PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN:
LESIONES GENERALES

Juan F. Arango-L.
Ph. D.

TOMO II

Variaciones
Fisuras y grietas
Ruido y vibraciones
Contaminantes

Catalogación de la publicación – Biblioteca Nacional de Colombia

Arango Londoño, Juan Fernando, autor

Patología de la Construcción: lesiones generales. Tomo 2 / Juan F. Arango-L.. -- Primera edición. -- Medellín: Juan Fernando Arango Londoño, 2023

202 p.

Incluye datos curriculares del autor -- Incluye referencias bibliográficas.
Contenido: Variaciones -- Fisuras y grietas -- Ruido y vibraciones -- Contaminantes.
ISBN 978-628-01-1445-3

1. Construcción - Mantenimiento y reparación - Lesiones

CDD: 690.24 ed.23 CO-BoBN-a1128255

PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN: LESIONES GENERALES.

TOMO II

Primera edición: octubre 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 **978-628-01-1445-3**

Dirección editorial: Juan Fernando Arango Londoño
Diseño de carátula: Espacio Contenido.
Diseño y diagramación: Espacio Contenido.
Vectorización de figuras en tablas: Ricardo Arango González.
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, M.Sc. en Ingeniería Civil y M.Sc. 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.

Freddy Alberto Alzate Arias. Ingeniero electrónico y MS en Gestión Tecnológica. Es docente en el Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín (ITM). Investigador en el área de acústica y electroacústica en el Grupo de Investigación en Artes y Humanidades del ITM, línea de diseño y nuevos medios. Desarrollador de prototipos de dispositivos acústicos y electroacústicos.

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 primer libro de esta serie, dirigidos por Jimena Lemoine. Y para este nuevo libro, a Laura V. González Eusse, Jhailynd Chaverra y Ricardo Arango González. Y a los aportes de Julián López Pérez.

CONTENIDO

Introducción 15

1. LAS LESIONES EN FORMA DE VARIACIONES 29
- 1.1 Variaciones en el terreno 33
- 1.2 Variaciones en las propiedades de los componentes y materiales 34
  - 1.2.1 Variaciones características mecánicas 34
  - 1.2.2 Variaciones de color y textura 36
- 1.3 Variaciones geométricas 39
  - 1.3.1 La evaluación de variaciones geométricas 40
  - 1.3.2 Los ejes globales y locales 41
  - 1.3.3 Tipos de variaciones 43
  - 1.3.4 El efecto acumulativo de las tolerancias 45
  - 1.3.5 La envolvente de tolerancias 46
- 1.4 Identificación de las variaciones 49
  - 1.4.1 Las variaciones geométricas en las fundaciones 50
  - 1.4.2 Las variaciones geométricas en la posición de las columnas 53
  - 1.4.3 Las variaciones geométricas en la posición de los muros 55
  - 1.4.4 Las variaciones geométricas en ejes de vigas y losas 57
  - 1.4.5 Las variaciones geométricas de anclajes 58
  - 1.4.6 Las variaciones de la sección transversal de un componente 59
  - 1.4.7 Las variaciones generales de la obra 63

2. LAS FISURAS Y LAS GRIETAS 65
- 2.1 Fisuras generales en muros monolíticos 68
  - 2.1.1 Fisuras y grietas en muros por cambios de tamaño 70
  - 2.1.2 Fisuras y grietas en muros por cambios en su condición del soporte 77
  - 2.1.3 Fisuras y grietas en los muros por la acción de cargas 80
- 2.2 Fisuras en columnas, pilas y pilotes 85
- 2.3 Fisuras en vigas 90
- 2.4 Fisuras en sistemas de pórticos 96

2.5 Fisuras en losas estructurales 101

3. EL RUIDO Y LAS VIBRACIONES 107

3.1 Las características generales del sonido 110
3.1.1 La presión sonora 111
3.1.2 La transmisión del sonido 115
3.1.3 La potencia sonora 116
3.1.4 El aislamiento 117
3.1.5 La reverberación 123
3.1.6 Absorción de sonido 124
3.1.7 La acústica 126
3.1.8 Insonorización 129
3.2 Límites de exposición al ruido y las vibraciones 130
3.3 Lesiones por el ruido en componentes de la obra 135
3.3.1 El ruido aéreo 135
3.3.2 El ruido generado por impacto 138
3.3.3 El ruido generado desde el suelo 140
3.3.4 El ruido generado en la estructura 144
3.4 Identificación de lesiones por ruido y vibraciones 146

4. LA PRESENCIA DE CONTAMINANTES 149

4.1 Tipos de contaminantes 153
4.1.1 El arsénico 153
4.1.2 Los asbestos o amiantos 155
4.1.3 El benceno 157
4.1.4 Los compuestos orgánicos volátiles (VOC) 160
4.1.5 El fenol 162
4.1.6 El formaldehído 164
4.1.7 Los hidrocarburos aromáticos policíclicos 166
4.1.8 El mercurio 167
4.1.9 Los de tipo microbiológico 170
4.1.10 El monóxido de carbono 173
4.1.11 El naftaleno 174
4.1.12 Los olores ofensivos 175
4.1.13 Los óxidos de nitrógeno (NOx) 179
4.1.14 El ozono 180
4.1.15 El plomo 181
4.1.16 La radiación y gas radón 184
4.1.17 El tricloroetileno y tetracloroetileno 189
4.2 Identificación de las lesiones por presencia de contaminantes 191

5. REFERENCIAS 197

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 y 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	Relación entre variación, tolerancia, tamaño de diseño y el obtenido en la obra	31
Figura 7	Medida del color de un polvo, en coordenadas *L,a,b*	38
Figura 8	Perfiles CSP® del ICRI para la textura del concreto	39
Figura 9	Posición de los ejes globales *X, Y, Z* y los ejes locales auxiliares *X´, Y´, Z´*	41
Figura 10	Desviación de la rectitud de una línea recta	43
Figura 11	Variación de la superficie respecto a un plano medida con escáner 3D	44
Figura 12	Cadena de tolerancias en un componente	45
Figura 13	Envolvente de una propiedad: caso del espesor	47
Figura 14	Envolvente de desviaciones individuales de la altura y el plomo	48
Figura 15	Posición de la cara de un componente vertical y tolerancias	49
Figura 16	Superposición de movimientos en un componente empotrado en sus extremos	72
Figura 17	Pilares, columnas, columnetas	86
Figura 18	Lesiones en particiones rígidas por deformaciones de la estructura de pórtico	96
Figura 19	Asentamiento de anden y vía respecto a una estructura de pórticos	97
Figura 20	Relaciones entre los diferentes tipos de ruidos	109
Figura 21	Propiedades generales del sonido	110
Figura 22	Valores de ponderación para 1/3 de octava para filtros *A, C y Z*	
Figura 23	Etiqueta de presión sonora para una lavadora	114
Figura 24	Tipos de ondas, amplitud y período	115
Figura 25	Ensayo de transmisión acústica por ruido aéreo	119
Figura 26	Transmisión acústica de un muro de arcilla e=15 cm	120
Figura 27	Ensayo de transmisión de ruido por impacto	122
Figura 28	Sistemas de absorción acústica en obras	126
Figura 29	Valores de calificación por el STIPA para la inteligibilidad	128
Figura 30	Insonorización incompleta en un sistema de tuberías de aguas servidas	129
Figura 31	Debilitamiento de la presión sonora de una fuente lineal	137
Figura 32	Aislantes de ruido por impacto	139
Figura 33	Esquema de ruido generado desde el suelo	141
Figura 34	Las técnicas de aislamiento de una fuente de ruido	146

Figura 35 Equipo portátil para medición de VOC 161
Figura 36 Desintegración del uranio y progenie del radón 186
Figura 37 Cartografías de concentración de gas radón 187
Figura 38 Sitios de exhalación de gas radón y su ingreso a la obra 188

Índice de tablas

Tabla 1 Defectos y lesiones por variaciones en los ejes de fundaciones 50
Tabla 2 Defectos y lesiones por variaciones geométricas en el espesor de fundaciones 52
Tabla 3 Defectos y lesiones por variaciones geométricas de posición de las columnas 53
Tabla 4 Defectos y lesiones por desviaciones en la posición de los ejes de muros 55
Tabla 5 Defectos y lesiones por variaciones de posición en vigas y losas 57
Tabla 6 Defectos y lesiones por variaciones de posición de anclajes 58
Tabla 7 Defectos y lesiones por desviación en el área de los componentes 59
Tabla 8 Otras variaciones geométricas 62
Tabla 9 Defectos y lesiones por desviaciones de la obra 64
Tabla 10 Guía de movimientos de algunos materiales 70
Tabla 11 Defectos y lesiones por cambios de tamaño en muros 74
Tabla 12 Defectos y lesiones en forma de fisuras por movimientos del soporte de un muro 78
Tabla 13 Defectos y lesiones en forma de fisuras en muros con cargas 81
Tabla 14 Lesiones en forma de fisura o grieta en columnas, pilares, pilas y columnetas 88
Tabla 15 Defectos y lesiones en forma de fisuras en vigas aéreas 92
Tabla 16 Lesiones generales en forma de fisuras en vigas de fundación 94
Tabla 17 Defectos y lesiones en forma de fisuras en pórticos y particiones 99
Tabla 18 Fisuras generales por esfuerzos en las losas estructurales aéreas 103
Tabla 19 Fisuras generales por esfuerzos en las losas de fundación 105
Tabla 20 Referencias de presión sonora en los humanos 112
Tabla 21 Rangos subjetivos de audición de los niveles STC 120
Tabla 22 Valores guía para el coeficiente de absorción de sonido de algunos materiales 125

Tabla 23 Ejemplo de valores máximos en una regulación nacional 131
Tabla 24 Valores guía para máximos de ruido en exposición laboral, según la OMS 132
Tabla 25 Valores guía de velocidad máxima de partícula 134
Tabla 26 Defectos y lesiones por ruido 147
Tabla 27 Microorganismos en las obras que afectan a humanos y mascotas 170
Tabla 28 Valores guía para percepción de olor ofensivo, para exposición de 30 min 178
Tabla 29 Defectos y lesiones por presencia de contaminantes 192

INTRODUCCIÓN

Este texto presenta, de manera ilustrada, los defectos y las 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 explicados 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 los procedimientos usados por 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, los defectos y las 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, una repotenciación o una 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 este libro.

La literatura de la Patología de la Construcción suele clasificar los defectos y las 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 las grietas, las fisuras, las 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. Por otra parte, la literatura clásica suele presentar 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 los asentamientos, la desintegración, la corrosión y las eflorescencias, entre muchos otros. La figura 1 presenta una taxonomía de las lesiones usadas en la Patología de la Construcción donde, en primera instancia, estas se dividen en generales y específicas, y cada una de ellas tiene subdivisiones. En particular, esta obra se orientará a los defectos y las lesiones generales, usando una clasificación por tipología de daños.

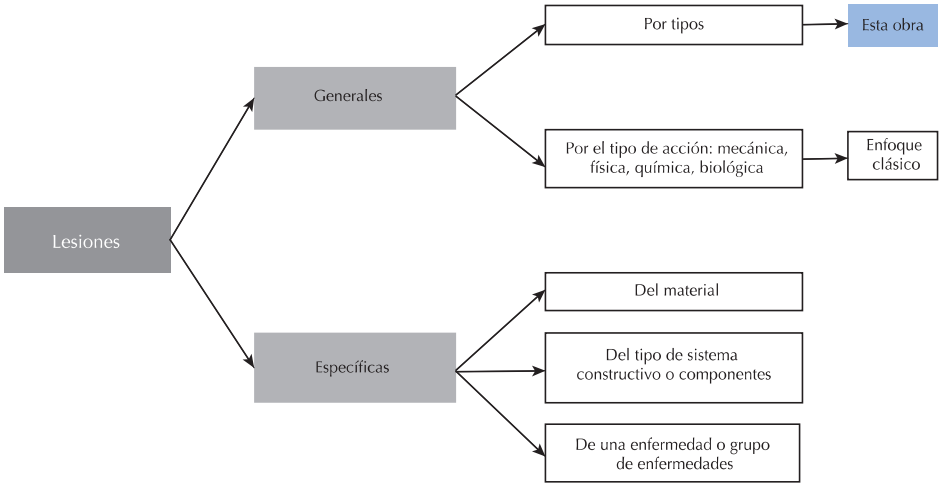

Figura 1.
Posibles formas de clasificar las lesiones

De acuerdo con esta taxonomía, en este libro se profundizan las lesiones generales que son comunes para mucho tipo de materiales y obras, particularmente, las que se introducen durante la ejecución del proceso constructivo, como las variaciones; las lesiones por movimientos indeseables, que se expresan en forma de fisuras y grietas; y otras que ocurren durante el uso de la obra, como el ruido y la presencia de contaminantes. Otros textos del autor plantean las lesiones generales de las obras que están relacionadas con la presencia de agua y otros líquidos; tal es el caso de las humedades, la corrosión, las disgregaciones, la deformación y las eflorescencias (Arango, 2023).

Por variaciones entenderemos las adiciones u omisiones respecto a la concepción inicial de la obra. Ocurren durante el proceso de ejecución constructiva y su tiempo de servicio, como consecuencia de cambios en esta y en su soporte, o por traumatismos. Desde la Patología de la Construcción el principal interés es entender si las variaciones afectan las condiciones de resistencia y utilización de la obra. Algo que se considera diferenciador en este texto es que se presentan las variaciones generales en relación con la estabilidad de la obra por cambios en el terreno de soporte y las propiedades de los componentes y materiales, así como sus dimensiones y sus características mecánicas. Se verá que algunas se

pueden calificar de manera objetiva, por ejemplo, las dimensiones; pero otras resultan bastante subjetivas, especialmente cuando su evaluación se realiza con la percepción del observador, como sucede con el color o la textura. Igualmente, se presentan las relaciones de las variaciones respecto a las tolerancias, los defectos y estados límite de servicio. Como será una constante a lo largo del texto, al final de cada capítulo se presenta un cuadro resumen con las tipologías de cada caso de lesiones.

En relación con las fisuras y grietas, se entenderán como la consecuencia de un movimiento o deformación que pudo tener su origen en causas internas o externas. Dicho de otra manera, las deformaciones se relacionan con esfuerzos que, cuando superan la capacidad resistente del material en un momento dado, generan la lesión. Se recomienda que un proceso diagnóstico se oriente a demostrar qué fue lo que se movió. Debido a que la geometría y la función de los componentes tienen una relación directa con los patrones de formación de las fisuras o grietas, se presentarán las más comunes para las fundaciones, los muros, las columnas, las vigas, los sistemas de pórticos y las losas. Igualmente, se debería considerar que en un proceso diagnóstico los patrones de fisuras presentan variaciones significativas, según los tipos de materiales usados para constituir el componente, las restricciones internas o externas al movimiento y sus discontinuidades. En todo momento, se debe tener presente que ocurren superposiciones; por tanto, los casos mostrados en este texto deberían entenderse como situaciones ideales en las cuales hay una sola causa.

Para explicarlo, en relación con los materiales de un muro con un mismo tipo y magnitud de movimiento de su soporte, se presentarán algunas variaciones en los patrones de fisuras y grietas en el componente cuando este fue realizado con unidades de mampostería y mortero, respecto al patrón en un muro monolítico de concreto o en relación con otro muro que fue elaborado con unidades de mampostería sin mortero de pega (ciclópeo). En lo referente a la superposición, los movimientos de expansión o contracción por cambios de humedad generarán otras deformaciones internas del muro, con patrones de fisuras que se superpondrán con los producidos por el movimiento de su soporte. Para conocer los casos de lesiones por fisuras y grietas de materiales particulares, se recomienda la consulta de otras publicaciones de patología especializadas para cada tipo de material y otros textos del autor.

De otra parte, se abordan las lesiones asociadas con la presencia de ruido por fuentes internas y externas a la obra. La Patología de la Construcción estudia la afectación por ruido de las obras que están en uso y la pérdida de desempeño por diversos fenómenos acústicos. En particular, el ruido es una de las afectaciones incluidas en el síndrome del edificio enfermo. En ese sentido, cuando se confirma que el ruido afecta a los usuarios, se le denomina enfermedad relacionada con la ocupación de la obra. Para acercar al lector a las lesiones por ruido, en este texto se desarrollan elementos de la teoría del sonido, la identificación de sus fuentes y los equipos para el diagnóstico, con el fin de diferenciar, luego, los tipos de lesiones y los posibles procesos de mitigación. Se advierte que este libro no es sobre medicina humana y, por esto, no aborda las enfermedades en los usuarios, sus lesiones ni su respectivo proceso de diagnóstico por cuenta del ruido.

Otro de los factores del síndrome del edificio enfermo es la presencia de contaminantes en la obra, que afectan la salud humana, animal o vegetal. Se trata de sustancias químicas que están presentes en las obras, debido a fuentes externas o porque emanan de sus componentes y materiales constitutivos. En las obras más antiguas es usual la presencia de sustancias contaminantes que actualmente no están permitidas. Esto también ocurre, en alguna medida, en las obras contemporáneas. Durante las actuaciones de renovación, restauración, reforzamiento o repotenciación, la presencia de contaminantes debería ser evaluada con el fin de tomar las acciones de mitigación que solicite la legislación ambiental de cada país, de modo que se realicen las obras con seguridad para los trabajadores, las obras vecinas y el medioambiente. De esta manera, algunas sustancias deben ser removidas, con cuidados especiales, o bien, pueden encapsularse para inmovilizarlas sin tener que retirar el componente. Otras sustancias perjudiciales para la salud están presentes en las obras debido a las actividades de los usuarios o por errores de diseño y especificación.

Para orientar un proceso diagnóstico, se han identificado en este texto componentes y materiales que pueden llegar a tener algunos contaminantes. Se debe advertir que en este texto no se presentan todas las posibles sustancias con estas características; esto se debe a las limitaciones prácticas de espacio y porque constantemente se conocen nuevos estudios que modifican su dictamen de peligrosidad o preocupación. La presencia de una sustancia contaminante en una obra no significa que ocurrirá una afectación en los usuarios. Esto solo se logra establecer por medio de estudios que efectúan las diferentes especialidades de las ciencias de la salud y que tienen en cuenta la legislación de cada país y los avances en conocimiento toxicológico de las sustancias. Nuevamente, se aclara que este no es un texto de medicina y, por tanto, cuando se mencionan las enfermedades y lesiones asociadas a un contaminante se hace solo a manera de referencia. Como toda exposición a este tipo de sustancias, su afectación a la salud depende de varios factores como la dosis, el tiempo de exposición, las predisposiciones individuales y otros factores que escapan al alcance de este libro.

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 las vigas, las columnas, las losas, o los 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.

Los componentes tienen funciones **estructurales o portantes** cuando sustentan la responsabilidad de atender los esfuerzos, las 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 toda 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 como los ambientales, los 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.

Igualmente, 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 relaciona 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, es 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 haga una auscultación.

En lugar 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 a la enfermedad.

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

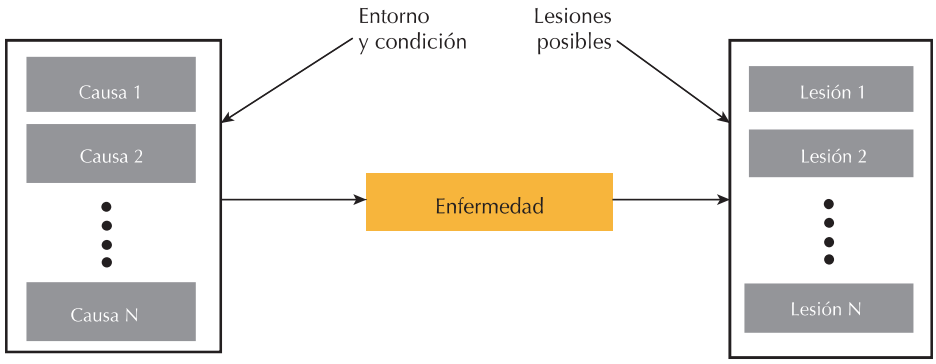

Figura 2.
Relación causa, enfermedad, lesión

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 agregados 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.

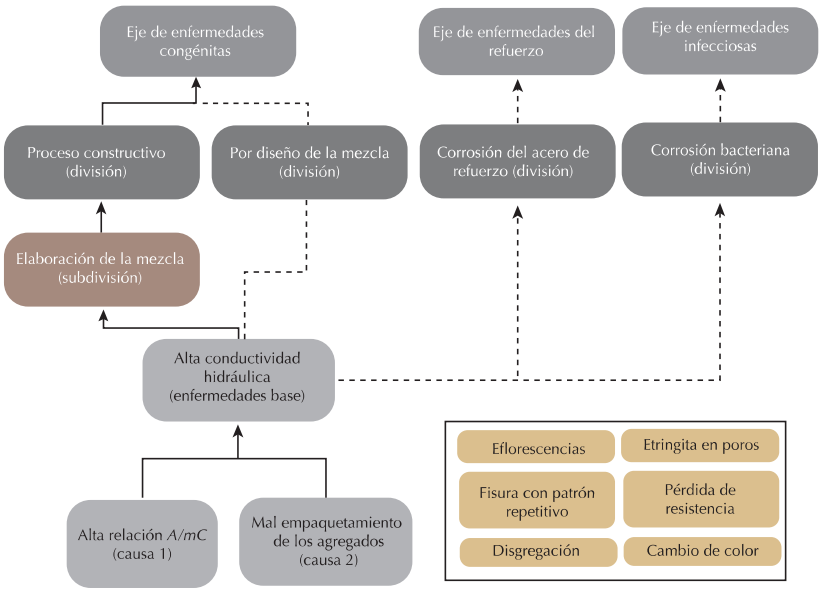

Figura 3.
Ejemplo de relaciones entre ejes, divisiones, subdivisiones