

PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN: LESIONES GENERALES

Juan F. Arango-L.
Ph. D.

TOMO I

Humedades
Ensuciamiento
Corrosión
Disgregaciones
Eflorescencias

Catalogación de la publicación – Biblioteca Nacional de Colombia

Arango Londoño, Juan Fernando, autor

Patología de la Construcción: lesiones generales. Tomo 1 / Juan F. Arango-L. -- Primera edición. -- Medellín : Juan Fernando Arango Londoño, 2023

214 p.

Incluye datos curriculares del autor -- Incluye referencias bibliográficas.

Contenido : Humedades -- Ensuciamiento -- Corrosión -- Disgregaciones -- Eflorescencias

ISBN 978 - 628 - 01 -1259 - 6

1. Construcción - Mantenimiento y reparación - Lesiones

CDD: 690.24 Ed. 23

CO-BoBN- a1128255

PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN: LESIONES GENERALES.

TOMO I

Primera edición: septiembre de 2023

© Juan Fernando Arango Londoño, 2023
jfarangol@gmail.com

© Fotos y figuras tienen derechos reservados del autor,
excepto las presentadas con sus respectivos créditos.

ISBN 978 - 628 - 01 - 1259 - 6

Dirección editorial: Juan Fernando Arango Londoño

Diseño de carátula: Espacio Contenido.

Diseño y diagramación: Espacio Contenido.

Corrección de estilo: Martha Cecilia Caballero Jerez

Impresión: Litografía Francisco Jaramillo V.

Concepto base para el diseño de la carátula y diagramación de la serie: Aura María Zúñiga

Aviso Legal

Esta obra proporciona una guía para el diagnóstico de enfermedades en las obras. Quienes la usen como parte de un proceso diagnóstico deberían ser competentes y estar capacitados para identificar en su contenido las limitaciones de alcance, profundidad y aplicabilidad. Por tanto, son quienes asumen las responsabilidades inherentes al uso e interpretación de esta obra. Ni el autor ni el editor asumen responsabilidades por su uso.

No se autoriza la reproducción total ni parcial de esta obra sin que esta sea dada de forma expresa por el autor.

A María Cristina González Mazuelo y Ricardo Arango

JUAN FERNANDO ARANGO LONDOÑO

Doctor por la Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU) de España. Ingeniero civil y especialista en Estructuras de la Universidad Nacional de Colombia. Actualmente, es el jefe de Soporte Técnico en la Empresa Colombiana de Cementos, Cemento ALIÓN®. Fue el jefe técnico y comercial de Materiales para Infraestructura y jefe técnico de Materiales de Construcción de la empresa Corona®. Ha trabajado como asesor y consultor independiente para diversas compañías en las áreas de diseño estructural, supervisión técnica, patología, desarrollo y producción de materiales.

Ha sido docente ocasional en la Universidad Nacional de Colombia, la Universidad de Medellín y el Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM) en cursos sobre materiales, Patología de la Construcción y normativa de la construcción. Director de tesis de maestría en Durabilidad del Concreto, Concreto Liviano y Supervisión Técnica. Fue líder del Grupo de Investigación en Materiales y Tecnologías de la Construcción (Mytec) del ITM en el período 2002-2008. Fue decano de Investigaciones del ITM entre el 2005 y el 2008.

Es coautor de dos patentes en sistemas de impermeabilización otorgadas a Corona®. Conferencista y autor de libros y artículos científicos y de divulgación en materiales y sistemas constructivos e innovación. *Peer reviewer* de la revista *Cuadernos de Gestión* (España) desde 2015 hasta la fecha. Fue editor de la Revista *Tecnológicas* del ITM (Colombia) y ha sido editor académico de libros en el área de la construcción.

Entre 2002 y 2010 fue delegado por el Ministerio de Transporte de Colombia en la Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismorresistentes, en el que participó en las respuestas a las consultas sobre las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismorresistente (NSR-98) y la recomendación de adopción de la NSR-10. Desde el 2000 participa en las mesas de normalización de cemento y concreto del Instituto Colombiano de Normas Técnicas (Icontec), y desde 2022 preside el Comité de Prefabricados.

Es miembro de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS) y la Cátedra Miguel Sánchez-Mazas de la UPV/EHU (España).

REVISIÓN ACADÉMICA

Diego Sánchez De Guzmán. Ingeniero civil, MSc. en Ingeniería Civil y MSc. en Administración de la Construcción. Gerente de DS Concretos. Asesor internacional en tecnología, producción y calidad del concreto; diseño y construcción de sistemas de pavimentos vehiculares y pisos; patología y reparación de estructuras de concreto. Docente universitario. Autor de numerosas publicaciones en su especialidad.

AGRADECIMIENTOS DEL AUTOR

A mi esposa María Cristina González Mazuelo y a nuestro hijo Ricardo por su apoyo durante los años de investigación para la escritura de esta obra.

Es difícil detallar el nutrido grupo de profesionales que aportaron con sus revisiones, comentarios y sugerencias, en diferentes apartados y momentos. Agradezco en especial a los revisores académicos por las contribuciones que sumaron mayor coherencia y rigor. Igualmente, mi gratitud a la Universidad Nacional de Colombia, a la Universidad de Medellín y a sus estudiantes, con quienes muchos de los conceptos presentados en este libro fueron debatidos y consolidados.

Agradecimientos especiales a la Empresa Colombiana de Cementos y su marca Cemento y Concreto ALIÓN por patrocinar la primera edición del libro de Patología de la Construcción: fundamentos (2022), que es la base de esta obra.

Al grupo de profesionales que participó del proceso editorial del primero de la serie, dirigidos por Jimena Lemoine. Y para este nuevo libro, a Laura V. González Eusse, Jhailynd Chaverra y Ricardo Arango González. Y a los valiosos aportes de Julián López Pérez.

CONTENIDO

Introducción	15
1. LAS HUMEDADES	29
1.1 Las características del agua	31
1.2 El agua en los componentes y materiales	33
1.2.1 La infiltración y exfiltración	33
1.2.2 El contenido de humedad	36
1.2.3 Los tipos de agua en los materiales	41
1.2.4 La absorción de agua	46
1.2.5 Higroscopía y deliquesencia	49
1.2.6 La hidrofobicidad y hidrofiliidad	50
1.3 Los mecanismos de transporte del agua	53
1.3.1 El flujo a superficie libre y a presión	54
1.3.2 La condensación	56
1.3.3 La convección.....	64
1.3.4 La capilaridad	67
1.3.5 La sorción	72
1.3.6 La difusión y efusión del agua	86
1.3.7 La osmosis	87
1.3.8 La permeabilidad	88
1.3.9 La anisotropía e isotropía en las humedades	100
1.4 La clasificación de las humedades en las obras	105
1.4.1 Humedades generadas desde el diseño	107
1.4.2 Provenientes de la ejecución de la obra	113
1.4.3 Humedades generadas por el funcionamiento de la obra	117
1.5 Las consecuencias de las humedades	119
1.5.1 Crecimiento de microorganismos	121
1.5.2 Cambios de resistencia y apariencia	121
1.5.3 Otras consecuencias	123
1.6 Identificación de las lesiones generales por humedades.....	124

2. EL ENSUCIAMIENTO	129
2.1 El ensuciamiento	129
2.2 Mecanismos de transferencia de la suciedad	132
2.3 Los mecanismos de fijación de la suciedad	135
2.4 El lavado diferencial	138
2.4.1 Efectos del viento en el lavado diferencial	146
2.4.2 Lavado diferencial por presencia de pantallas	147
2.4.3 La medida del agua que escurre por una fachada	148
2.5 Ensuciamiento por microorganismos	149
2.6 Las consecuencias del ensuciamiento	150
2.7 Identificación de lesiones por ensuciamiento	151
 3. ÓXIDOS, DESINTEGRACIÓN Y DEFORMACIONES PERMANENTES	 153
3.1 La corrosión y oxidación	153
3.1.1 La corrosión en los metales	156
3.1.2 La corrosión por la acción de organismos	160
3.1.3 La fractura por corrosión por esfuerzos	162
3.1.4 Corrosión en el concreto, el mortero y la cerámica	162
3.2 Lesiones por depósito de óxidos	164
3.3 Lesiones por desintegración	165
3.3.1 Factores que participan en la desintegración	166
3.3.2 Desintegración en forma de polvo	170
3.3.3 Desintegración en forma de trozos	171
3.3.4 Desintegración en forma de lámina o delaminación	173
3.4 Lesiones por deformaciones	175
3.5 Identificación de lesiones en forma de depósitos de óxidos, desintegración y deformaciones	176
 4. LAS EFLORESCENCIAS	 183
4.1 Clasificación de las eflorescencias	188
4.1.1 Eflorescencias primarias y secundarias	188
4.1.2 Clasificación de los depósitos de eflorescencias	189
4.2 Sustancias usuales en las eflorescencias	192
4.3 Mitigación de las eflorescencias	199
4.3.1 Acciones en la fuente del agua	200
4.3.2 Acciones en los mecanismos de transporte	201
4.3.3 Acciones en las fuentes donde están los compuestos que forman la eflorescencia	202
4.3.4 Acciones en las zonas de depósito	203
4.4 Identificación de defectos y lesiones en forma de eflorescencias	204
 5. REFERENCIAS	 207

Índice de figuras

Figura 1.	Posibles formas de clasificar las lesiones	16
Figura 2 .	Relación causa, enfermedad, lesión	20
Figura 3.	Ejemplo de relaciones entre ejes, divisiones, subdivisiones	22
Figura 4.	Relación entre imperfecciones, defectos y lesiones	23
Figura 5.	Tiempo de servicio y su relación con imperfección, defecto, enfermedad y trauma	25
Figura 6.	Representación de una molécula de agua	31
Figura 7.	Diagrama de fases del agua	32
Figura 8.	Exfiltraciones en fachadas por rotura de tubos de acueducto	34
Figura 9.	Infiltración de agua a través de muros de contención	35
Figura 10.	Filtraciones por rotura de conducciones de agua	36
Figura 11.	Método indirecto por masa de un material en un volumen constante	39
Figura 12.	Equipo para determinar el contenido de humedad de la madera en campo	39
Figura 13.	Método indirecto de cartografía de humedades con cámara infrarroja	40
Figura 14.	Método empírico para determinación de la humedad mediante la condensación	41
Figura 15.	Representación del límite entre agua adsorbida y agua libre	43
Figura 16.	Agua dentro de los componentes y materiales	44
Figura 17.	Estado superficialmente seco, y saturado superficialmente seco	45
Figura 18.	Absorción de agua en el tiempo para un material poroso	47
Figura 19.	Cambio del contenido de humedad en el tiempo	48
Figura 20.	Cono para determinar la absorción de las arenas	49
Figura 21.	Representación de la fijación de un hidrofugantes basado en silicona	51
Figura 22.	Relación entre el ángulo de contacto e hidrofobicidad	52
Figura 23.	Empozamiento de agua por obstrucción de desagüe	55
Figura 24.	Relación aproximada entre la temperatura del aire y el punto de rocío	58
Figura 25.	Condensación de agua vapor	59
Figura 26.	Ejemplo de variación de la humedad relativa dentro de un cuarto de baño	60
Figura 27.	Condensación de agua y proliferación de microorganismos	61
Figura 28.	Condensaciones en componentes de los sistemas de aire acondicionado	62
Figura 29.	Termo higrómetro con memoria de registro programable	63
Figura 30.	Esquema de ventilaciones por convección	65
Figura 31.	Esquema de una condensación por convección	66

Figura 32.	Infiltración de agua transportada por el viento por fenómenos de convección	67
Figura 33.	Ascenso capilar en un muro de fachada en contacto con el suelo	68
Figura 34.	Modelo de ascenso por un capilar por un tubo	68
Figura 35.	Ascenso capilar desplazado en altura por zócalo impermeable	70
Figura 36.	Ascenso capilar que calca la geometría de la base	70
Figura 37.	Capilaridad descendente	71
Figura 38.	Esquema general del ensayo de sorción	73
Figura 39.	Disminución de la sorción en función del tiempo de exposición	75
Figura 40.	Curva de sorción (mm^3/mm)	76
Figura 41.	Fisuras por retracción plástica del concreto	77
Figura 42.	Sorción obtenida con tubo de Karsten	79
Figura 43.	Esquema de frentes de avance de agua en materiales compuestos	80
Figura 44.	Medición de la sorción con el tubo de Karsten	81
Figura 45.	Esquema del método de ensayo ISAT	83
Figura 46.	Isotherma de sorción para una especie de madera	84
Figura 47.	Esquema de la histéresis de absorción y desorción	85
Figura 48.	Mecanismo de difusión	86
Figura 49.	Esquema de transmisión de agua por osmosis	87
Figura 50.	Permeámetro de carga constante para la ley de Darcy-Weisbach	89
Figura 51.	Permeámetro de Darcy para conductividad hidráulica del concreto	91
Figura 52.	Ejemplo de caudal que pasa por la base de un tanque	92
Figura 53.	Variación del caudal por la una franja unitaria y en la altura del muro	93
Figura 54.	Ensayo de permeancia por el método del agua y del desecante	96
Figura 55.	Sistemas de instalación de impermeabilizaciones delgadas.....	99
Figura 56.	Conductividad hidráulica del concreto en relación y la dirección de vaciado	101
Figura 57.	Microestructura y fisura en la ITZ	101
Figura 58.	Microfotografía de una placa de fibrocemento	103
Figura 59.	Origen del agua que genera las humedades	105
Figura 60.	Curvas de intensidad de lluvia – curvas IDF	109
Figura 61.	Humedad por infiltración por desborde de canoa de un techo	110
Figura 62.	Diseño sin juntas de movimiento para una terraza	111
Figura 63.	Eliminación en el diseño de componentes de protección en una cubierta	112
Figura 64.	Eflorescencias durante el proceso constructivo	114
Figura 65.	Humedad por errores en la pendiente de una losa	116

Figura 66.	Ingreso de agua por error en sellos	116
Figura 67.	Daño de mueble por condensación accidental	118
Figura 68.	Humedad por reforma de desagüe	119
Figura 69.	Indicadores de la presencia de humedades en las obras	120
Figura 70.	Cuantificación de área con suciedad por silicona	132
Figura 71.	Ensuciamiento por convección	133
Figura 72.	Lesión por ensuciamiento por excrementos de pájaros y murciélagos	134
Figura 73.	Ensuciamiento diferencial severo	136
Figura 74.	Tipos de suciedad a nivel microscópico	136
Figura 75.	Ensuciamiento de las unidades de mampostería	137
Figura 76.	Interacción del agua en el lavado diferencial en superficies	139
Figura 77.	Ensuciamiento por salpique sobre un muro	141
Figura 78.	Ensuciamiento diferencial, componentes y modificadores	142
Figura 79.	Esquema general de sitios comunes de lavado negro	142
Figura 80.	Lavado negro desde un lagrimal	143
Figura 81.	Acumulación de suciedad por lavado diferencial	144
Figura 82.	Lavado negro por juntas de mampostería	144
Figura 83.	Lavado negro por rebote	145
Figura 84.	Lavado negro desde superficies horizontales	145
Figura 85.	Patrones de viento en las obras y arrastre de lluvia	146
Figura 86.	Pantallas que promueven el lavado diferencial	147
Figura 87.	Dispositivo para medir lluvia en fachadas	148
Figura 88.	Mapa de calor de lluvia en una fachada	148
Figura 89.	Ensuciamiento y microorganismos	149
Figura 90.	Tipos de corrosión en los materiales	154
Figura 91.	Corrosión en una viga de acero en una losa aérea	155
Figura 92.	Aumento de volumen relativo del hierro en relación con algunos de sus óxidos	156
Figura 93.	Esquema de una celda de corrosión o celda galvánica	157
Figura 94.	Esquema de la corrosión en una barra de acero sin un electrolito continuo	158
Figura 95.	Orden de corrosión en metales que están en contacto	159
Figura 96.	Corrosión por ácido sulfúrico en conducciones de aguas residuales	161
Figura 97.	Depósito de óxido procedente de una fuente de hierro en un revestimiento	164
Figura 98.	Tipos de desintegraciones de los componentes de una obra	166
Figura 99.	Desintegración del concreto o el mortero por corrosión del acero	168
Figura 100.	Erosión y abrasión en el concreto	170
Figura 101.	Desintegración en forma de polvo en compoentes en cemento y tierra	171
Figura 102.	Picaduras del acero	172
Figura 103.	Disgregación en forma de desconche	173
Figura 104.	Lesiones en forma de delaminación	174

Figura 105.	Pequeña ampolla por presión de vapor en una impermeabilización adherida	175
Figura 106.	Eflorescencia de sulfato de sodio.....	185
Figura 107.	Criptoflorescencia en una unidad de mampostería	186
Figura 108.	Taxonomía general de las eflorescencias por la fuente.....	189
Figura 109.	Eflorescencia por vanadio en una mampostería de arcilla	190
Figura 110.	Eflorescencia en forma de velo.....	191
Figura 111.	Depósitos de calcio, en forma de estalactita tipo macarrón	192
Figura 112.	Depósito masivo de eflorescencias detríticas de carbonato de calcio	194
Figura 113.	Eflorescencia primaria en el concreto.....	195
Figura 114.	Esquema de localización de eflorescencias por diferentes sales en un muro	199
Figura 115.	Factores que producen la eflorescencia	200

Índice de tablas

Tabla 1.	Relación entre la sorcibilidad y el curado del concreto	78
Tabla 2.	Valores de referencia de conductividad hidráulica del concreto, según NTC 4483	94
Tabla 3.	Humedad relativa crítica para algunos materiales.....	123
Tabla 4.	Defectos y lesiones por humedades.....	125
Tabla 5.	Defectos y lesiones por ensuciamiento.....	151
Tabla 6.	Defectos y lesiones en forma de depósitos de óxidos metálicos.....	177
Tabla 7.	Defectos y lesiones en forma de disgregación	178
Tabla 8.	Defectos y lesiones en forma de deformaciones permanentes.....	181
Tabla 9.	Algunos compuestos presentes en las eflorescencias.....	195
Tabla 10.	Defectos y lesiones en forma de eflorescencias	204

INTRODUCCIÓN

Este texto presenta, de manera ilustrada, los defectos y lesiones generales en las obras junto con los fenómenos que les dan origen, con el fin de facilitar el proceso diagnóstico. Se desarrolla con base en los conceptos expuestos en el libro *Patología de la Construcción: fundamentos* (Arango-L, 2022) en el que se explican, de manera más detallada, la terminología, los conceptos y procedimientos usados en esta disciplina.

La Patología de la Construcción tiene como objeto el estudio de obras y sus componentes cuando estas ya se encuentran construidas. Y, precisamente, las imperfecciones, defectos y lesiones se estudian en ese contexto. Sin embargo, en esta disciplina también se sistematizan los aprendizajes del desempeño de los componentes de las obras y sus materiales constitutivos para luego acompañar de forma activa a los diseñadores y constructores en obras nuevas, un reforzamiento, repotenciación o restauración, o bien para la ejecución de actividades de mantenimiento. Esto permite evitar la aparición de enfermedades y lesiones, minimizar los defectos y que esta disciplina participe en los procesos de normas para la ejecución de la construcción, entre otras actuaciones. Una forma de sistematizar estas experiencias se basa en el uso de la clasificación de las enfermedades, la cual también se desarrolla en esta obra.

La literatura de la Patología de la Construcción suele clasificar los defectos y lesiones por medio del tipo de acción que está involucrada. Así, en forma muy extendida, suelen presentarse como lesiones por acciones físicas, mecánicas, químicas y biológicas. Una de las dificultades con esta clasificación es que los agentes agresivos y las enfermedades generan varios tipos de lesiones que resultan comunes, tales como grietas, fisuras, eflorescencias, la pérdida de volumen del componente (erosión, abrasión, disgregación), los hundimientos, las rasgaduras y los desprendimientos, entre otros. También ocurre de manera frecuente que no se indiquen, con algún nivel de detalle, las posibles causas de la lesión, lo que permitiría hacer mejores prediagnósticos. De otra parte, la literatura clásica presenta los defectos y las lesiones típicas de los componentes de sistemas constructivos o está especializada en los materiales. Estas clasificaciones resultan más apropiadas para la práctica profesional de la Patología de la Construcción y tienen la ventaja de facilitar el proceso diagnóstico.

Asimismo, sucede que muchos tipos de defectos y lesiones son bastante frecuentes en las obras y sus componentes. Este es el caso de las variaciones, las humedades, el ensuciamiento, el ruido, las grietas o fisuras, la disminución del volumen, las deflexiones y asentamientos, la desintegración, la corrosión y las eflorescencias, entre muchos otros tipos. El gráfico siguiente presenta una taxonomía de las lesiones usadas en la Patología de la Construcción (figura 1) donde, en primera instancia, se dividen en generales y específicas, y cada una de ellas tiene subdivisiones. En particular, esta obra se orientará a los defectos y lesiones generales, usando una clasificación por tipología de daños.

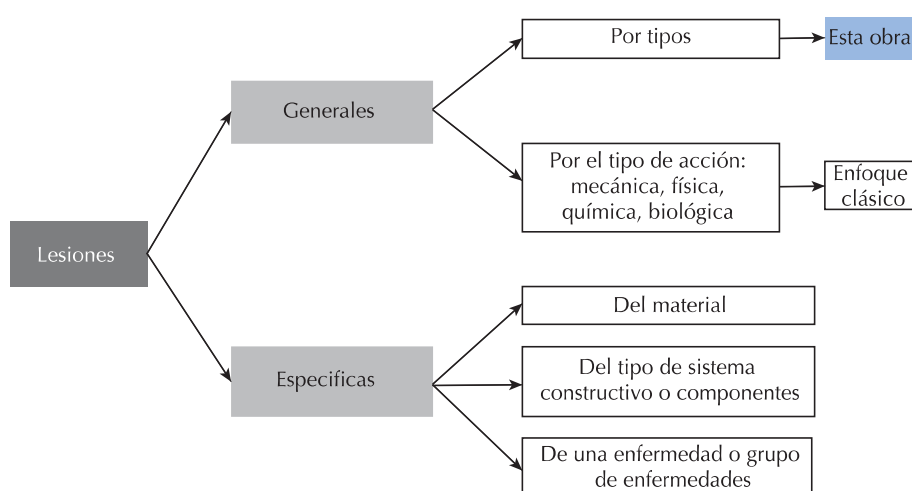


Figura 1.
Posibles formas de clasificar las lesiones

Este libro aborda un grupo de lesiones generales que son comunes a muchos tipos de materiales y obras; de manera particular, las que están relacionadas con la presencia de agua y otros líquidos. Otros textos del autor plantean las lesiones generales que se introducen en el proceso constructivo, como es el caso de las variaciones o las que se producen por movimientos indeseables, que se expresan en forma de fisuras y grietas, y otras que ocurren durante su uso, que son igualmente importantes, pero menos conocidas, como las afectaciones por ruido y la presencia de contaminantes (Arango-L, 2023).

De esta manera, se presentan las lesiones asociadas con las humedades, entendidas como la presencia indeseada de agua en las obras. Por una parte, las humedades son una fuente importante de problemas durante el uso de la obra, dado que se reconoce que el agua es un agente agresivo para muchos materiales y que transporta sustancias desde el medioambiente, también agresivas, para que queden en contacto con el componente de la obra o sean conducidas a su interior. Por otra parte, el agua tiene el potencial de movilizar agentes agresivos que estaban dentro del componente y generar otro tipo de afectaciones. Finalmente, el agua participa en los procesos de ataque a los materiales. Así, se presentan las

características del agua, los fenómenos y mecanismos de transporte y las consecuencias de las humedades. Como será una constante en toda la obra, al final de cada capítulo se ilustran las diferentes tipologías de lesiones para facilitar su identificación en un proceso diagnóstico.

Asimismo, por su relación con el ensuciamiento, en esta obra son abordados otros líquidos. De hecho, el ensuciamiento no suele ser estudiado en la Patología de la Construcción, tal vez por ser una situación esperada o porque hay otro tipo de lesiones que parecen ser más interesantes desde el punto de vista académico o profesional. El ensuciamiento tiene relación con los aceites, las grasas, los geles líquidos y otras sustancias tactosas. Al igual que el agua, tienen la capacidad de interactuar con el ambiente, fijar compuestos indeseables y tienen la capacidad de cambiar el aspecto del componente o ser agentes agresivos. De otro lado, la suciedad proporciona soporte y humedad, lo que permite la presencia de microorganismos que, igualmente, modifican de manera adversa la apariencia del componente o se comportan como agentes agresivos. Por tanto, si bien es importante diseñar, especificar y realizar el proceso constructivo para mitigar el ensuciamiento por la presencia de agua, también lo es para el ensuciamiento por otras sustancias; no hacerlo tiene consecuencias en el aumento de la frecuencia de las actividades de mantenimiento y la posibilidad de que, durante su ejecución, se deterioren los materiales al tratar de remover la suciedad. Además, esto tiene consecuencias en los costos de operación de la obra y en la sostenibilidad. En este texto presentamos los fenómenos que causan el ensuciamiento y las tipologías de lesiones asociadas, con el fin de proporcionar una guía en el proceso diagnóstico y en las actuaciones de mitigación, limpieza y reparación.

También, la presencia de agua tiene relación con la formación de óxidos de los metales usados en la obra o su ambiente. Esto ocurre porque el agua tiene la posibilidad de transportar agentes agresivos que realizan ataques de manera directa; por ser parte del electrolito que permite la corrosión galvánica; o porque será parte del agua de composición química de los óxidos formados durante un ataque. Adicionalmente, tiene la capacidad de trasladar los productos de corrosión a otras zonas del componente o a otros componentes de la obra. En este texto se presentan los fenómenos que explican la corrosión y las tipologías de lesiones asociadas.

Se incluyen las lesiones por desintegración y deformación. Muchos de los óxidos formados en los procesos de corrosión tienen características expansivas que causan lesiones. Otras de estas ocurren por el depósito de sales, cuyos elementos químicos son transportados por el agua o por el cambio en la cantidad de agua de composición de una sal. A la par, hay desintegraciones y deformaciones que se producen por la pérdida de desempeño de los cementantes, como su lixiviación o disolución en el agua, o debido a sus reacciones químicas con este líquido. También, la desintegración se da por la erosión, que es una pérdida de volumen por el roce del agua o por la que arrastra partículas. Igualmente, se incluye en este texto la desintegración por la abrasión en seco, como un caso particular.

Por su parte, las eflorescencias son depósitos indeseables de sustancias que tienen como consecuencia el cambio de la apariencia de un componente. Algunas son agentes agresivos que generan disgregaciones y otro tipo de afectaciones. Este libro da un paso más allá en la caracterización y diagnóstico de las eflorescencias, pues, generalmente, se han limitado a depósitos de sales solubles en agua. Así que se abordarán las eflorescencias de manera más amplia al caracterizarlas como depósitos de sustancias que fueron transportadas por líquidos o geles, entre ellas, sólidos, coloides o sustancias orgánicas-inorgánicas. De igual manera, se presentará la fundamentación de los procesos que las forman, sus tipologías y recomendaciones para su diagnóstico y mitigación.

Para una mejor comprensión del texto, en general, denominaremos **obra** a cualquier tipo de construcción y reservaremos el término **edificación** para las destinadas principalmente a la habitación humana. También es relevante aclarar qué entenderemos por componentes y sistemas constructivos. Por un lado, los **componentes de la obra** o **componentes constructivos** son los elementos presentes en una obra como vigas, columnas, losas, acabados y techos, entre muchos otros. A su vez, los componentes están hechos de **materiales** tales como el yeso, la cerámica, el cemento, el concreto o los agregados.

Igualmente, los componentes tienen funciones **estructurales o portantes** cuando tienen la responsabilidad de atender los esfuerzos, deformaciones asociadas a su propio peso y los esfuerzos generados por las cargas que se les aplican, y su función es brindar estabilidad a la obra. O bien, pueden ser componentes **no estructurales** cuando tienen como función soportar su propio peso y garantizar su propia estabilidad por las cargas de uso y otras cargas esperadas en la obra. De hecho, como deben atender de alguna forma cargas, se suelen confundir con los componentes estructurales y, para diferenciarlos mejor, conviene denominarlos **componentes no portantes**. Además, en las obras hay componentes **decorativos** que se caracterizan por tener un bajo peso (masa) y estar soportados por otros componentes. De hecho, el tiempo de servicio de los elementos decorativos suele ser mucho menor que el de otros componentes de la obra, en tanto que se renuevan rápidamente por moda y tendencias, o bien por desgaste, obsolescencia y cambios tecnológicos.

Un aspecto relevante que guía esta serie de libros de Patología de la Construcción del autor es que toda obra se entiende como un sistema debido a que los componentes interactúan entre sí, con el ambiente de la obra y su uso; esta interacción también ocurre en otros contextos y se relaciona con las expectativas de los usuarios y las normas de ejecución de la construcción, entre otros aspectos. Por tanto, al incluir elementos humanos y no humanos, se trata de sistemas heterogéneos.

Las obras se diseñan y se construyen para obtener un desempeño que se califica en relación con unas condiciones o estados límite de resistencia y utilización, que son altamente dependientes de diversas circunstancias (Arango-L, 2022). Este enfoque es particularmente novedoso en la literatura sobre Patología de la Construcción y permite que el proceso diagnóstico pueda abordarse más allá de una relación mecanicista al incluir otros aspectos que son importantes: entre estos, se deberían considerar las expectativas de resistencia y utilización, el conjunto de conocimientos que se emplearon para la ejecución del proceso

constructivo, valores tales como los ambientales, económicos, la seguridad y la confiabilidad, o los aspectos simbólicos y estéticos de las obras. Estas relaciones en el sistema ocurren tanto en el contexto del diseño de la obra como en su proceso constructivo, uso y mantenimiento; o bien, en actuaciones como renovaciones y restauraciones.

De hecho, esta diversidad es la que permite que la Patología de la Construcción sea una disciplina de convergencia de diversas profesiones y ciencias, como la ingeniería civil y de materiales, la química, la física, la construcción o la arquitectura, y otras asociadas a las ciencias sociales y humanas como la antropología, la sociología, la historia o el arte.

En esta obra emplearemos algunos términos que son presentados de manera más amplia en el libro de Patología de la Construcción: fundamentos (Arango-L, 2022). A manera de resumen, entenderemos como **lesión** un cambio anormal en un componente o material por cuenta de una enfermedad o un **trauma**. La enfermedad se asocia a la acción de un agente que puede ser de origen externo, interno, idiopático o multifactorial, mientras que el trauma se asocia con una situación accidental que causa un daño.

A diferencia de un **síntoma**, que es una sospecha de que algo no está bien, la lesión se caracteriza por tener una asociación objetiva con la presencia de la enfermedad, lo que se logra determinar mediante un proceso diagnóstico. De hecho, **daño** y lesión suelen tratarse como sinónimos, pues el daño es una consecuencia, es decir, el resultado de la acción de un agente que provoca una enfermedad. Es importante aclarar que una enfermedad se puede desarrollar sin que se observen síntomas, los cuales solo serán visibles cuando el componente se encuentre en un estado avanzado de deterioro, ocurra una falla o se realice una auscultación.

A diferencia de la forma clásica usada en Patología de la Construcción para clasificar las enfermedades, en esta obra se preferirá el uso novedoso del **método mixto de ejes variables**. De hecho, las ciencias de la salud ya han enfrentado los mismos problemas en la clasificación de las enfermedades, síndromes, traumatismos, lesiones y causas de muerte, lo cual hace parte de la **nosología**. Así, en la actualidad la Organización Mundial de la Salud (OMS) utiliza una clasificación internacional que se basa en ejes variables (WHO, 2022) y que resulta aplicable a la Patología de la Construcción, con algunos ajustes. Con esta base, proponemos una clasificación de las enfermedades que combina, entre otros aspectos, el origen de la enfermedad (**etiología**), la localización en el componente o las circunstancias que le dan origen.

Una manera de representar la relación entre la causa, enfermedad y lesión se muestra en la figura 2. La causa o causas participantes, en un entorno y condición apropiados, dan lugar a una enfermedad. Y la enfermedad se manifiesta en forma de lesiones que pueden ser de un solo tipo o que desarrolle un cuadro completo con todas las lesiones asociadas.

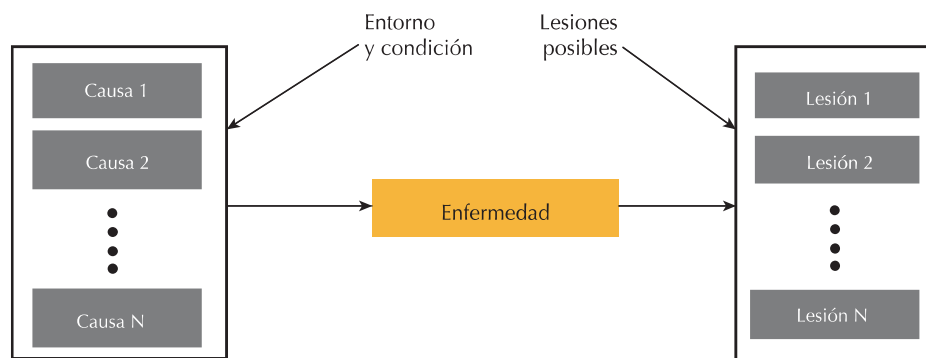


Figura 2.
Relación causa, enfermedad, lesión

Consideramos que este tipo de clasificación para las enfermedades puede resultar más útil debido a que es compresiva y relacional. Y, entre otros aspectos, permite construir clasificaciones más precisas y detalladas de las enfermedades y de las lesiones asociadas debido a que:

- Cada eje variable contempla diferentes divisiones y subdivisiones relacionadas.
- Admite que una enfermedad se asocie con varios factores que actúan de manera simultánea o en sucesión, de forma compatible con las relaciones causa-efecto, entorno y condición.
- Se puede usar para realizar análisis estadísticos, cuando en la práctica disciplinar se logren unificar los tipos de diagnósticos con este sistema.
- Es útil para realizar estudios de investigación basados en metadatos, ajustando los resultados reportados por diferentes fuentes con esta propuesta de clasificación.
- Permite el análisis de la cantidad y tipo de casos en el tiempo, por geografías o zonas (morbilidad).
- Se puede obtener información sobre la distribución y frecuencia de los tipos de lesiones en un tipo de componente y sus materiales (epidemiología).

Para otros tipos de estudios de habitabilidad o percepción de la seguridad, esta clasificación podría facilitar el análisis de incidencia de los síntomas reportados por los usuarios o los tipos de actuaciones recomendados y su costo, con el fin de elaborar políticas más apropiadas, mejorar las competencias profesionales o ajustar las normas y códigos de diseño y ejecución de la construcción y disminuir la morbilidad.

La denominación de ejes variables propuesta para la Patología de la Construcción consta de 7 y cada uno tiene divisiones, subdivisiones y algunas exclusiones que son características para cada tipo de componente o material:

- **Las enfermedades congénitas** que tienen su origen en el proceso de diseño y el proceso constructivo.
- **Las enfermedades infecciosas** causadas por agentes patógenos como bacterias, hongos, algas o por diferentes tipos de agentes agresivos que provienen de obras vecinas, es decir, que no tienen su origen en la obra que está siendo analizada.
- **Las enfermedades de los constituyentes de los componentes** que se caracterizan por la formación de compuestos anormales (neoplasias) o indeseables. En términos generales, son las enfermedades del sistema cementante o aglutinante, las de los agregados, del refuerzo, del pigmento, como ocurre en las pinturas, y otros constituyentes de los componentes.
- **Las enfermedades de la superficie** del componente y del volumen de material que se encuentra inmediatamente por debajo de esta, de manera análoga a la piel.
- **Las enfermedades por efectos secundarios** que son consecuencia de las actuaciones realizadas en la obra, o por su uso.
- **Las enfermedades por acciones externas** como los cambios de temperatura, los ciclos de hielo y deshielo, los fenómenos de la tribología como la erosión y la abrasión, y situaciones o accidentes que producen lesiones, también llamados traumatismos.
- **Las enfermedades por cambios en las condiciones de la obra**, como ocurre cuando hay cambios en las condiciones de exposición respecto a las de diseño.

En esta propuesta, cada eje de clasificación de la enfermedad es excluyente y, por tanto, un caso no se debería asignar a dos o más ejes. Esto se logra haciendo uso de las cadenas de causa-efecto y requiere la aplicación de criterio profesional. Además, cada eje variable tiene divisiones, subdivisiones y algunas exclusiones que redirigen a otro eje variable unos casos particulares. Y todos son específicos para cada tipo de material del componente de la obra.

Para ilustrar cómo opera la clasificación de ejes variables se puede usar el siguiente caso, donde los ejes, divisiones y subdivisiones se esquematizan en la figura 3. Un componente de concreto reforzado presenta lesiones como eflorescencias, fisuras con patrón repetitivo que coinciden con la posición del refuerzo, disgregaciones, y presencia en los poros de etringita tipo II detectada por medio de petrografía. Además, se cuantifica que hay pérdida de resistencia por la variación de la sección, y la pérdida de sección trasversal de las barras de refuerzo por cuenta de la oxidación. También, se observa un cambio de color en el componente por depósitos de óxido, en los cuales se detecta la presencia de bacterias reductoras de hierro en pruebas microbiológicas.

En esta nueva propuesta de clasificación de las enfermedades se utiliza la cadena causal, la cual se obtiene en el proceso diagnóstico. En este caso, la oxidación del acero de refuerzo, que se manifiesta con un grupo de lesiones, *ocurrió debido a que* se encontró que, para la elaboración de la mezcla en la obra, se empleó una relación A/mC alta (causa 1). Y, de otra parte, se usaron agregados con curvas granulométricas que no permitieron un buen empaquetamiento del concreto (causa 2). De hecho, para este ejemplo, los agrega-

dos empleados en la obra fueron diferentes a los empleados en la precalificación de la mezcla. *Esto permitió* que el concreto resultante tuviera alta conductividad hidráulica, lo que facilitó el ingreso de agua y gases, y que se dieran las condiciones para la oxidación del acero de refuerzo. En esta propuesta de clasificación de las enfermedades y sus lesiones asociadas, el caso se ubica en una subdivisión de elaboración de la mezcla, que hace parte de la división de enfermedades asociadas con el proceso constructivo que, a su vez, pertenece al eje de enfermedades congénitas. Y no se ubica en otros ejes debido a que la clasificación es excluyente. Por lo tanto, no es clasificada como una enfermedad del acero de refuerzo, aunque claramente tiene relación (véanse las líneas punteadas); no está, tampoco, en las enfermedades infecciosas por la presencia de bacterias, porque esta propuesta de ejes variables se orienta por la cadena de causas y efectos, si se quiere, a la causa eficiente.

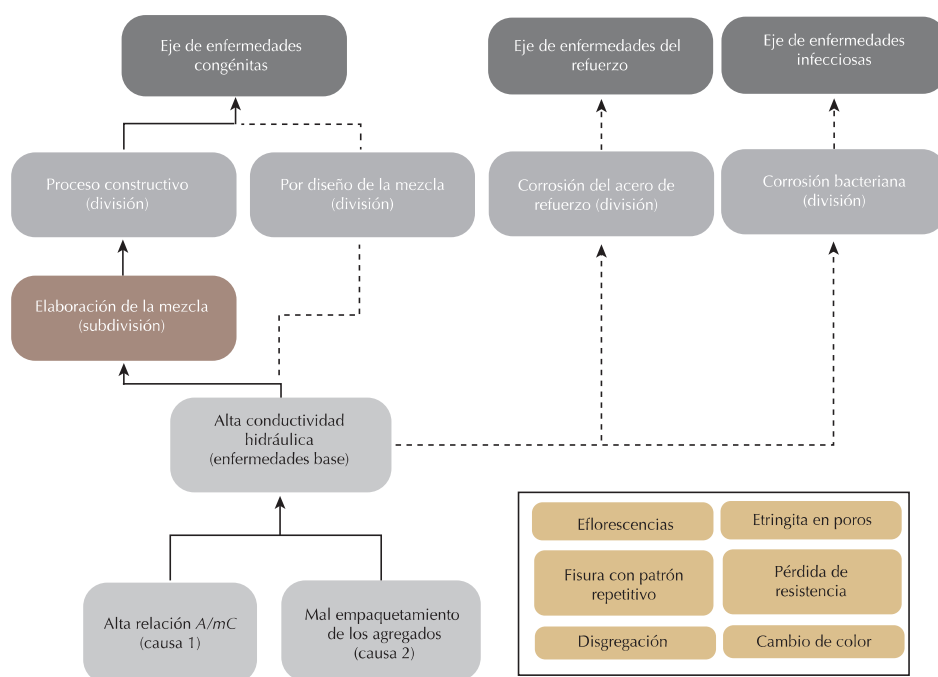


Figura 3.
Ejemplo de relaciones entre ejes, divisiones, subdivisiones

De otra parte, las imperfecciones y defectos tienen en común que se introducen durante el proceso constructivo de la obra. De manera general, entenderemos como **imperfección** una variación negativa de la apariencia, aspecto o resistencia en relación con un estándar o patrón acordado como límite. Por su parte, los **defectos** se entenderán como condiciones no deseables que no eran parte del diseño inicial y, por esto, también se les puede denominar **malformaciones**. Por lo tanto, incluyen las variaciones que presenta