fuente de corriente. Esta fuente de corriente protectora puede obtenerse por la conexión a un ánodo de sacrificio (Zn, Mg, Al). Las pinturas ricas en zinc funcionan como ánodos de sacrificio.

PUNTO DE ROCIO: Temperatura a la cual el aire no puede retener todo el vapor de agua.

TERMOCLASTIA: Fragmentación del concreto por cambios bruscos de temperatura.

TRASS: Toba de origen volcánico, compuesta de SiO_2 , usada como material puzolánico.