

**Manual Simplificado de las Principales Afectaciones Patológicas de Estructuras de
Concreto y Acero**

Carlos Alfonso Gaitán Prada

**Universidad Industrial de Santander
Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas
Escuela de Ingeniería Civil
Especialización en estructuras
Bucaramanga
2018**

**Manual Simplificado de las Principales Afectaciones Patológicas de Estructuras de
Concreto y Acero.**

Carlos Alfonso Gaitán Prada

**Trabajo de Grado Modalidad Monografía para Optar el Título de
Especialista en Estructuras**

Director

Oscar Alberto Díaz Másmela

Ingeniero Civil

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Especialización en estructuras

Bucaramanga

2018

Tabla de contenido

Introducción	18
1. Objetivos.....	19
1.1 Objetivo General	19
1.2 Objetivos Específicos.....	19
2. Conceptualización de ensayos patológicos	19
2.1 Patología estructural.....	20
2.1.1 Diseños deficientes..	21
2.1.2 Mala ejecución de la obra.	21
2.1.3 Agentes externos.....	21
2.1.4 Envejecimiento	22
2.1.5 Falta de mantenimiento.....	22
2.2 Localización	22
2.3 Patología en Estructuras de Concreto	22
2.3.1 Estudios no destructivos.	23
2.3.2 Estudios destructivos.	24
2.4 Patología en estructuras de acero	25
2.4.1 Estudios no destructivos.	25
2.4.2 Estudios destructivos	26
3. Afectaciones patológicas	27
3.1 Afectaciones en estructuras de concreto	27
3.1.1 Físicos..	28
3.1.1.1 Humedad capilar	28

3.1.1.2	Humedad de obra	31
3.1.1.3	Humedad de condensación.....	34
3.1.1.4	Humedad por infiltración	37
3.1.1.5	Humedad accidental.	39
3.1.1.6	Humedad atmosférica.....	42
3.1.2	Químicos	43
3.1.2.1	Carbonatación.....	43
3.1.2.2	Ataque por sulfatos.....	47
3.1.2.3	Ataque por cloruros.	49
3.1.2.4	Corrosión.....	51
3.1.2.5	Oxidaciones.....	57
3.1.2.6	Organismos.....	60
3.1.2.7	Eflorescencias.....	61
3.1.3	Mecánicas.	64
3.1.3.1	Fisuras	64
3.1.3.2	Grietas	68
3.1.3.3	Desprendimientos.....	75
3.1.3.4	Deformaciones.	81
3.1.4	Resumen.....	81
3.2	Afectaciones en estructuras metálicas.....	82
3.2.1	Mecánicas.	82
3.2.1.1	Deformaciones	83
3.2.1.2	Rotura	86

3.2.1.3	Impacto.....	89
3.2.2	Químicas.	90
3.2.2.1	Oxidación	90
3.2.2.2	Corrosión.....	92
4.	Conclusiones.....	27
	Referencias Bibliográficas	98

Lista de tablas

Tabla 1. Humedad en paredes por capilaridad.....	29
Tabla 2. Absorción de agua y presencia de moho.	30
Tabla 3. Humedad por capilaridad.....	30
Tabla 4. Humedad en sótano.....	31
Tabla 5. Humedad por inundación en cimentación.	32
Tabla 6. Humedad en base por mal sistema de drenaje de aguas lluvias.....	33
Tabla 7. Humedad por afectación en la cimentación.....	33
Tabla 8. Humedad en placa deterioro de acabado	34
Tabla 9. Condensación con presencia de moho	35
Tabla 10. Condensación por cambio de materiales.	36
Tabla 11. Humedad en el cielo raso por filtración de agua lluvia.	37
Tabla 12. Humedad en el muro.....	38
Tabla 13. Humedad en viga cabezote por falta de desagüe en junta.	39
Tabla 14. Afectaciones de humedad accidental.....	40
Tabla 15. Afectaciones de humedad accidental.....	41
Tabla 16. Presencia de humedad accidental.	42
Tabla 17. Efecto de carbonatación en estructuras de hormigón.	44
Tabla 18. Pérdida de recubrimiento por carbonatación.	45
Tabla 19. Pérdida de acabados y de material por efecto de carbonatación.....	46
Tabla 20. Presencia de carbonatación en muros	46

Tabla 21. Pérdida de recubrimiento por ataque de sulfatos naturales.....	48
Tabla 22. Delaminación de concreto en losa.	49
Tabla 23. Corrosión avanzada por ataque de cloruros.....	50
Tabla 24. Tipos de fisuras presentes en el acero de refuerzo.....	51
Tabla 25. Corrosión en barras de refuerzo.....	52
Tabla 26. Pérdida de recubrimiento y corrosión en barras de refuerzo de viga.....	53
Tabla 27. Fracturas y daños del concreto por corrosión del acero.....	54
Tabla 28. Oxidación en barra de refuerzo, perdida de material férreo	58
Tabla 29. Oxidación en barra de refuerzo por desprendimiento de recubrimiento	58
Tabla 30. Presencia de moho en viga de borde.....	60
Tabla 31. Presencia de humedad por vegetación.	61
Tabla 32. Cristalización de mortero de friso.....	62
Tabla 33. Levantamiento de acabados por cristalización de placa.	62
Tabla 34. Pérdida de friso por mal curado.....	63
Tabla 35. Grieta en la conexión de placa cubierta y muro.....	65
Tabla 36. Fisura en placa cubierta por falta de desagüe	66
Tabla 37. Fisura superficial en placa con presencia de estalactita.....	67
Tabla 38. Grieta por sobrecarga en la placa.....	69
Tabla 39. Grieta por sobrecarga en muros divisorios	70
Tabla 40. Grieta por impacto de roca.....	70
Tabla 41. Grieta por afectación de elevada temperatura en la placa.	71
Tabla 42. Desprendimiento de recubrimiento.....	72
Tabla 43. Grieta por falta de curado.	73

Tabla 44. Grietas en columnas, desplazamiento causado por onda explosiva.....	74
Tabla 45. Desplazamiento de muro por empuje de tierra.	74
Tabla 46. Desprendimiento de concreto por rotación en la viga	76
Tabla 47. Desprendimiento de concreto entre muros divisorios.....	76
Tabla 48. Desprendimiento de concreto por pandeo en la columna.	77
Tabla 49. Desprendimiento de concreto por pandeo en la columna.	78
Tabla 50. Desprendimiento de concreto por desplome de muros.	79
Tabla 51. Desprendimiento de concreto en junta de puente	80
Tabla 52. Deflexión de viga por evento sísmico.....	83
Tabla 53. Pandeo en estructuras verticales	84
Tabla 54. Pandeo local y fractura de columna.....	85
Tabla 55. Afectación térmica en líneas férreas	86
Tabla 56. Rotura dúctil en elemento riostra.....	87
Tabla 57. Desgarramiento laminar en columna Perfil Tubular Estructural (PTE)	88
Tabla 58. Elemento fallado por fatiga.....	89
Tabla 59. Flexión en elemento de cercha debido impacto vehicular	90
Tabla 60. Presencia de oxidación, punto de reparación.....	91
Tabla 61. Pérdida de elemento de conexión por oxidación.	91
Tabla 62. Corrosión química por agua marítima	94
Tabla 63. Corrosión química por acumulación de agua.	94
Tabla 64. Presencia de materia orgánica.....	95
Tabla 65. Corrosión electrolítica por diferentes materiales.	96

Lista de Figuras

Figura 1. Humedad en paredes por capilaridad.	29
Figura 2. Absorción de agua y presencia de moho.	29
Figura 3. Humedad por capilaridad.	30
Figura 4. Humedad en sótano. Adaptado de: Obras y reformas EDEFER	31
Figura 5. Humedad por inundación en cimentación.	32
Figura 6. Humedad en base por mal sistema de drenaje de aguas lluvias.	32
Figura 7. Humedad por afectación en la cimentación.....	33
Figura 8. Humedad en placa deterioro de acabado. Adaptado de: Hume Ingeniería.....	34
Figura 9. Condensación con presencia de moho. Adaptado de: Forocoches.com	35
Figura 10. Condensación por cambio de materiales.	36
Figura 11. Humedad en el cielo raso por filtración de agua lluvia.	37
Figura 12. Humedad en el muro.	38
Figura 13. Humedad en viga cabezote por falta de desagüe en junta.	39
Figura 14. Afectaciones de humedad accidental.....	40
Figura 15. Afectaciones de humedad accidental.....	41
Figura 16. Presencia de humedad accidental.	42
Figura 17. Efecto de carbonatación en estructuras de hormigón. Adaptado de: e-struc.com.....	44
Figura 18. Pérdida de recubrimiento por carbonatación. Adaptado de: proyectos.habitissimo.es	45
Figura 19. Pérdida de acabados y de material por efecto de carbonatación. Adaptado de: capillamonaco	45

Figura 20. Presencia de carbonatación en muros. Adaptado de: rtarquitectura.com	46
Figura 21. Pérdida de recubrimiento por ataque de sulfatos naturales. Adaptado de: Londoño (2011).....	48
Figura 22. Delaminación de concreto en losa. Adaptado de: alamy.com	49
Figura 23. Corrosión avanzada por ataque de cloruros. Adaptado de: alamy.com	50
Figura 24. Tipos de fisuras presentes en el acero de refuerzo. Adaptado de: Díaz (2017).....	51
Figura 25. Corrosión en barras de refuerzo.	52
Figura 26. Pérdida de recubrimiento y corrosión en barras de refuerzo de viga	53
Figura 27. Fracturas y daños del concreto por corrosión del acero. Adaptado de: Díaz (2017)...	54
Figura 28. Microfotografía donde se aprecia el daño al concreto por expansión de acero. Adaptado de: Díaz (2017).	55
Figura 29. Fracturas y daños del concreto por corrosión del acero. Adaptado de: Díaz (2017)..	55
Figura 30. Falta de recubrimiento de acero en muros en concreto por corrosión. Díaz (2017) ...	56
Figura 31. Fracturas y daños del concreto por corrosión del acero. Díaz (2017)	56
Figura 32. Fotografía térmica identificando los refuerzos. Díaz (2017).....	57
Figura 33. Oxidación en barra de refuerzo, pérdida de material férreo	57
Figura 34. Oxidación en barra de refuerzo por desprendimiento de recubrimiento	58
Figura 35. Microfotografía donde se aprecia el daño del acero. Adaptado de: Diaz (2017)	59
Figura 36. Microfotografía donde se aprecia el acero convertido en ferrita natural y con fracturas. Adaptado de: Díaz (2017)	59
Figura 37. Presencia de moho en viga de borde.	60
Figura 38. Presencia de humedad por vegetación.....	61
Figura 39. Cristalización de mortero de friso.	62

Figura 40. Levantamiento de acabados por cristalización de placa.	62
Figura 41. Pérdida de friso por mal curado.	63
Figura 42. Grieta en la conexión de placa cubierta y muro.	65
Figura 43. Fisura en placa cubierta por falta de desagüe	66
Figura 44. Fisura superficial en placa con presencia de estalactita	67
Figura 45. Fisura por bajas temperaturas y contracción del concreto. Adaptado de: Construmatica.com	68
Figura 46. Grieta por sobrecarga en la placa.	69
Figura 47. Grieta por sobrecarga en muros divisorios	69
Figura 48. Grieta por impacto de roca.	70
Figura 49. Grieta por afectación de elevada temperatura en la placa.	71
Figura 50. Desprendimiento de recubrimiento	72
Figura 51. Grieta por falta de curado.	72
Figura 52. Grietas en columnas, desplazamiento causado por onda explosiva.	73
Figura 53. Desplazamiento de muro por empuje de tierra.	74
Figura 54. Desprendimiento de concreto por rotación en la viga	75
Figura 55. Desprendimiento de concreto entre muros divisorios	76
Figura 56. Desprendimiento de concreto por pandeo en la columna.	77
Figura 57. Desprendimiento de concreto por pandeo en la columna.	78
Figura 58. Desprendimiento de concreto por desplome de muros.	79
Figura 59. Desprendimiento de concreto en junta de puente.	80
Figura 60. Afectaciones que tienen las estructuras de concreto	81
Figura 61. Deflexión de viga por evento sísmico. Adaptado de: GARZA (2017)	83

Figura 62. Pandeo en estructuras verticales. Adaptado de: Construdata.com	84
Figura 63. Pandeo local y fractura de columna. Adaptado de: slideshare.com	85
Figura 64. Afectación térmica en líneas férreas. Adaptado de: Comofuncionanlostrenes.com ...	86
Figura 65. Rotura dúctil en elemento riostra. Adaptado de: GARZA (2017).....	87
Figura 66. Desgarramiento laminar en columna Perfil Tubular Estructural (PTE). Adaptado de: GARZA (2017)	88
Figura 67. Elemento fallado por fatiga. Adaptado de: Mecmex.com	89
Figura 68. Flexión en elemento de cercha debido impacto vehicular.....	90
Figura 69. Presencia de oxidación, punto de reparación.	91
Figura 70. Pérdida de elemento de conexión por oxidación.	91
Figura 71. Presencia de óxido en los elementos metálicas como protección.	92
Figura 72. Corrosión química por agua marítima. Adaptado de: Corrosiong.blogspot.....	93
Figura 73. Corrosión química por acumulación de agua.	94
Figura 74. Presencia de materia orgánica.	94
Figura 75. Corrosión electrolítica por diferentes materiales en medio acuoso. Adaptado de: Pinterest.....	95
Figura 76. Corrosión electrolítica por diferentes materiales en medio acuoso. Adaptado de: Losmetalesblosp.com.....	96
Figura 77. Corrosión electrolítica por diferentes materiales.....	96

RESUMEN

TITULO: MANUAL SIMPLIFICADO DE LAS PRINCIPALES AFECTACIONES PATOLÓGICAS DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO Y ACERO.*

AUTOR: CARLOS ALFONSO GAITÁN PRADA.**

PALABRAS CLAVE: PATOLOGÍA, FALLAS ESTRUCTURALES, DURABILIDAD.

DESCRIPCIÓN:

La siguiente monografía pretende enfatizar en la realización de un manual simplificado para estudiar las afectaciones patológicas, donde específicamente se encuentran las posibles causas y desarrollos de las patologías, además se vinculan los lineamientos a seguir para dar un buen desarrollo del análisis de estructuras; en el caso se consideran de concreto y en acero además se tiene una aplicación real a estructuras existentes donde se les realizan inspecciones visuales para determinar las fallas y pre fallas y de esta manera poder iniciar el trabajo de campo.

La metodología a seguir es tener un registro fotográfico de las estructuras con las afectaciones típicas en algunos de los elementos estructurales, elementos no estructurales o en la estructura para poder establecer una relación con la sintomatología que presenta, además cuenta con unas posibles causas para poder realizar una evaluación directamente o solicitar un ensayo no destructivo o destructivo según lo amerite y de esta manera poder estar más seguros en el momento de dar una solución o reparación en el elemento con la afectación.

Se tiene como criterio para la realización del manual la clasificación del medio ambiente agresivo presentado en la zona de estudio, daños por afectaciones físicas, mecánicas y químicas.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Oscar Alberto Díaz Másmela, Ingeniero Civil

ABSTRACT

TITLE: SIMPLIFIED MANUAL OF THE MAIN PATHOLOGICAL DAMAGES
IN CONCRETE AND STEEL STRUCTURES.*

AUTHOR: CARLOS ALFONSO GAITÁN PRADA.**

KEYWORDS: PATHOLOGY, STRUCTURAL DAMAGES, DURABILITY.

DESCRIPTION:

The following monograph has an emphasis on elaborating a simplified manual to study the pathological damages, specifically the causes and developments of structural failures, in addition, it links a guidelines to follow and provide a good improvement in the analysis of structures; In this case those are considered as a Concrete and Steel; Moreover there is a real application to existing structures to which have made visual inspections to determine the failures and pre-failures and in this way, start the field work.

The methodology consists of providing a photographic record of the structures with the typical damages in each piece or element, in this way a relation with the presented symptomatology is established and a direct evaluation is carried out, a destructive or non destructive test is used according to the case and the appropriate solution or repair is assigned.

As a criterion for the realization of the manual, we have the classification of the aggressive environment presented in the study area, caused by physical, mechanical and chemical damages.

* Bachelor Thesis

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Civil Engineering. Director: Oscar Alberto Díaz Másmela, Civil Engineer

Introducción

En el país se tienen estructuras que han cumplido su vida útil y otras que presentan acelerados deterioros por la calidad de sus materiales, incumplimiento de las normas de construcción y diseño, como también afectaciones físicas, químicas, mecánicas y biológicas, para tratar este tipo de patologías se tiene en nuestro medio dos soluciones: la primera es la demolición total de la estructura para la posterior realización de una nueva, método que conduce a un costo elevado y con un factor de tiempo prolongado de colocarla en funcionamiento. La segunda solución es actualizar la estructura aplicando las reglamentaciones actuales vigentes, sin embargo realizar una actualización a una determinada estructura ya sea evaluando su vulnerabilidad y/o realizando un reforzamiento puntual o general se debe saber en forma detallada las condiciones reales que presenta la estructura en cuanto a la calidad de los materiales y afectaciones que presenta.

Por lo anterior es imperativo determinar de forma adecuada las patologías y afectaciones que presentan las estructuras de concreto y las estructuras de acero de cualquier índole o uso y es primordial realizar una clasificación simplificada, ya que existe una infinidad de patologías que se pueden determinar en estos dos materiales (Concreto – Acero), es así que producto de la infinidad de patologías que se pueden establecer se procede a realizar un manual simplificado de afectaciones patológicas donde se indicarán las principales lesiones físicas, químicas, mecánicas y biológicas que guiarán de forma clara y coherente cualquier estudio de patología.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Elaborar un manual simplificado de las principales afectaciones patológicas aplicado a estructuras de concreto y de acero.

1.2 Objetivos Específicos

- Identificar daños en estructuras de concreto y de acero por las aplicaciones físicas y mecánicas junto a las reacciones químicas y biológicas, para clasificar, analizar y mejorar la ejecución y aplicación de materiales en las estructuras.
- Clasificar las agresiones ambientales en la zona de construcción para proponer un proceso constructivo o un reforzamiento estructural adecuado.
- Determinar los fenómenos de deterioro por daños e influencia del envejecimiento y mejorar los materiales de construcción para extender la vida útil en las estructuras.

2. Conceptualización de ensayos patológicos

Para entender las fallas presentadas en las estructuras se tiene que entender el concepto de patología y los estudios que se realizan a los materiales y a la estructura para poder establecer las afectaciones que presenta y son sin ninguna duda la columna vertebral de un estudio de patología.

2.1 Patología estructural

La patología se deriva de las palabras griegas “phatos” que quiere decir enfermedad o afección y “logos” que significa el estudio o tratamiento, se define como la medicina para el estudio de enfermedades, (López, et al, s.f), por lo tanto para la rehabilitación de las estructuras se requiere realizar un estudio de daños externos e internos tanto a nivel macro como a nivel micro.

En un estudio patológico se realizan ensayos directos e indirectos a la estructura, para poder saber las consecuencias, origen, causas y afectaciones que generan los daños y las fallas en las estructuras; para la evaluación de la estructura se realizan por 2 métodos (destrutivo y no destructivo) (García y Yanez, s.f).

De tal manera el objetivo principal de una patología es indagar las fallas en los materiales de la estructura y prever anticipadamente que no existan pérdidas humanas y económicas para una sociedad, (Pacheco y Santander 2011). Todo inicia por el análisis de las fallas estructurales y no estructurales, por otro lado no solamente se trata de explorar, estudiar e indagar el estado de la estructura aérea sino también evaluar de forma directa la cimentación puesto que por alguna falla geotécnica se puede presentar el deterioro de la estructura (Almarios y Buelvas, 2006).

La ideología de realizar un estudio patológico es tener un concepto claro de la calidad de los materiales y predecir de forma adecuada los comportamientos en los elementos estructurales y no estructurales que debido a lesiones patológicas que pueden presentar fallas de forma inmediata y de esta manera basarse en la experiencia adquirida para que en el estudio o en la ejecución de

alguna estructura similar no se presente el daño generando un aumento de pérdida a la economía de una sociedad, (Reyes, 2002).

2.1.1 Diseños deficientes. Para dar inicio a un estudio patológico se debe conocer en los estudios realizados por la consultoría cuyo fin debe tener en cuenta el comportamiento de la estructura ante algún evento (sísmico, viento, agentes externos) para proyectar una deformación, los puntos críticos y de esta forma evitar daños antes de su ciclo de vida, (Grases, 2000).

2.1.2 Mala ejecución de la obra. Posterior al análisis detallado se procede a observar las bitácoras presentadas por la interventoría y constructor para tener una base fundamental del proceso constructivo y los imprevistos que se presentaron en la construcción considerando como ejemplo el clima, presencia de agua en la obra, problemas internos de la ejecución, empleo de materiales deficientes o mano de obra poco calificada, (Sánchez, 2002).

2.1.3 Agentes externos. Finalmente se procede a la patología en la estructura con inconvenientes por lo tanto se realiza un estudio detallado en campo para indagar si presenta daños generados por agentes externos como ataques de xilófagos, degradación por carbonatación o corrosión de armaduras y desastres naturales, (Sánchez, 2002) (Estrada y Pettinga, 2003) (ASTM c-876 – 91, 1999) (AASHTO T 277, s.f).

2.1.4 Envejecimiento. No obstante a los daños externos se realiza una investigación por degradación por el envejecimiento de los materiales como la meteorización de elementos pétreos, las flechas de deformación en estructuras, fugas de agua por mal instalación o mal uso, presencia de agua externa por el efecto de capilaridad y por algunos defectos. (Becerra, 2013) (Becerra y Guzmán, 2014) (Guerrero, 2013).

2.1.5 Falta de mantenimiento. Esta se debe realizar por revisiones preventivas y la no reparación inmediata de fallas o lesiones que con el tiempo degenera el elemento afectado. (Zambrano, 2003).

2.2 Localización

Se determina que dependiendo donde se encuentra localizada la estructura se ve afectada por el ambiente natural agresivo por ejemplo al estar en una zona rural al interior del país se encuentran altos porcentajes de carbono producidos por la fotosíntesis de las plantas; ahora bien si se encuentra ubicada en una zona costera se presentan altos grados de sales presentando corrosión; estos efectos realizan una pérdida de propiedades en los materiales. (Perepérez, Barberá y Andrade, 1987) (Feliu, 1984) (Espada, Vilar, y Merino, 1986) (Espada, Sánchez, González y Novoa, 1986) (Metha, 1982).

2.3 Patología en Estructuras de Concreto

El concreto se realiza por la mezcla de cemento, agregados, agua y aditivos; cada uno de los componentes presenta pérdida en las propiedades de los materiales de tal manera debilita la

estructura a causa del tiempo de vida, afectaciones externas naturales o físicas. Estas fallas se ven reflejadas con el tiempo por lo tanto se requiere realizar una serie de estudios al producto para determinar el estado en el que se encuentra. (Pacheco y Santander, 2011)

No obstante al tener obras nuevas se deben realizar seguimientos de construcción para obtener un producto en perfecta calidad y con el tiempo de vida útil de diseño, en este caso se requiere realizar pruebas o ensayos en el material; en el estudio patológico se tiene que realizar dos tipos de estudios, los no destructivos y los destructivos. (Pacheco y Santander, 2011) (Borris, Domínguez y Sánchez, 2010).

2.3.1 Estudios no destructivos. Al hablarse de este tipo de estudio se refiere a las pruebas que se realizan sobre el producto sin variar las características geométricas, fisicoquímicas o mecánicas. Esta es una revisión superficial a la estructura por medio de equipos y productos químicos. (ACI 228.2r-98, s.f) (Días, 2014) (Florentín y Granada, 2009)

Recapitulando la finalidad de los estudios es realizar interventoría rápida a nuevas construcciones, solucionar problemas de construcción, calidad del concreto en estructuras antiguas para reforzamiento, calidad y garantía en reparación de la estructura (ACI 228.2r-98, s.f)

Volviendo al tema de ensayos no destructivos se realizan las siguientes prácticas (ACI 228.2r-98, s.f)

- Determinación de la geometría en los elementos de la estructura.

- Localización de fisuras, delaminación y desprendimientos de concreto.
- Grado de consolidación y presencia de orificios por órganos vivos.
- Localización de acero de refuerzo y tamaño de la misma.
- Actividad de corrosión en el acero de refuerzo.
- Fallas causadas por cambios de temperatura, incendios o exposición química en el concreto.

2.3.2 Estudios destructivos. Como su nombre lo indican los estudios destructivos varían las características geométricas, fisicoquímicas; se realizan cuando los ensayos no destructivos no aclaran la sintomatología que presenta la estructura. (Técnicas de investigación, dictamen e intervención en las estructuras de hormigón, s.f) (Daza, 1996)

En los ensayos destructivos se realizan las siguientes prácticas:

- Extracción de probetas testigo de hormigón.
- Toma de muestra de acero de refuerzo.
- Profundidad de carbonatación.
- Medida de resistencia a la penetración de una sonda de acero endurecido conocido como *pistola Windsor*.
- Extracción de microprobetas (20, 25, 30 mm de diámetro), se usa en el caso de no poder realizar la extracción de la probeta testigo.

2.4 Patología en estructuras de acero

Contrario al concreto en las estructuras de acero se emplea hierro y carbono fundido, aluminio y otros metales; mediante la fabricación se encuentran conformados en caliente, en frío y obtenidos por moldeo. (American Institute for Steel Construction AISC, 2010)

Son estructuras de alta tenacidad resiste cualquier tipo de esfuerzo y principalmente a tracción ya que tiene una fluencia elevada además por ser un elemento ligero se pueden obtener grandes luces con pequeñas secciones. (ACESCO, 2006)

Siendo las estructuras metálicas de alta calidad, son susceptibles de padecer fallas que pone en riesgo la seguridad de la estructura; el acontecimiento principal se presenta por la naturaleza del material, el cual está expuesto a las agresiones químico ambiental que se encuentran en la construcción o en el tiempo de vida de la estructura. (Costa, Pastor y Vilarrasa, 1986). Para analizar las estructuras metálicas se realizan estudios no destructivos y destructivos.

2.4.1 Estudios no destructivos. En las estructuras metálicas los elementos que tienden a presentar fallas de una manera rápida son las conexiones; considerando este criterio se presenta ensayos no destructivos para conocer el estado de las soldaduras. No obstante también se hacen ensayos para los demás elementos. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010)

El objetivo de los estudios no destructivos es determinar las afectaciones de las soldaduras tanto en el interior como en el exterior, además indicar la naturaleza y resistencia para conocer posibles

daños internos en el material, sin llegar a la destrucción o desprendimiento de un elemento en parte de la estructura. (Wikilibros, 2012).

A continuación se listan los ensayos no destructivos para ser aplicados a las estructuras metálicas y facilitar el análisis estructural. (Wikilibros, 2012).

- Inspección visual.
- Geometría en las secciones.
- Inspección mediante líquidos penetrantes.
- Inspección mediante partículas magnéticas.
- Inspección ultrasónica.
- Ensayos de dureza de acero.
- Medición de espesores de pintura.
- Inspección mediante termografía.
- Análisis de vibraciones.
- Análisis por rayos gamma (X).

2.4.2 Estudios destructivos. Para determinar las propiedades de los materiales que no se pueden tener muy claros por medio de los ensayos no destructivos se realizan los siguientes ensayos. (Wikilibros, 2012)

- Tracción.
- Compresión.

- Cizalladura.
- Punzonamiento.
- Flexión por choque
- Flexión por resiliencia.
- Doblado.
- Análisis químico.

3. Afectaciones patológicas

Las afectaciones se encuentran en estructuras bajo condiciones extremas mecánica, física, química o ambientalmente incluyendo también la edad del edificio puesto a que su vida útil se da por terminada. (Broto, 2006)

En este capítulo se realiza un registro fotográfico además de una descripción breve de las sintomatologías y las posibles causas que se encuentran normalmente en estructuras de concreto y de acero.

3.1 Afectaciones en estructuras de concreto

Se determinan las afectaciones en las estructuras de concreto mediante los siguientes 3 grupos. (Broto, 2006) (Construmática, 2010).

3.1.1 Físicos. Estas afectaciones se presentan por ataques del medio ambiente particularmente por lluvias, vientos, y cambios de temperatura; causan diferentes fallas como humedad, deformación, fragilidad, erosión, resecamiento (Broto, 2006) (Calavera, 2005).

Entre todas las agresiones que se presentan en el medio ambiente, la más crítica es la interacción del agua ya que penetra por orificios o fisuras que se presenta en la estructura, o de otra manera por efecto de capilaridad siendo la absorción del agua por el concreto generando humedad y pérdida de propiedades fisicoquímicas por consecuencia la resistencia útil al tener esta afectación se tiene como sintomatología los desprendimientos de material y la presencia de humedad (Calavera, 2005).

Por otra parte se presenta fallas en las estructuras ubicadas en clima extremadamente frío ya que a causa de las heladas climáticas presentan resequead y fragilidad en la estructura, presentando grietas que causan un elevado perjuicio a la salud del producto hasta poder llegar a la pérdida completa (Coscollano, 2012).

3.1.1.1 Humedad capilar. Esta afectación es por la capilaridad que tiene el concreto lo cual es la capacidad de absorber el agua desde el suelo, como se evidencia en las Figuras 1, 2 y 3, principalmente se presenta en estructuras verticales que tengan contacto directo con este como lo son las columnas, los muros estructurales, vigas de cimentación, vigas de enlaces, placa de cimentación, en las tablas 1, 2 y 3 se presentan las sintomatologías y posibles causas de la afectación. (Construmática, 2010) (Filores, 2012)



Figura 1. Humedad en paredes por capilaridad.

Tabla 1.

Humedad en paredes por capilaridad.

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Cambio de color en los acabados. • Presencia de moho (organismos vivos). • Inicio de carbonatación debido a la humedad del sector.	• Alta presencia de agua por escorrentía directa. • Zona húmeda sin impermeabilizarse.



Figura 2. Absorción de agua y presencia de moho.

Tabla 2.

Absorción de agua y presencia de moho.

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Deterioro en los acabados del muro. • Presencia de moho (organismos vivos). • Presencia de fisuras. • Inicio de carbonatación debido a la humedad del sector.	• Zona húmeda sin impermeabilizarse. • Nivel freático alto, falta de drenaje.

*Figura 3. Humedad por capilaridad.*

Tabla 3.

Humedad por capilaridad.

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Deterioro en los acabados del muro. • Presencia de moho (organismos vivos). • Presencia de fisuras. • Inicio de carbonatación debido a la humedad del sector.	• Contacto con agua de escorrentía. • Nivel freático alto, falta de drenaje.

3.1.1.2 Humedad de obra. Este caso se ve durante la ejecución de la obra por el mal manejo de los materiales y al no tenerse en cuenta la evaporación de sustancias líquidas, o al no tener una barrera de aislamiento del suelo húmedo con respecto a los elementos que se pueden humedecer. (Días, 2014) (Florentín y Granada, 2009) (Construmática, 2010), a continuación se evidencia mediante registro fotográfico en las Figuras 4, 5, 6 y 7, además se muestran en las tablas 4, 5, 6 y 7 las sintomatologías y posibles causas que las puede generar.



Figura 4. Humedad en sótano. Adaptado de: Obras y reformas EDEFER

Tabla 4.

Humedad en sótano

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Deterioro en los acabados del muro. • Presencia de humedad en el muro. • Inicio de carbonatación debido a la humedad del sector.	• Nivel freático alto, falta de drenaje. • Mala impermeabilización en contacto con suelo saturado. • Falta de drenaje para extracción de agua en el muro.



Figura 5. Humedad por inundación en cimentación.

Tabla 5.

Humedad por inundación en cimentación.

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Afectación en el terreno natural. • Aumento de sales y cloruros por aplicación de agua lluvia. • Corrosión de los refuerzos de armaduras. • Posibilidad de carbonatación debido a la humedad del sector.	• Falta de drenaje superficial de escorrentía directa. • Falta uso de motobombas para extracción del agua.



-Presencia de
humedad.
-Organismo vivo
(moho)

Figura 6. Humedad en base por mal sistema de drenaje de aguas lluvias.

Tabla 6.

Humedad en base por mal sistema de drenaje de aguas lluvias.

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Presencia de organismos vivos (moho). • Cambio de color en el concreto. • Aumento de sales y cloruros por aplicación de agua lluvia. • Corrosión de los refuerzos de armaduras. • Inicio de carbonatación debido a la humedad del sector.	• Falta de drenaje superficial de escorrentía directa. • Baja impermeabilización en el elemento. • Falta de mantenimiento por parte de la empresa operadora o el usuario.



-Presencia de humedad por nivel freático alto.

Figura 7. Humedad por afectación en la cimentación.

Tabla 7.

Humedad por afectación en la cimentación.

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Afectación en el terreno natural. • Presencia de aguas de riego en la zona. • Aumento de sales y cloruros por aplicación de agua lluvia. • Corrosión de los refuerzos de armaduras.	• Falta de drenaje superficial de escorrentía directa.

3.1.1.3 Humedad de condensación. La condensación se da por presencia de vapor de agua desde zonas de mayor a menor presión. De esta manera se determinan 3 categorías de condensación (Construmática, 2010) (Calavera, 2005).

- **Condensación higroscópica:** en la Figura 8 se exhibe este tipo de falla producida por la estructura porosa del material que contiene sales productoras de la condensación del vapor, además en la tabla 8 se expone la sintomatología y las posibles causas que pueden llevar a esta afectación.



Figura 8. Humedad en placa deterioro de acabado. Adaptado de: Hume Ingeniería.

Tabla 8.

Humedad en placa deterioro de acabado

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Afectación en los acabados de la placa. • Filtraciones de aguas. • Aumento de sales y cloruros por aplicación de agua lluvia. • Corrosión de los refuerzos de armaduras. • Inicio de carbonatación debido a la humedad del sector.	• Falta de drenaje superficial de escorrentía directa. • Ineficiencia en pendiente de drenaje de la placa cubierta. • Presencia de tuberías hidrosanitarios afectadas o dañadas.

- **Condensación superficial:** se presenta en el interior de un cerramiento como en un baño o turco, en la Figura 9 se evidencia este tipo de falla y en la tabla 9 se expone las posibles causas y sintomatología que tiene la estructura.



Figura 9. Condensación con presencia de moho. Adaptado de: Forocoches.com

Tabla 9.
Condensación con presencia de moho

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Afectación en los acabados • Presencia de microorganismos (moho). • Aumento de sales y cloruros por aplicación de agua lluvia. • Corrosión de los refuerzos de armaduras. • Inicio de carbonatación debido a la humedad del sector.	• Falta de ventilación para vapores. • Falta de impermeabilización para mejorar la calidad de los materiales.

- **Condensación intersticial:** esta categoría se evidencia entre la masa del cerramiento entre capas, en la Figura 10 se denota este tipo de condensación por el cambio de material.



Figura 10. Condensación por cambio de materiales.

Tabla 10.

Condensación por cambio de materiales.

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Presencia de microorganismos (moho). • Filtración de agua por junta. • Aumento de sales y cloruros por aplicación de agua lluvia. • Corrosión de los refuerzos de armaduras. • Inicio de carbonatación debido a la humedad del sector.	• Cambio de resistencia de materiales; nuevo en la losa y con tiempo de uso de la viga cabezal. • Mejorar sistema de drenaje para aguas.

3.1.1.4 Humedad por infiltración. Esta afectación se le atribuye al mal diseño de canales que desagüen el agua lluvia o por no realizar un mantenimiento activo en la limpieza de estos, no solamente se presentan por el sistema de desagüe, también por la mala selección de los materiales para fachadas o cubierta. Debido a estos antecedentes la humedad se introduce a la estructura desde el exterior por las fachadas y cubiertas como se muestra en las Figuras 11, 12 y 13 (Wikilibros, 2012) (Broto, 2006) (Construmática, 2012).



Figura 11. Humedad en el cielo raso por filtración de agua lluvia.

Tabla 11.

Humedad en el cielo raso por filtración de agua lluvia.

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Presencia de microorganismos (moho). • Filtración de agua. • Aumento de sales y cloruros por aplicación de agua lluvia. • Corrosión de los refuerzos de armaduras. • Inicio de carbonatación debido a la humedad.	• Filtraciones de agua lluvia por mal drenaje. • Daños de cubierta.



Figura 12. Humedad en el muro.

Tabla 12.
Humedad en el muro.

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Presencia de microorganismos (moho). • Filtración de agua. • Aumento de sulfatos por aplicación de agua lluvia. • Corrosión de los refuerzos de armaduras. • Inicio de carbonatación debido a la humedad.	• Filtraciones de agua lluvia por mal drenaje. • Daños o falta de limpieza de cunetas.



Figura 13. Humedad en viga cabezote por falta de desagüe en junta.

Tabla 13.

Humedad en viga cabezote por falta de desagüe en junta.

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Presencia de microorganismos (moho). • Filtración de agua por junta. • Aumento de sulfatos por aplicación de agua lluvia. • Corrosión de los refuerzos de armaduras. • Posibilidad inicio de carbonatación debido a la humedad.	• Filtraciones de agua lluvia por mal drenaje. • Daño o escases de junta en puente.

3.1.1.5 Humedad accidental. Como su nombre lo dice se evidencia por afectaciones en las obras hidráulicas o sanitarias las cuales al presentarse fallas en las tuberías como se muestra en las Figuras 14, 15 y 16 se evidencia humedad de grandes magnitudes (Días, 2014) (Florentín y Granada, 2009).



Figura 14. Afectaciones de humedad accidental.

Tabla 14.

Afectaciones de humedad accidental.

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Presencia de microorganismos (moho). • Filtración de agua por muros • Aumento de sulfatos por aplicación de agua lluvia. • Corrosión de los refuerzos de armaduras. • Posibilidad inicio de carbonatación debido a la humedad.	• Daño de tubería de aguas negras. • Filtración de aguas por el muro. • Cambio de materiales en tubería de aguas negras. • Aumento de aguas negras en cajas recolectoras.



Figura 15. Afectaciones de humedad accidental

Tabla 15.

Afectaciones de humedad accidental

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Presencia de microorganismos (moho). • Filtración de agua por muros • Aumento de sulfatos por aplicación de agua lluvia. • Corrosión de los refuerzos de armaduras. • Posibilidad inicio de carbonatación debido a la humedad.	• Daño de tubería de aguas negras. • Cambio de materiales en tubería de aguas negras. • Aumento de aguas negras en cajas recolectoras.



Figura 16. Presencia de humedad accidental.

Tabla 16.

Presencia de humedad accidental.

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Presencia de microorganismos (moho). • Filtración de agua por muros. • Aumento de sulfatos por aplicación de agua lluvia. • Corrosión de los refuerzos de armaduras. • Posibilidad de carbonatación debido a la humedad.	• Daño de tubería de la red hidráulica. • Cambio de materiales en tubería hidráulica. • Altas presiones en el acueducto deteriorando la tubería.

3.1.1.6 Humedad atmosférica. La humedad atmosférica hace referencia a la erosión en los elementos que es la pérdida del material que puede ser provocada por la acción de presiones atmosféricas (Wikilibros, 2012) (Broto, 2006) (Construmática, 2010).

3.1.2 Químicos. Las afectaciones químicas se presentan por diferentes interacciones de los materiales con los flujos ambientales entre los cuales se tiene la presencia de hidratación, corrosión, carbonatación, oxidación y eflorescencias. Ahora bien dependiendo de los materiales que interactúen esencialmente de su composición presentándose con un tipo de reacción. Por ejemplo la mayoría de los carbonatos se disuelven, dejando expuesto el acero de refuerzo los cuales tienden a oxidarse. Estas reacciones se presentan en medio acuoso compuesta por agua y muchas veces se ve afectada por la temperatura (AISC, 2010) (Broto, 2006) (Construmática, 2010).

3.1.2.1 Carbonatación. Este fenómeno es natural y agrede a las estructuras de concreto, en el que la presencia de dióxido de carbono el cual se produce por la quema de cualquier producto de carbón o derivados de estos, se presenta en la lluvia acida y en el efecto invernadero.

La generación de dióxido de carbono no siempre tiene que ser artificial, en realidad este es un acontecimiento natural debido a la fotosíntesis generada por las plantas, además los seres vivos consumen carbohidratos y otras moléculas que contienen carbono que posteriormente se exhalan por medio de la respiración los cuales son llevados a la atmosfera y realiza una descomposición entre la concentración de gas de efecto invernadero (Alfonso, 2013).

Después de dar una leve explicación de cómo se tiene la presencia de carbono en el ambiente se estima la afectación que tiene con respecto a la interacción con el concreto, principalmente se genera la perdida de pH al reaccionar con la humedad en los poros del elemento, al tener baja acidez en el concreto se presenta una alta falla en los refuerzos debido a que el concreto naturalmente es alcalino y al perder su propiedad aumenta el riesgo de que la capa protectora del acero sea atacada por oxidación de la misma (Montani, 2000).

Para que exista el evento de carbonatación se tiene que establecer tres factores los cuales son: la permeabilidad del concreto, el contenido de humedad el cual debe estar entre un 50 y un 75% cuando es menor a este grado no se tiene alta cantidad de agua en los poros del concreto para que se disuelvan las cantidades importantes de hidróxido de calcio; por el contrario si se tiene una humedad mayor al 75% los poros se bloquean con el agua (Construmática, 2010) (Montani, 2000). Para determinar la afectación química se debe realizar pruebas de carbonatación a las estructuras de concreto en proceso de corrosión, en las Figuras 17,18, 19 y 20 se muestran las afectaciones por efecto de la carbonatación además se encuentra en las tablas 17, 18, 19 y 20 las sintomatologías y posibles causas que llevan a este tipo de falla.



Figura 17. Efecto de carbonatación en estructuras de hormigón. Adaptado de: e-struc.com

Tabla 17.

Efecto de carbonatación en estructuras de hormigón.

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Cambio de color en el material. • Fisuras en la zona afectada. • Aumento de sulfatos por elevada humedad. • Corrosión de los refuerzos de armaduras.	• Alto grado de humedad. • Recubrimiento deficiente. • Ataque de carbonos por falta de aditivos para la protección química.



Figura 18. Pérdida de recubrimiento por carbonatación. Adaptado de: proyectos.habitissimo.es

Tabla 18.

Pérdida de recubrimiento por carbonatación.

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Pérdida de recubrimiento. • Corrosión de los refuerzos de armaduras.	• Recubrimiento deficiente. • Ataque de carbonos por falta de aditivos para la protección química. • Materiales pétreos en estado regular. • Deficiencia en la mezcla de concreto.



Figura 19. Pérdida de acabados y de material por efecto de carbonatación. Adaptado de: capillamonaco

Tabla 19.

Pérdida de acabados y de material por efecto de carbonatación

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Pérdida de recubrimiento. • Corrosión de los refuerzos de armaduras. • Inicio de carbonatación.	• Recubrimiento deficiente. • Ataque de carbonos por falta de aditivos para la protección química. • Mala dosificación en la preparación del mortero. • Deficiencia en la mezcla de concreto.



-Deterioro en
recubrimiento
por efecto de
carbonatación

Figura 20. Presencia de carbonatación en muros. Adaptado de: rtarquitectura.com

Tabla 20.

Presencia de carbonatación en muros

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Pérdida de recubrimiento. • Corrosión de los refuerzos de armaduras. • Fractura en el concreto del nudo del elemento.	• Recubrimiento deficiente. • Ataque de carbonos por falta de aditivos para la protección química. • Mala dosificación en la preparación del mortero. • Deficiencia en la mezcla de concreto.

3.1.2.2 Ataque por sulfatos. Este es un ataque al concreto por medio de la interacción de las sales del sulfato con el cemento, los sulfatos son una composición química provenientes del medio ambiente y se catalogan por: sulfatos, biológicos, naturales e industriales (Monjo, 1994), en las Figuras 21 y 22 se presenta elementos posterior al ataque de los sulfatos.

- **Sulfatos Biológicos:** Estas sales son producidas por microorganismos que se ubican en la superficie del concreto, las plantas de tratamientos residuales son un ejemplo típico de ataque por la descomposición biológica en sustancias orgánicas conteniendo proteínas y azufre (Monjo, 1994) (Anderson, s.f).

- **Sulfatos naturales:** Se catalogan a estas composiciones ubicándolas en el medio ambiente, en los suelos arcillosos, con alto nivel freático y con turbas generando sulfato de amonio (NH_4SO_4), sulfato de calcio (CaSO_4), sulfato de magnesio (MgCl_2), sulfato de sodio (NaSO_4). Por el contrario con referente al agua marina se presentan sales con mayor agresividad con el concreto encontrándose cloruro de sodio (NaCl), cloruro de magnesio y sulfato de calcio (Montani, 2000) (Anderson, s.f).

- **Sulfatos industriales:** Estas composiciones son provenientes de aguas residuales con derivados orgánicos e inorgánicos del azufre, también son provenientes de fábricas de fertilizantes, plantas industriales, laboratorios cuyos desechos contaminan el suelo o las aguas subterráneas.

Para determinar esta afectación patológica se caracteriza el elemento con el cambio de coloración del material, junto con fisuras entrecruzadas las cuales van aumentando causando una delaminación del concreto superficial con curva características de las tensiones que produce la expansión de los productos (Coscollano, 2003).

En las estructuras se presentan en los elementos que está en contacto con medio ambiente agresivo (cimentaciones, muros de contención, muelles, tanques de almacenamiento) por lo que se determina un recubrimiento mayor a la del resto de la estructura protegiendo el refuerzo.



-Deterioro en
recubrimiento
ataque de
sulfatos

Figura 21. Pérdida de recubrimiento por ataque de sulfatos naturales.
Adaptado de: Londoño (2011)

Tabla 21.

Pérdida de recubrimiento por ataque de sulfatos naturales

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Pérdida de recubrimiento. • Corrosión de los refuerzos de armaduras. • Presencia de carbonatación.	• Recubrimiento deficiente. • Ataque de carbonos por falta de aditivos para la protección química. • Mala dosificación en la preparación del concreto. • Deficiencia en la mezcla de concreto.



Figura 22. Delaminación de concreto en losa. Adaptado de: alamy.com

Tabla 22.

Delaminación de concreto en losa.

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Fisuras entre cruzadas. • Delaminación y pérdida de material. • Corrosión de los refuerzos de armaduras. • Presencia de carbonatación.	• Recubrimiento deficiente. • Ataque de carbonos por falta de aditivos para la protección química. • Mala dosificación en la preparación del mortero.

3.1.2.3 Ataque por cloruros. Se ha evidenciado que en las zonas costeras se presentan mayores concentraciones de cloruros los cuales afectan las estructuras de concreto de manera que aumenta la velocidad de la corrosión del acero de refuerzo dentro del concreto (Montani, 2000).

Considerando la temperatura del ambiente se presentan altas concentraciones de cloruros en un clima cálido donde se encuentran cantidades excesivas de evaporación, por el contrario en un clima frío las concentraciones son más bajas (Anderson, s.f).

Los cloruros atacan al refuerzo del elemento especialmente cuando no se tiene un recubrimiento adecuado, se presenta alta porosidad del concreto y existencia de grietas en la estructura como se muestra en la Figura 23 (Monjo, 1994).

Ahora como afectación patológica de cloruros sobre el concreto se obtiene baja resistencia a compresión, ya que estos químicos se presentan desde el inicio de la mezcla encontrados en los agregados, aditivos o agua (Monjo, 1994).



Figura 23. Corrosión avanzada por ataque de cloruros. Adaptado de: alamy.com

Tabla 23.

Corrosión avanzada por ataque de cloruros

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Corrosión de la armadura inducida por cloruros. • Posible carbonatación debido a la humedad del sector. • Falla por expansión, fisuración, y desagregación por sulfatos.	• Contacto directo con el agua de mar. • Ataque de cloruros, sulfatos y la combinación de carbonatación más los iones del cloruro.

3.1.2.4 Corrosión. La composición química del acero al verse afectada por un ataque de electroquímicos tiende a buscar una estabilidad para reducir la energía interna, este proceso químico conlleva al inicio de la oxidación y posteriormente a la corrosión, en la Figura 24 se ilustra el comportamiento del acero de refuerzo. Se determina que el proceso se lleva a cabo con la interacción de la temperatura y la salinidad de fluidos que entran en contacto con el metal. Al tener la reacción química en el acero se refleja la afectación en el elemento como la generación de fisuras, grietas o desgaste de los elementos pétreos como se muestra en las Figuras 25 a la 31. En la Figura 32 mediante un ensayo de fotografía térmica se exhibe el comportamiento del acero de refuerzo luego de verse afectada por la corrosión (Wikilibros, 2012) (Broto, 2006) (Construmática, 2010).

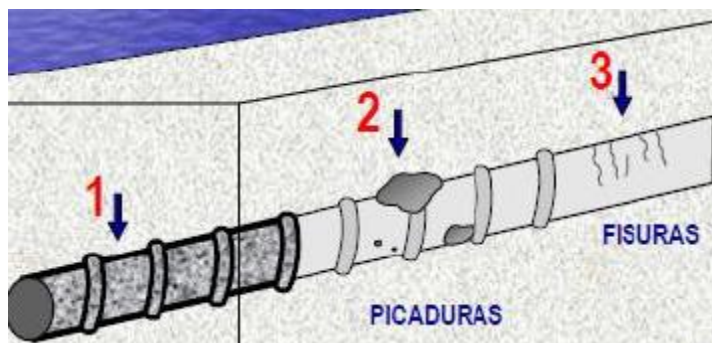


Figura 24. Tipos de fisuras presentes en el acero de refuerzo.
Adaptado de: Díaz (2017)

Tabla 24.

Tipos de fisuras presentes en el acero de refuerzo

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
- En el esquema 1 se muestra corrosión por carbonatación. - En el esquema 2 se muestra picadura y daños por cloruros. - En el esquema 3 se muestran fisuras por descomposición química.	- Recubrimiento deficiente. - Ataque por falta de aditivos para la protección química. - Mala dosificación en la preparación de la mezcla. - Presencia de cloruros y sulfatos en el ambiente.



Figura 25. Corrosión en barras de refuerzo.

Tabla 25.

Corrosión en barras de refuerzo.

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Fisuras entre cruzadas. • Delaminación y pérdida de material. • Corrosión de los refuerzos de armaduras.	• Recubrimiento deficiente. • Ataque por falta de aditivos para la protección química. • Mala dosificación en la preparación de la mezcla. • Separación entre barras bajas con respecto al diámetro del agregado. • Presencia de cloruro y carbonatos



Figura 26. Pérdida de recubrimiento y corrosión en barras de refuerzo de viga

Tabla 26.

Pérdida de recubrimiento y corrosión en barras de refuerzo de viga

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Fisuras entre cruzadas. • Delaminación y pérdida de material. • Corrosión de los refuerzos de armaduras. • Humedad elevada. • Expansión, fisuración y desagregación.	• Recubrimiento deficiente. • Ataque por falta de aditivos para la protección química. • Mala dosificación en la preparación de la mezcla. • Ataque de sulfuros. • Presencia de cloruro y carbonatos.



Figura 27. Fracturas y daños del concreto por corrosión del acero. Adaptado de: Díaz (2017)

Tabla 27.

Fracturas y daños del concreto por corrosión del acero

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Fractura del concreto por corrosión del acero. • Expansión del acero por corrosión.	• Recubrimiento deficiente. • Ataque por falta de aditivos para la protección química. • Ataque de sulfuros. • Presencia de cloruro y carbonatos.

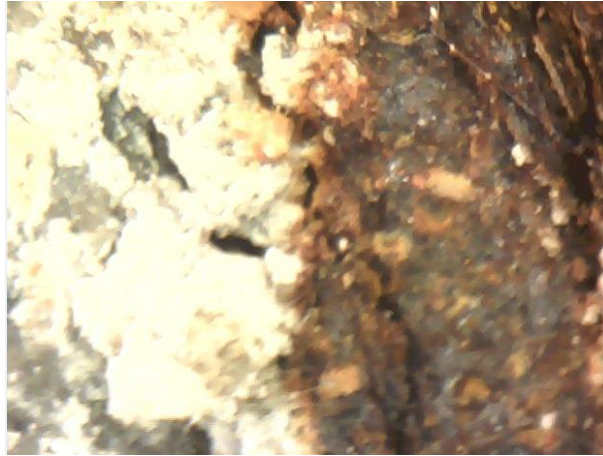


Figura 28. Microfotografía donde se aprecia el daño al concreto por expansión de acero. Adaptado de: Díaz (2017).

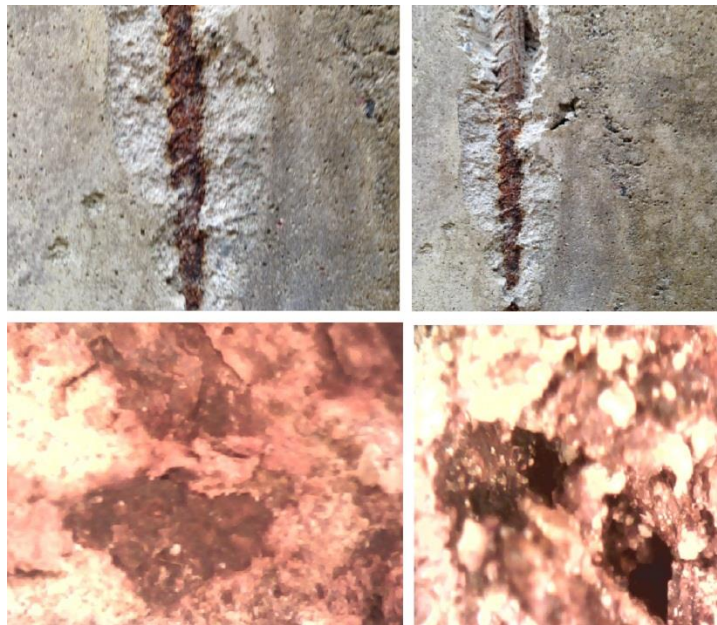


Figura 29. Fracturas y daños del concreto por corrosión del acero. Adaptado de: Díaz (2017)



Figura 30. Falta de recubrimiento de acero en muros en concreto por corrosión. Díaz (2017)



Figura 31. Fracturas y daños del concreto por corrosión del acero. Díaz (2017)

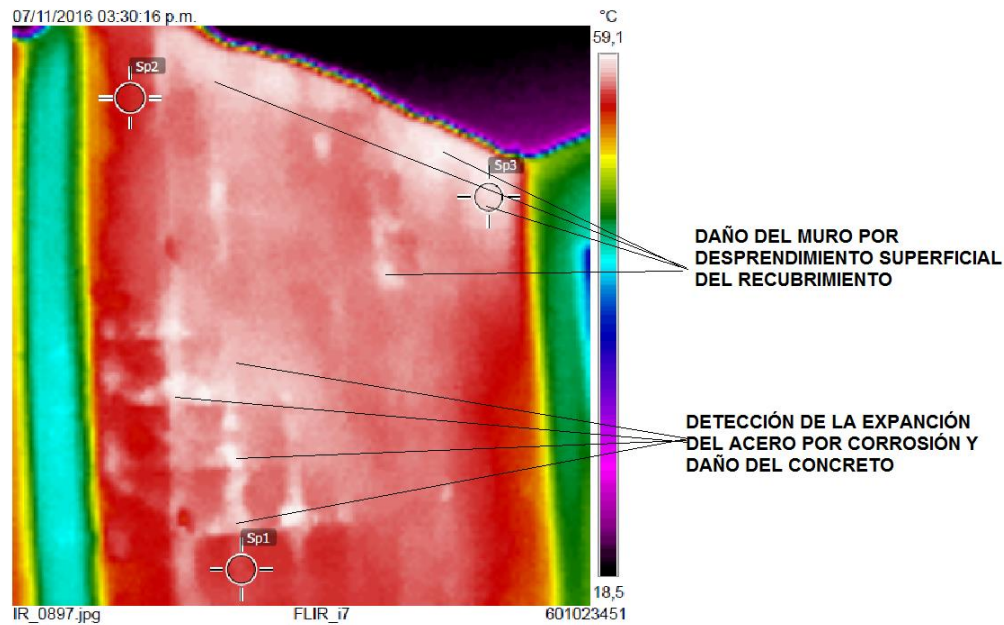


Figura 32. Fotografía térmica identificando los refuerzos. Díaz (2017)

3.1.2.5 Oxidaciones. En las Figuras 33 y 34 se enseña el comportamiento del elemento posterior a la falla por la oxidación que es la reacción química que se presenta en el acero de refuerzo por la presencia de agua, oxígeno, cambios de temperatura y la actuación de cloruros que aumentan por baja alcalinidad; en las Figuras 35 y 36 se ilustra el comportamiento del acero de refuerzo microscópicamente después de verse afectado por oxidación (Wikilibros, 2012) (Construmática, 2010).



Figura 33. Oxidación en barra de refuerzo, pérdida de material férreo

Tabla 28.

Oxidación en barra de refuerzo, pérdida de material férreo

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Pérdida de recubrimiento. • Delaminación y pérdida de material. • Expansión por la corrosión de los refuerzos.	• Recubrimiento deficiente. • Ataque por falta de aditivos para la protección química. • Mala dosificación en la preparación de la mezcla. • Ataque de sulfuros. • Agregados de baja calidad. • Presencia de cloruro y carbonatos.



Figura 34. Oxidación en barra de refuerzo por desprendimiento de recubrimiento

Tabla 29.

Oxidación en barra de refuerzo por desprendimiento de recubrimiento

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Agrietamiento y pérdida de material de recubrimiento. • Delaminación y pérdida de material. • Corrosión de los refuerzos de armaduras. • Expansión, fisuración y desagregación.	• Recubrimiento deficiente. • Ataque por falta de aditivos para la protección química. • Mala dosificación en la preparación de la mezcla. • Ataque de sulfuros. • Presencia de cloruro y carbonatos.

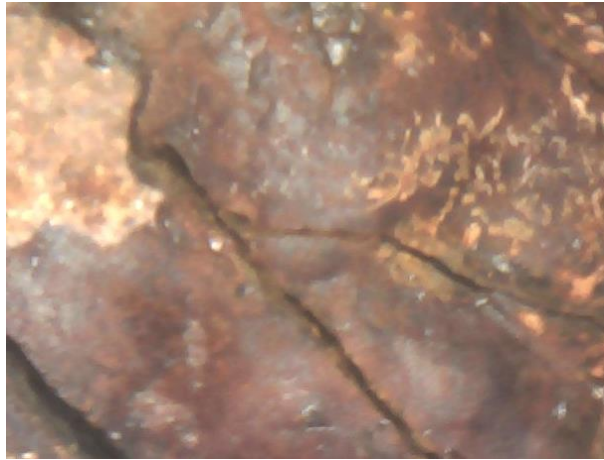


Figura 35. Microfotografía donde se aprecia el daño del acero. Adaptado de: Díaz (2017)

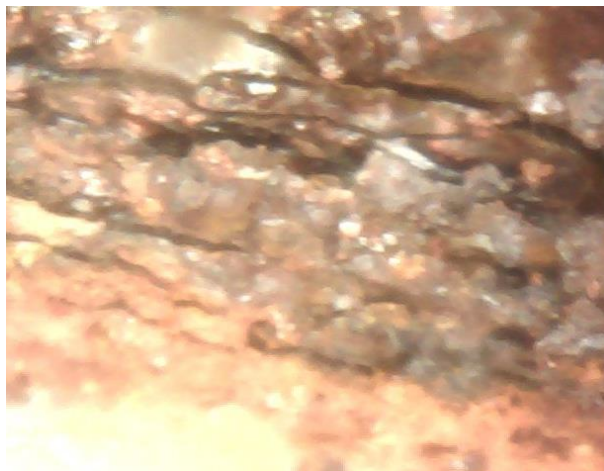


Figura 36. Microfotografía donde se aprecia el acero convertido en ferrita natural y con fracturas. Adaptado de: Díaz (2017)

3.1.2.6 Organismos. En toda estructura que tenga presencia de un organismo vivo, y que interfiera con los elementos o los materiales por solo su presencia o por ataque de los químicos que segregan y que realizan una reacción con los productos iniciales como se ilustra en la Figura 37 y 38 (Monjo, 1994).



Figura 37. Presencia de moho en viga de borde.

Tabla 30.

Presencia de moho en viga de borde.

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Presencia de moho y organismos vegetales. • Perdida de recubrimiento. • Humedad excesiva. • Posible presencia de carbonatación. • Afectación corrosiva a los refuerzos.	• Recubrimiento deficiente. • Ataque por falta de aditivos para la protección química y biológica. • Mala dosificación en la preparación de la mezcla. • Ataque de sulfuros. • Falta de mantenimiento.



Figura 38. Presencia de humedad por vegetación.

Tabla 31.

Presencia de humedad por vegetación.

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Presencia de moho y organismos vegetales. • Posible afectación por carbonatación. • Pérdida de recubrimiento. • Corrosión en el refuerzo.	• Recubrimiento deficiente. • Falta de desagüe en la junta • Mala dosificación en la preparación de la mezcla. • Posible ataque de sulfuros. • Ataque por falta de aditivos para la protección química y biológica.

3.1.2.7 Eflorescencias. En la Figura 39 se evidencia falla de las eflorescencias a causa de la cristalización sobre superficie de sales que son transportadas por la acción del agua, disolviéndolas y que se hacen presentes mediante el proceso de evaporación. Una lesión previa es la humedad, como se muestra en las Figuras 40 y 41 donde se presenta falla en los acabados con el desprendimiento de material (Anderson, s.f).



Figura 39. Cristalización de mortero de friso.

Tabla 32.

Cristalización de mortero de friso.

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Pérdida de recubrimiento o mortero de friso. • Posible afectación de carbonatación. • Fisuras entrecruzadas. • Presencia de organismos.	• Mala dosificación en la preparación del mortero. • Presencia de humedad por escorrentía directa. • Posible afectación por sulfatos.



-Pérdida de
acabado en
placa

Figura 40. Levantamiento de acabados por cristalización de placa.

Tabla 33.

Levantamiento de acabados por cristalización de placa.

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Fisuras entre cruzadas. • Delaminación y pérdida de material.	• Recubrimiento deficiente.

• Posible presencia de carbonatación. • Humedad elevada. • Expansión, fisuración y desagregación.	• Ataque por falta de aditivos para la protección química. • Mala dosificación en la preparación de la mezcla. • Ataque de sulfuros. • Mal desagüe en la placa.
---	--



Figura 41. Pérdida de friso.

Tabla 34.
Pérdida de friso.

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Fisuras entre cruzadas. • Delaminación y pérdida de material. • Corrosión de los refuerzos de armaduras. • Presencia de carbonatación • Humedad elevada.	• Recubrimiento deficiente. • Ataque por falta de aditivos para la protección química. • Mala dosificación en la preparación de la mezcla. • Ataque de sulfuros. • Mala ejecución de curado.

3.1.3 Mecánicas. Las afectaciones mecánicas son provocadas por movimientos, desgastes y separación de fragmentos en la estructura. Para evitar esta falla se tiene que tener en cuenta el uso adecuado de los materiales en la ejecución de la obra y una coordinación en la construcción. Las sintomatologías presentes en esta categoría se encuentran: fisuras, deformaciones, grietas y desprendimientos (Wikilibros, 2012) (Broto, 2006) (Construmática, 2010).

3.1.3.1 Fisuras. Las fisuras son pequeñas aperturas que no sobrepasan 3 mm, aunque lo más importante es el ángulo de vista y de las características de la estructura, casualmente las fisuras se presentan por la humedad y los cambios climáticos, estas afectaciones son superficiales y por general afectan los acabados de las fachadas, interiores, suelos entre otros (Wikilibros, 2012) (Construmática, 2010) (Alcudia, 1999).

- **Fisuras por lluvias:** Las fisuras se generan principalmente a causa de las lluvias, generando humedad en los elementos de fachadas o de cubierta, por la eventualidad de su presencia generan mayor o menor hidratación y generando dilatación y contracción del material superficial. Se presentan evidencias claras de estas fisuras, por tener pérdida de pintura y acabados a medida que pasa el tiempo en las Figuras 42 y 43 se da un ejemplo del resultado de estas afectaciones (Construmática, 2010).



Figura 42. Fisura en la conexión de placa cubierta y muro.

Tabla 35.

Fisura en la conexión de placa cubierta y muro.

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Fisura por infiltración de agua. • Delaminación y pérdida de material. • Corrosión de los refuerzos de armaduras. • Presencia de carbonatación • Humedad elevada. • Expansión, fisuración y desagregación.	• Recubrimiento deficiente. • Ataque por falta de aditivos para la protección química. • Mala dosificación en la preparación de la mezcla. • Mala impermeabilización en la placa. • Posible ataque de sulfuros. • Mal sistema de drenaje de aguas lluvias.



Figura 43. Fisura en placa cubierta por falta de desagüe

Tabla 36.

Fisura en placa cubierta por falta de desagüe

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Fisuras entre cruzadas • Delaminación y pérdida de material. • Corrosión de los refuerzos de armaduras. • Presencia de carbonatación • Humedad elevada. • Expansión, fisuración y desagregación. • Presencia de organismos vivos.	• Recubrimiento deficiente. • Ataque por falta de aditivos para la protección química. • Mala dosificación en la preparación de la mezcla. • Mal sistema de drenaje. • Mala impermeabilización en las juntas de la placa. • Posible ataque de sulfuros.

• **Fisuras por sales:** Al preparar la mezcla de los materiales se debe conocer la salinidad de los componentes, por lo que puede generar afectaciones en los acabados de las estructuras. Cuando la estructura se encuentra en zonas costeras se presentan altos grados de salinidad en el ambiente, aunque ésta se considera como una afectación química, se tiene que tener claro que en el proceso constructivo la mezcla puede adquirir partículas de sales y generan fisuras, una sintomatología es

la presencia de estalactita como se ilustra en la Figura 44 (Construmática, 2010) (Calavera, 2005) (Anderson, s.f).



Figura 44. Fisura superficial en placa con presencia de estalactita

Tabla 37.

Fisura superficial en placa con presencia de estalactita

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Delaminación y pérdida de material. • Corrosión de los refuerzos de armaduras. • Presencia de carbonatación. • Humedad elevada. • Presencia de estalactita.	• Recubrimiento deficiente. • Ataque por falta de aditivos para la protección química. • Mala dosificación en la preparación de la mezcla. • Ataque de sulfuros.

- **Fisuras por congelación:** Para que se presente este tipo de afectaciones se entiende que están generadas por el cambio en volumen de agua al encontrarse en estado de congelación, por lo tanto se tiende a asumir la forma del material sólido y al entrar en proceso de descongelación se

tiene una pérdida alta de sus componentes de resistencia y produce la fisura como se evidencia en la Figura 45 (Wikilibros, 2012) (Broto, 2006) (Construmática, 2010) (Alcudia, 1999).



Figura 45. Fisura por bajas temperaturas y contracción del concreto. Adaptado de: Construmatica.com

3.1.3.2 Grietas. A diferencia de las fisuras, las grietas son afectaciones no superficiales y afectan en totalidad la estructura, aunque las fisuras es la primera fase que se tiene para las grietas, puesto que se determinan las grietas con una separación superior a 3 mm entre los bordes. Por otra parte se tiene una medición y tolerancia diferente dependiendo de la estructura en estudio; ahora bien se tienen dos importantes lesiones, una muerta y otra progresiva, donde la progresiva presenta un grado de mayor urgencia a reparación (Alcudia, 1999).

- **Estructurales:** Cuando se presenta sobre-carga o fuerza de los que fueron diseñados, se genera un mayor esfuerzo y genera rotura en algún elemento estructural como en los muros estructurales, una viga, una columna entre otros. En las Figuras 46, 47 y 48 se presentan fallas en los elementos mencionados (Coscollano, 2003).



-Pérdida de material por sobrecarga

Figura 46. Grieta por sobrecarga en la placa.

Tabla 38.

Grieta por sobrecarga en la placa.

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Grieta en la conexión de vigueta a viga de carga. • Delaminación y pérdida de material. • Corrosión de los refuerzos de armaduras. • Posible presencia de carbonatación.	• Recubrimiento deficiente. • Mala distribución del acero de refuerzo a cortante. • Mala dosificación en la preparación de la mezcla. • Ataque de sulfuros.



-Grieta en los muros divisorios.

-Placa maciza sobre muro.

Figura 47. Grieta por sobrecarga en muros divisorios

Tabla 39.

Grieta por sobrecarga en muros divisorios

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Delaminación y pérdida de material. • Presencia de carbonatación. • Pérdida de recubrimiento.	• Sobrecarga de placa maciza. • Mala distribución de esfuerzos por la placa. • Ataque de sulfuros y sulfatos.



Figura 48. Grieta por impacto de roca.

Tabla 40.

Grieta por impacto de roca.

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Fisuras entre cruzadas. • Delaminación y pérdida de material. • Corrosión de los refuerzos de armaduras. • Presencia de carbonatación. • Humedad elevada.	• Recubrimiento deficiente. • Mala dosificación en la preparación de la mezcla. • Ataque de sulfuros. • Falta de obras de disipación de energía aguas arriba.

• **Térmicas:** El cambio de temperatura genera procesos de dilatación o contracción, generando grietas entre los elementos como se ilustra en la Figura 49 principalmente aparecen en

las superficies aunque existen en los elementos principales de la estructura (Construmática, 2010) (Calavera, 2005).

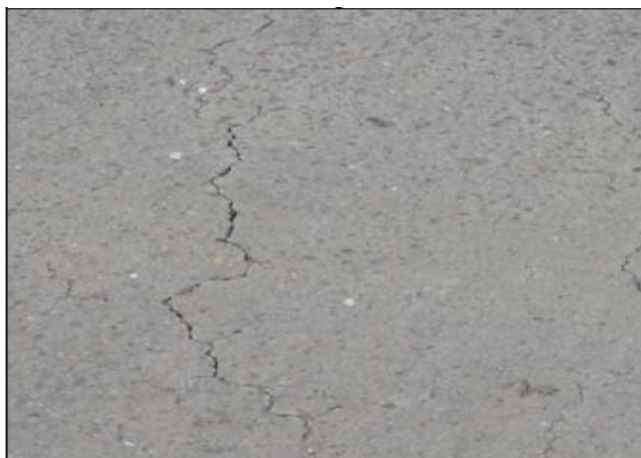


Figura 49. Grieta por afectación de elevada temperatura en la placa.

Tabla 41.

Grieta por afectación de elevada temperatura en la placa.

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Grietas entre cruzadas. • Dilatación en el concreto. • Presencia de carbonatación. • Posible ataque de corrosión al acero de refuerzo principal.	• Recubrimiento deficiente. • Mal curado del concreto. • Falta refuerzo de fraguado y temperatura. • Ataque de sulfuros y sulfatos.

- **Fraguado:** Cuando el concreto comienza el ciclo de secado o fraguado, se requiere realizar un buen proceso de curado para que no pierda resistencia ni durabilidad como sucedió en las estructuras mostradas en las Figuras 50 y 51, dado el caso que para realizar el curado en un ambiente hostil, es un poco tedioso, la mejor forma de evitar este tipo de grietas es aplicando aditivos a la mezcla (Días, 2014) (Florentín y Granada, 2009) (Wikilibros, 2012).

-Por mal
procedimiento de
desenfofrado, se
presenta pérdida
de recubrimiento.



Figura 50. Desprendimiento de recubrimiento

Tabla 42.

Desprendimiento de recubrimiento

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Fisuras entre cruzadas. • Delaminación y pérdida de material. • Corrosión de los refuerzos de armaduras. • Presencia de carbonatación. • Expansión, fisuración y desagregación.	• Recubrimiento deficiente. • Mal curado en el fraguado del concreto. • Mal desenfofrado. • Ataque de sulfuros y sulfatos.



Figura 51. Grieta por falta de curado.

Tabla 43.

Grieta por falta de curado.

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Fisuras entre cruzadas. • Delaminación y pérdida de material. • Corrosión de los refuerzos de armaduras. • Presencia de carbonatación. • Humedad elevada.	• Recubrimiento deficiente. • Mal curado del concreto. • Sobre-carga con el equipo de la estación eléctrica en estado endurecido. • Posible ataque de sulfuros.

• **Desplazamiento:** El desplazamiento en una estructura, se refiere al movimiento que puede tener ésta, bajo algún evento externo como se ilustra en la Figura 52, sísmico, por mala cimentación, empujes de tierra; en la mayoría de los casos es más predecible que se presente por asentamientos en el suelo, generando grietas en todos los elementos tanto estructurales, como no estructurales, la sintomatología de esta afectación es que la fisura se encuentra inclinada a un ángulo de 45° aproximadamente tal cual se muestra en la Figura 53 (Construmática, 2010) (Calavera, 2005) (Coscollano, 2012)

Grietas por
desplazamiento
en columnas por
onda explosiva.



Figura 52. Grietas en columnas, desplazamiento causado por onda explosiva.

Tabla 44.

Grietas en columnas, desplazamiento causado por onda explosiva.

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Fisuras entre cruzadas. • Delaminación y pérdida de material. • Corrosión de los refuerzos de armaduras. • Presencia de carbonatación. • Humedad elevada. • Expansión, fisuración y desagregación. • Pandeo en columnas por onda explosiva.	• Sobre esfuerzos en el elemento superior al límite elástico. • Sobre-carga en los elementos. • Falta de confinamiento del concreto. • Mala dosificación en la preparación de la mezcla.

Sobre carga de terreno en muro de contención de sótano.



Figura 53. Desplazamiento de muro por empuje de tierra.

Tabla 45.

Desplazamiento de muro por empuje de tierra.

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Agrietamiento en el muro. • Delaminación y pérdida de material.	• Sobrecarga por empuje de terreno. • Ataque de sulfuros y sulfatos.

3.1.3.3 Desprendimientos. En esta fase se evidencia por completo la pérdida de las propiedades de los materiales, dado a que se encuentran desprendimientos en el recubrimiento de los elementos, este acontecimiento se debe principalmente a la humedad, deformaciones o grietas. Cuando se presenta esta sintomatología tiene que ser revisada y catalogarse como prioritario (Wikilibros, 2012) (Construmática, 2010) (Calavera, 2005).

- **Desprendimiento por alabeos.** Cuando se genera una rotación en la estructura tienden a sufrir los elementos horizontales, los cuales presentan desprendimiento de material como se muestra en la Figura 54, se considera también que pueden llegar al desplome tal cual el caso de la Figura 55, una estructura evidencia esta sintomatología cuando se tiene en los acabados del piso, levantamiento o agrietamiento en forma circular, este suceso se presenta por mal diseño estructural, al olvidarse la rotación de la estructura cuando se presenta algún evento sísmico o externo (Construmática, 2010) (Calavera, 2005).

-empuje del
puente a causa
de un aluvión
en el municipio
de San Vicente
de chucuri el 18
de mayo de
2011



Figura 54. Desprendimiento de concreto por rotación en la viga

Tabla 46.

Desprendimiento de concreto por rotación en la viga

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Delaminación y pérdida de material. • Presencia de carbonatación. • Humedad elevada. • Movimiento de elementos.	• Sobrecarga por empuje de viga por aluvión. • Ataque de sulfuros. • Ejecución de elementos nuevos sobre existente.

Pérdida de muro por
construcción nueva.



Figura 55. Desprendimiento de concreto entre muros divisorios

Tabla 47.

Desprendimiento de concreto entre muros divisorios

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Agrietamiento en el muro. • Delaminación y pérdida de material. • Presencia de carbonatación.	• Empuje por construcción nueva. • Ataque de sulfuros. • Falta de confinamiento de la mampostería.

• **Desprendimientos por pandeos.** El pandeo es la inestabilidad estructural que se tiene en los elementos al tener una luz grande mediante una sección baja y estar sobrecargadas a la resistencia del elemento, en la mayoría de los casos sufren las columnas, puesto que son las que deben resistir la carga vertical de la estructura, al tenerse esta afectación es difícil tener una sintomatología, pero se evidencia desprendimientos en los elementos verticales como se enseña en las Figuras 56 y 57, otra característica es una curvatura en el centro del elemento. El desprendimiento por pandeo, se cataloga como prioritario o de urgencia para reparación, así se evitará el colapso del producto (Wikilibros, 2012) (Broto, 2006) (Construmática, 2010).

-Columna sin
reforzamiento
estructural con
construcción de
placa nueva.



Figura 56. Desprendimiento de concreto por pandeo en la columna.

Tabla 48.

Desprendimiento de concreto por pandeo en la columna.

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Agrietamiento en la columna. • Delaminación y pérdida de material. • Presencia de carbonatación. • Aplastamiento de la columna. • Corrosión en los refuerzos.	• Sobrecarga por placa nueva. • Falta de refuerzo de la columna. • Área baja del elemento a compresión. • Ataque de sulfuros.

Columna
sobrecargada,
pérdida de
material.



Figura 57. Desprendimiento de concreto por pandeo en la columna.

Tabla 49.

Desprendimiento de concreto por pandeo en la columna.

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Agrietamiento en el elemento. • Delaminación y pérdida de material. • Posible presencia de carbonatación. • Corrosión en el acero.	• Sobrecarga por estructura. • Falta de refuerzo de la columna. • Ataque de sulfuros, carbonatos y sulfatos.

• **Desprendimiento por desplomes.** Los desplomes, es la etapa final de un elemento en la estructura, este caso se evidencia por la pérdida de algún miembro en el producto llevando a cabo el colapso, se presenta por fuerzas horizontales, las cuales realizan desprendimientos en las uniones, como en el caso de empuje de tierra, agua, viento o sismo tal cual se evidencia en la Figura 58 (Calavera, 2005) (Coscollano, 2003).



Figura 58. Desprendimiento de concreto por desplome de muros.

Tabla 50.

Desprendimiento de concreto por desplome de muros.

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Agrietamiento en el muro. • Pérdida de material. • Presencia de carbonatación. • Desplome de muro por aluvión.	• Sobrecarga por empuje de agua esorrentía directa. • Falta de drenaje de aguas lluvias. • Elementos de confinamiento defectuoso. • Ataque de sulfuros, sulfatos y carbonatos.

• **Desprendimiento por flechas.** Las flechas en estructuras, se presentan por el momento flector, torsor y cortante que tiene que resistir los elementos horizontales y son producidas por la carga vertical viva o muerta, no obstante, se tienen evidencia que pueden ser generadas por la transmisión de cargas entre elementos horizontales. Presenta una sintomatología clara en los acabados, al presentarse falla en el piso con desnivel, este problema se realiza por abuso de carga en la estructura en la Figura 59 se evidencia la perdida de material en el tablero del puente, la

afectación tiene que ser revisada prioritariamente, puesto que está influyendo en el desplome de la estructura (Días, 2014) (Florentín y Granada, 2009) (Técnicas de investigación, dictamen e intervención en las estructuras de hormigón, s.f) (Construmática, 2010) (Calavera, 2005).



Figura 59. Desprendimiento de concreto en junta de puente

Tabla 51.

Desprendimiento de concreto en junta de puente

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Pérdida de material. • Presencia de carbonatación. • Corrosión en el refuerzo.	• Sobrecarga por empujes de vehículos pesados. • Ataque de sulfuros, sulfatos y carbonatos. • Falta de apoyo en el estribo. • Falta de junta del puente.

3.1.3.4 Deformaciones. Cualquier elemento estructural sometido a carga presenta una deformación, por esta razón se inicia el proceso de diseño estructural, para evitar que se tengan deformaciones mayores del permitido y que pueda llegar al desplome, la mayoría de las deformaciones tienen que ser medidas por instrumentos (Construmática, 2010)

3.1.4 Resumen. En la Figura 60 se muestra un resumen de las afectaciones que tienen las estructuras de concreto, por medio de sintomatologías y sus causas.

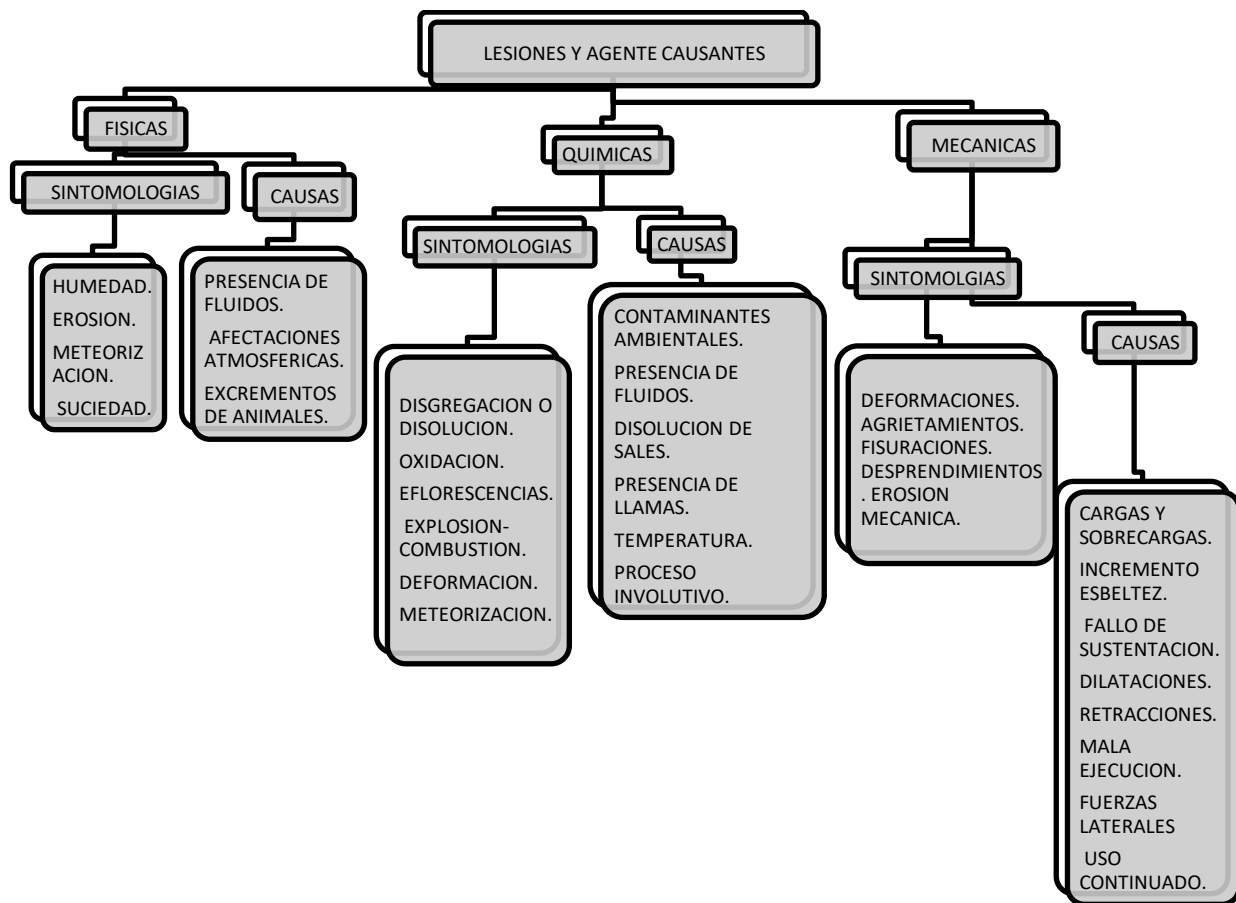


Figura 60. Afectaciones que tienen las estructuras de concreto

3.2 Afectaciones en estructuras metálicas.

Con el desarrollo de aplicaciones tecnológicas se han cambiado los materiales de construcción para estructuras, los elementos metálicos son un ejemplo claro, ya que por su gran tenacidad resiste cualquier tipo de esfuerzo, en especial a tensión, usando una sección baja; además por ser elementos ligeros, permite la aplicación a grandes luces y alturas; no obstante, las estructuras metálicas se consideran como las más afectadas por la agresividad del medio ambiente, se estima que las principales fallas y daños se encuentran en las conexiones de los elementos (soldadura, pernos, remaches) que ponen en peligro la construcción y la seguridad de la estructura (Quintero, 1991) (Monjo, 1991).

Tal cual se describió en las afectaciones, en el concreto las estructuras metálicas tienden a alterar su resistencia y características de materiales debido a las siguientes causas (Monjo, 1991):

3.2.1 Mecánicas. Las afectaciones mecánicas se derivan de agentes externos que afectan las estructuras. Se relacionan estas fallas a los desgastes de los materiales, la sobrecarga y por movimientos. Ahora bien las estructuras metálicas son livianas por que se ven afectadas usualmente por la carga del viento considerándose como diseño inicial (Monjo, 1991) (Martínez, 1984).

Las fallas mecánicas se catalogan por 3 causas: deformaciones, rotura e impacto a continuación se expone cada una de las causas.

3.2.1.1 Deformaciones. Dado a que las estructuras metálicas están conformadas por elementos con secciones pequeñas, se determina su deformación por la aplicación de fuerza superior a la admisible por el componente (Rodríguez, 1992) (Villa, 1990) (García y Damiani, 2000) (Ordoñez, 2012).

- **Deformaciones mecánicas.** Estas afectaciones se presentan cuando las cargas externas superan la resistencia permisible del elemento, reflejándose con flecha excesiva, si se diseña a flexión, y si se encuentra solicitada a compresión, se produce pandeo local o global (Ordoñez, 2012).

Cuando un elemento falla a flexión, usualmente se ven afectadas las placas y por lo tanto se puede observar que en el medio de la viga se refleja con un agrietamiento del elemento que es donde se presenta el máximo esfuerzo, en la Figura 61 se ilustra la falla de una cercha que funciona como una viga y se evidencia rotura en el medio del elemento en conjunto.

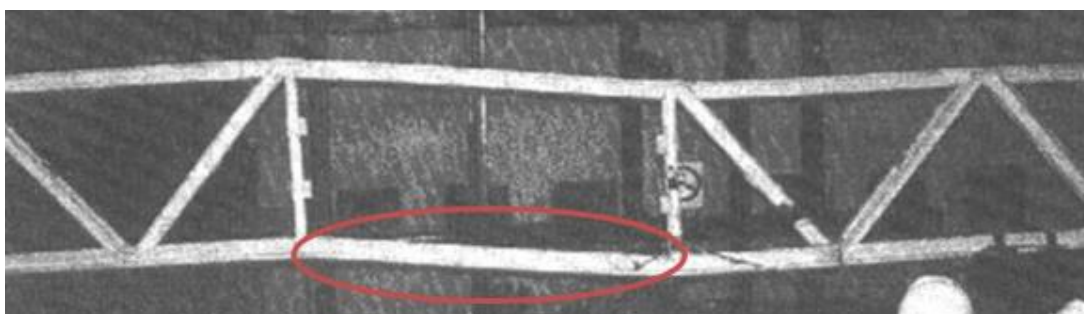


Figura 61. Deflexión de viga por evento sísmico. Adaptado de: GARZA (2017)

Tabla 52.

Deflexión de viga por evento sísmico

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Compresión en el elemento. • Falla en la conexión.	• Sobrecarga por empuje de sismo. • Cercha incompleta.

En la Figura 62 se ilustra una falla por pandeo comportándose de una manera elástica ya que el esfuerzo aplicado al elemento supera la que puede resistir la sección que tiene dimensiones pequeñas comparadas con la luz.



Figura 62. Pandeo en estructuras verticales. Adaptado de: Construdata.com

Tabla 53.

Pandeo en estructuras verticales

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Pandeo de columna. • Interrupción de verticalidad en la estructura. • Posible falla en la conexión.	• Falta de arriostramiento de la estructura. • Falto chequeo de esbeltez del elemento.

El pandeo se muestra como una deformación en la sección del perfil o elemento, llegando a causar la fractura total y posible colapso como se ilustra en la Figura 63.



Figura 63. Pandeo local y fractura de columna. Adaptado de: slideshare.com

Tabla 54.

Pandeo local y fractura de columna

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Pandeo local del elemento. • Fractura del elemento.	• Falla de chequeo por esbeltez. • Sobre carga de diseño.

- **Deformaciones térmicas.** Siendo los elementos metálicos una composición de aleaciones fundidas, presentan deformaciones naturales por el proceso de calentamiento, causando dilataciones y llevando a deformaciones, por lo tanto, es importante considerar una junta de dilatación y se debe realizar una protección contra incendio, en la Figura 64 se ilustra la falla por deformaciones térmicas en una vía férrea siendo atacada por las temperaturas elevadas del medio ambiente y por la interacción de la rueda y el riel.



Figura 64. Afectación térmica en líneas férreas.
Adaptado de: Comofuncionanlostrenes.com

Tabla 55.

Afectación térmica en líneas férreas

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Dilatación en las juntas. • Falla en las conexiones.	• No tener en consideración la longitud de dilatación por temperaturas elevadas. • Prevenir conexión donde no restrinja desplazamiento térmico.

3.2.1.2 Rotura. Posterior a las deformaciones mecánicas se presentan las roturas de los elementos, ubicando esta sintomatología como prioritaria para prevenir el colapso de la estructura (Monjo, 1991) (Martínez, 1984).

Para realizar un diseño estructural metálico se considera de suma importancia contemplar la resistencia de los elementos, garantizando prevenir falla por rotura, considerando que se presentan dos tipos de rotura:

- **Rotura dúctil.** Este tipo de falla se presenta por la acción combinada de grandes cargas sobre secciones pequeñas, produciéndose rápidas deformaciones y rotura. Usualmente se presenta en las conexiones como se muestra en la Figura 65 (Ordoñez, 2012).



Figura 65. Rotura dúctil en elemento riostra. Adaptado de: GARZA (2017)

Tabla 56.

Rotura dúctil en elemento riostra

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Rotura de la conexión del elemento. • Rotura del elemento en la conexión.	• Ductilidad del elemento con respecto a la conexión. • Soldadura tipo mal instalada por desgaste del elemento.

- **Rotura frágil.** Este tipo de roturas, es la que se tiene que considerar en el diseño estructural, para que se presenten fallas leves ante algún evento, perseverando la resistencia a fluencia del elemento, de esta manera se garantiza que no se presenta un colapso inminente.

Cabe recalcar que luego de un evento sísmico se presenta falla por desgarramiento laminar, en el que se presentan fisuras en el sentido de laminación, se determina, al evidenciar en el elemento un tipo de dibujo escalonado con tramos longitudinales. Se puede atribuir la causa de esta falla a la conexión de los elementos, específicamente cuando se tiene un material de soldadura donde al retraerse produce tracciones perpendiculares a la dirección de laminación, en la Figura 66 se denota la aplicación de esta falla (British Constructional Steelwork Association, BCSA, 2013).



Figura 66. Desgarramiento laminar en columna Perfil Tubular Estructural (PTE). Adaptado de: GARZA (2017)

Tabla 57.

Desgarramiento laminar en columna Perfil Tubular Estructural (PTE)

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
Desgarramiento laminar del elemento por la unión.	Rotura por sobre carga del elemento de conexión.

Se considera otro tipo de rotura frágil, a la falla por fatiga, que resulta al someter los elementos de la estructura, a tensiones iguales o menores a los admisibles del proyecto, esta falla es el resultado de la cristalización de los componentes del elemento causada por sobrecalentamiento en las uniones, como el proceso de soldadura. En la Figura 67 se evidencia una sintomatología de la

que es la presencia de estrías perpendiculares a la dirección de la tracción, se recomienda realizar una sustitución del elemento afectado (Molano, 2014) (Estado límite de fatiga, 2004).



Figura 67. Elemento fallado por fatiga. Adaptado de: Mecmex.com

Tabla 58.

Elemento fallado por fatiga

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Disminución de la sección del elemento. • Estrías perpendiculares al elemento. • Afectación en el color del elemento.	• Falla por fatiga en la estructura. • Sobrecalentamiento en la conexión. • Sobre-carga de aplicación.

3.2.1.3 Impacto. El impacto es considerado en estas estructuras por ser estructuras livianas y de esta manera se presenta una variedad de afectaciones como el viento, aluviones e impacto vehicular en el cordón superior y en los portales de acceso, en la Figura 68 se ilustra la consecuencia del impacto de un vehículo (Monjo, 1991) (Martínez, 1984).



Figura 68. Flexión en elemento de cercha debido impacto vehicular

Tabla 59.

Flexión en elemento de cercha debido impacto vehicular

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Pandeo local del elemento. • Flexión del elemento.	• Sobre-carga del puente. • Fuerzas de viento. • Falta de arriostramiento. • Impacto vehicular.

3.2.2 Químicas. Como se mencionó anteriormente, se establece que las estructuras metálicas son las más afectadas por la agresión ambiental (agua, oxígeno, carbono entre otros), la afectación principal se determinan en tres ramas:

3.2.2.1 Oxidación. Es la reacción química de los componentes con el oxígeno presentado en el aire o en el agua y generando una capa de oxidación metálica, en otras palabras el regreso de los materiales no preciosos usados en el elemento. En elementos con hierro (Fe) se presentan síntomas de oxidación, se puede realizar una reparación cuando no se evidencia pérdida del elemento como se muestra en la Figura 69, por el contrario la Figura 70 ya se presenta la pérdida del elemento y por consiguiente es importante reemplazarlo de inmediato (Molano, 2014).



Figura 69. Presencia de oxidación, punto de reparación.

Tabla 60.
Presencia de oxidación, punto de reparación.

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Muestra de inicio de oxidación. • Presencia de organismos vivos.	• Falta de mantenimiento. • Falta de pintura anticorrosiva.



Figura 70. Pérdida de elemento de conexión por oxidación.

Tabla 61.
Pérdida de elemento de conexión por oxidación.

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Destrucción del elemento. • Presencia de humedad elevada.	• Falta de mantenimiento. • Humedad excesiva sobre el elemento. • Falta de pintura anticorrosiva.

Ahora bien en la Figura 71 se evidencia que en los elementos compuestos por acero CORTEN, zinc, cobre y aluminio, el efecto de oxidación cumple la función de autoprotección, ya que la aleación que lo compone, usa el óxido como un elemento prioritario y que se caracteriza por dar una mayor consistencia mecánica que protegen el resto del metal (Molano, 2014).

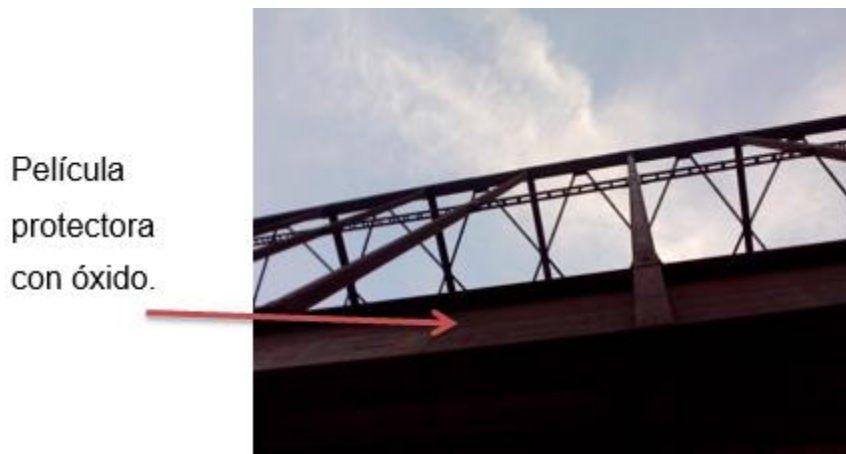


Figura 71. Presencia de óxido en los elementos metálicos como protección.

3.2.2.2 Corrosión. En este caso la corrosión del elemento es la descomposición de un metal producido por un agente externo, ahora dependiendo de la agresión de la naturaleza se conocen dos tipos (Molano, 2014):

- **Corrosión química.** Ataque por agentes químicos que generan las reacciones producidas en la interface del metal, produciendo depósitos químicos en la superficie, al igual que en la oxidación, algunos elementos usan estos depósitos como protección de una corrosión mayor (Quintero, 1991) (BCSA, 2013).

En el ambiente se tienen compuestos agresivos presentes en el aire, que contienen dióxido de azufre, dióxido de carbono, sulfatos, cloruros, cenizas y escorias. Ahora bien para la realización de protección de las estructuras como es el caso de incendios, se usan materiales de construcción cuyos elementos químicos como los hidróxidos sódicos y potásicos presentes en el cemento, ácidos en el caso de yeso y presencia de ácidos orgánicos y sales solubles presentes en la madera (Molano, 2014).

Se considera que las aguas presentan mayor reacción química en los elementos metálicos, como la disolución por inmersión en soluciones acidas, producida por la combinación de los iones metálicos con los hidrógenos del agua, por otro lado el agua de mar al presentar un alto contenido de cloruros generan una agresión química de manera rápida (Quintero, 1991) (Martínez, 1984).

Para finalizar este ítem, se presentan afectaciones por materia orgánica que se encuentran en diferentes organismos como los mohos, líquenes o las algas, cuyo proceso biológico segrega ácidos orgánicos y dióxido de carbono, en las Figuras 72, 73 y 74 se ilustran elementos afectados por esta corrosión (ACESCO, 2006)



*Figura 72. Corrosión química por agua marítima.
Adaptado de: Corrosiong.blogspot*

Tabla 62.
Corrosión química por agua marítima

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Cambio de textura del elemento. • Expansión de la corrosión con posible oxidación en los elementos.	• Falta de mantenimiento • Humedad excesiva sobre el elemento. • Falta de pintura anticorrosiva.



Figura 73. Corrosión química por acumulación de agua.

Tabla 63.
Corrosión química por acumulación de agua.

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Pérdida de material en el elemento. • Presencia de materia orgánica.	• Falta de mantenimiento • Sin bombeo o inclinación para evitar la acumulación de agua



Inicio de
material
orgánico.
Acumulando
agua lluvia.

Figura 74. Presencia de materia orgánica.

Tabla 64.

Presencia de materia orgánica.

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Pérdida de material en el elemento. • Presencia de materia orgánica.	• Falta de mantenimiento. • Sin bombeo o inclinación para evitar la acumulación de agua.
• Corrosión electrolítica. Para que se presente esta corrosión, es importante que el medio donde se establezca, sea acuoso y se debe a causa del contacto entre dos metales diferentes, generando un proceso electrolito, cuyo fin es la transferencia eléctrica desde el cátodo hasta el ánodo de esta manera se genera pérdida de electrones posteriormente a la descomposición del elemento metálico. Esta reacción se considera más delicada que la reacción química, debido a que ataca la corrosión protectora del material, al tener esta reacción en zonas costeras se agiliza la reacción química aumentando la transferencia eléctrica (Martínez, 1984) (Molano, 2014)	

Un ejemplo de esta reacción se tiene cuando se realizan estructuras con tubería galvanizada y recubrimientos de zinc como se muestra en las Figuras 75 y 76, ya que se presenta la liberación de iones de cobre, los cuales se depositan sobre la tubería y producen picadura por corrosión electrolítica, en la Figura 77 se evidencia una corrosión electrolítica por diferentes materiales entre el perno y el perfil (ACESCO, 2006) (Ordoñez, 2012).



Figura 75. Corrosión electrolítica por diferentes materiales en medio acuoso. Adaptado de: Pinterest



Figura 76. Corrosión electrolítica por diferentes materiales en medio acuoso.
Adaptado de: Losmetalesblosp.com



Figura 77. Corrosión electrolítica por diferentes materiales.

Tabla 65.

Corrosión electrolítica por diferentes materiales.

SINTOMATOLOGÍA	CAUSAS
• Presencia de corrosión en los pernos de conexión. • Oxidación en la platina de conexión. • Presencia de materia orgánica.	• Uso de diferentes materiales en la conexión.3186185126 • Falta de mantenimiento. • Exposición al medio ambiente agresivo.

4. Conclusiones

- Como evidencia de las fotografías se puede determinar una parte de la sintomatología de algún elemento posterior a una falla, no obstante se tiene que realizar una inspección más detallada para una verificación de la falla estructural.
- Con la ayuda de este manual se puede realizar una interventoría a la construcción y prevenir fallas a la estructura o algunos elementos como lo es la capilaridad en el concreto o la falta de aplicación de repelentes como aditivos en el concreto para prevenir la presencia de vegetación.
- Al momento de realizar un diseño estructural se debe conocer el comportamiento climático para poder usar los materiales adecuados y prevenir inconvenientes por la afectación ambiental, siendo el caso de congelamiento o de carbonatación.
- Se puede determinar que ensayos realizar a los elementos de la estructura por medio del registro fotográfico y poder planificar el orden trabajo.
- Se puede evidenciar la patología de los elementos por deterioro debido al tiempo de vida de los materiales y planificar un diseño de reforzamiento en los elementos sin afectar la estructura en general.

Referencias Bibliográficas

AASHTO T 277 (s.f), *Prueba de carbonatación en el concreto*. USA.

ACESCO. (2006). *Manual de diseño de perfiles estructurales en acero de lámina delgada*.
Malambo. Colombia.

ACI 228.2r-98. (s.f). *Nondestructive test methods for evaluation of concrete in structures*, ACI
committee 228.

Alcudia, F. (1999). *Patología de la edificación – el lenguaje de las grietas*. Fundación escuela de
la edificación. Madrid. España.

Alfonso, J (2013). *Influencia del curado co2 en mamposteria fabricada con sistemas cementantes
ternario*. Universidad Autónoma de Nuevo León. México.

Almarios, C. y Buelvas, R. (2006). *Estudio de patología y vulnerabilidad sísmica del edificio de
Sincelejo-Sucre*. Universidad de Sucre. Facultad de ingeniería civil. Sincelejo. Colombia.

American Institute for Steel Construction AISC (2010). *Seismic provisions for structural steel
buildings*. AISC/ANSI 341-10. Chicago. USA.

American Institute for Steel Construction AISC (2010). *Specification for structural steel buildings*.
AISC/ANSI 360-10. Chicago. USA.

Anderson, T. (s.f). *Types of sand best used for brick work*. Recuperado de:
http://www.ehow.com/info_8506061_types-sand-used-brick-work.html

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, AIS. (2010). *Reglamento colombiano de construcción sismo resistente*. NSR – 10. Bogotá. Colombia.

ASTM c-876 – 91 (1999). *Prueba de corrosión usando el equipo de media celda*. USA.

Becerra, J. (2013). *Avances en caracterización fisicomecánicas de las lajas rusticas utilizadas en construcciones patrimoniales de los departamentos de Boyacá y Cundinamarca – Colombia*. Memorias del III congreso iberoamericano y xi jornada técnica de restauración y conservación del patrimonio. Colombia.

Becerra, J. y Guzmán, P. (2014). *Ornamental sandstones of une formation, physical, chemical and petrographic characterization to civil engineering and heritage restoration in colombia. proceedings abstracts: v global stone congress*. Antalya. Turkey.

Borris, H; Domínguez, V. y Sánchez, M. (2010). *Análisis de una patología de la construcción en vivienda unifamiliar*. Universidad Nacional del Nordeste. Argentina.

British Constructional Steelwork Association, BCSA. (2013). *Handbook of structural steel work*. London. England.

Broto, C (2006). *Enciclopedia broto de patologías de la construcción*. Biblioteca ETSAM. Colección stylish ideas.

Calavera, J. (2005). *Patología de las estructuras de hormigón armado contenido en basa No 4*. Editorial Internacional España. España.

Construmatica. (2010). *Enciclopedia tipos de lesiones patológicas*. España. Recuperado de: <http://www.construmatica.com/construpedia/patologiaenladrillos>

Coscollano, J (2003). *Restauración y rehabilitación de edificios*. Ediciones Paraninfo. España.

Coscollano, J (2012). *Restauración y rehabilitación de edificios*. Ediciones Paraninfo. España.

Costa, J; Pastor, E y Vilarrosa, M. (1986). *Corrosión de aceros en ambientes marinos*. IV congreso español de corrosión y protección. Madrid. España.

Daza, L. (1996). *Methodology to evaluate existing reinforced concrete frames under earthquake loads*. Universidad de Puerto Rico. Mayaguez. Puerto Rico.

Días, P. (2014). *Protocolo para los estudios de patología de la construcción en edificaciones de concreto preforsado en Colombia*. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de ingeniería civil. Bogotá. Colombia.

Díaz, O. (2017). *Guía para la realización de patología de puentes de concreto reforzado*. Maestría en estructuras. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. Colombia.

Espada, L; Sánchez, A; Gonzales, A y Novoa, X. (1986). *Corrosividad atmosférica y marina en las zonas costeras gallegas*. IV congreso español de corrosión y protección. Madrid.

Espada, L; Vilar, J. y Merino, P. (1986). *Determinación de la corrosión atmosférica del acero al carbono y cobre en amplias zonas geográficas*. Congreso español de corrosión y protección. Madrid.

Estado límite de fatiga. (2004). Capítulo xi; artículo 42.

Estrada, B. y Pettinga, C. (2003). *Fallas ciegas: detectarlas para incorporarlas en los cálculos de amenaza sísmica en Colombia*. Bogotá. Colombia.

E-strucc. (2015). *Los daños en una estructura de hormigón por un recubrimiento deficiente.*

Recuperado de: <http://e-struc.com/2015/02/02/los-danos-en-una-estructura-de-hormigon-por-un-recubrimiento-deficiente/>

Feliu, S. (1984). *Corrosión atmosférica de los materiales metálicos; teoría y práctica de la lucha contra la corrosión.* Madrid.

Fernández, A. (2014). *Consideración sobre la humedad en la construcción.* Sevilla. España.

Recuperado de: <http://obrasyreformasedefere.com/consideracion-sobre-la-humedad-en-la-construccion/>

Filores, V. (2012). *Dictamen sobre las lesiones aparecidas en vivienda,* Valdecuana Orense. España.

Florentín, M. y Granada, R. (2009). *Patologías constructivas en los edificios. Prevenciones y soluciones.* Facultad de Arquitectura, diseño y arte. Universidad Nacional de Asunción. Paraguay.

García, I y Yanez, I. (s.f). *Entorno a la inspeccion tecnica de edificios.* Colegio oficial de aparejadores y arquitectos técnicos de madrid. Madrid. España.

García, O. y Damiani, H. (2000). *Nueva técnica para control de calidad de rodaduras de engranajes y rodamientos.* Laboratorio de vibraciones centro atómico Bariloche. Argentina.

Grases, J. (2000). *Principio de ingeniería estructural en zonas sísmicas.* Biblioteca virtual de desastres de la OPS.

Guerrero, L. (2013). *Clasificación de piedras y su uso en la construcción*. Recuperado de:

<http://vidaverde.abou.com/od/tecnologia-y-arquitectura/tp/clasificacion-de-piedras-y-su-uso-en-la-construccion.htm>

Hume Ingeniería. (2015). *Clasificación de humedades*. Coruña. España. Recuperado de:

<http://humeingenieria.es/blog/consejos-sobre-humedades/clasificacion-de-humedades/>

Londoño, E. (2011). *Lo que debes saber sobre el ataque de sulfato en el concreto*. Medellín.

Colombia. Recuperado de: <http://blog.360gradosenconcreto.com/lo-que-debes-saber-sobre-el-ataque-de-sulfato-en-el-concreto/>

López, F; Rodríguez, V; Santa Cruz, J; Torreño, I y Ubeda, P. (s.f). *Manual de patología de la edificación*. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid. España.

Martínez, R. (1984). *Patología de las estructuras metálicas y mixtas*. Curso de rehabilitación.

Tomo 5. Madrid. España.

Metha, K. (1982). *Durability of concrete in marine environment-a review*. Performance of concrete in marine environment. Michigan. USA.

Molano, D. (2014). *Evaluación de fatiga de puentes existentes en arco en acero que han sido rehabilitados y/o presentan problemas de corrosión*. Universidad Pontificia Javeriana. Bogotá. Colombia.

Monjo, J. (1991). *Oxidación y corrosión de elementos metálicos de fachada. reparación y prevención*. Curso de patología. Conservación y restauración de edificios. Tomo 3. Madrid. España.

Monjo, J. (1994). *Patología de cerramientos y acabados arquitectónicos*. Editorial Munilla. Madrid

Montani, R. (2000). *La carbonatación enemigo olvidado del concreto*. Instituto Mexicano del cemento y del concreto. México.

Ordoñez, O. (2012). *Procedimiento para fabricación y montaje de estructura metálica galvanizada*. División control de calidad y seguridad industrial ambiental. Ecuador.

Pacheco, R. y Santander, L. (2011). *Patologías de la construcción en las columnas nor-orientales del municipio de Floridablanca*. Universidad industrial de Santander. Facultad de ingenierías fisicomecánicas. Bucaramanga. Colombia.

Perepérez, B; Barberá, E. y Andrade, C. (1987). *La agresividad ambiental y la durabilidad de las estructuras de hormigón*. Consejo superior de investigaciones científicas. España.

Quintero, F (1991). *Algunas ideas sobre rehabilitación de estructuras de acero en edificación urbana*. Curso de patología. conservación y restauración de edificios. Tomo 2. Madrid. España.

Reyes, J. (2002). *Estudio de vulnerabilidad y rehabilitación de estructuras: conceptos y soluciones*. Universidad de los Andes. Bogotá. Colombia.

Rodríguez, J. (1992). *La corrosión en la edificación, patología y control*. Congreso sobre patología y control de calidad en la construcción. Consejería de obras públicas y transportes. Sevilla. Madrid.

RT Arquitectura. (2016). *Tipos de fisuras y grietas en el hormigón*. Recuperado de: <https://www.rtarquitectura.com/tipos-de-fisuras-y-grietas-en-el-hormigon/>

Sánchez, D. (2002). *Patología del concreto: durabilidad y patología del concreto*. Instituto del concreto. Bogotá. Colombia.

Soto, G. (2012). *Vulnerabilidad en estructuras de acero*. Venezuela. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/gsoth/vulnerabilidad-en-estructuras-de-acero>

Stock, A. (s.f). *Concrete road, bad road condition*. Recuperado de: <http://www.alamy.com/stock-photo-concrete-road-bad-road-condition-2347344.html>

Técnicas de investigación, dictamen e intervención en las estructuras de hormigón. (s.f)

Villa, O. (1990). *Fabricación y montaje de una estructura metálica*. Instituto tecnológico de la construcción.

Wikilibros (2012). *Patología de la edificación/estructuras metálicas/acero inspección y control*.

Recuperado de:

[https://es.m.wikibooks.org/wiki/patolog%
c3%ada_de_la_edificaci%
c3%b3n/estructuras_met
%
c3%a1licas/acero/inspecci%
c3%b3n_y_control](https://es.m.wikibooks.org/wiki/patolog%c3%ada_de_la_edificaci%c3%b3n/estructuras_met%c3%a1licas/acero/inspecci%c3%b3n_y_control)

Zambrano, J. (2003). *Patología de la construcción: rehabilitación de estructuras de concreto*. Bogotá. Colombia.