

A circular inset showing a microscopic view of a material with a complex, multi-colored crystalline structure. The colors include shades of blue, purple, yellow, and red, set against a dark background. The structure appears to be a network of interconnected crystalline regions.

PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN: FUNDAMENTOS

Juan F. Arango-L.

PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN: FUNDAMENTOS

Juan F. Arango-L.
Ph. D.

Arango Londoño, Juan Fernando

Patología de la Construcción : fundamentos / Juan Fernando Arango Londoño. -- 1a ed.

-- Medellín : Cemento ALIÓN, 2022.

242 p.

Incluye referencias bibliográficas.

ISBN 978-628-95130-0-4

1. Construcción - Mantenimiento y reparación - Fundamentos I. Título

CDD: 690.24 ed. 23

CO-BoBN- a1093977

Catalogación en la publicación – Biblioteca Nacional de Colombia

PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN: FUNDAMENTOS

Primera edición: septiembre de 2022

© Juan Fernando Arango Londoño, 2022
jfarangol@gmail.com

© Empresa Colombiana de Cementos S.A.S. – ALIÓN
Medellín, Colombia

ISBN 978-628-95130-0-4

Dirección editorial: Jimena Lemoine
Diseño de carátula: Aura María Zúñiga
Diseño y diagramación: Aura María Zúñiga
Corrección de estilo: Elkin Rivera Gómez
Impresión: DGP Editores

Aviso legal

Esta obra proporciona una introducción a la patología de 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 expresamente por el autor.

Dedicado a Emma Londoño de 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.

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 Sismo Resistente (NSR-98) y la recomendación de adopción de la NSR-10. Ha participado en las mesas de normalización de cemento, concreto y prefabricados del Instituto Colombiano de Normas Técnicas (Icontec) desde el 2000 hasta el presente.

Miembro de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), de la Sociedad Antioqueña de Ingenieros (SAI) y la Cátedra Miguel Sánchez-Mazas de la UPV/EHU (España).

REVISIÓN ACADÉMICA

Juan Manuel Lizarazo Marriaga, Ph. D. Ingeniero civil, especialista en Estructuras y magíster en Ingeniería-Estructuras de la Universidad Nacional de Colombia. Realizó el curso de Estudios Mayores de la Construcción en el Instituto Eduardo Torroja, Madrid, España. Ph. D. en el área de concretos de la Universidad de Coventry, Reino Unido. Profesor asociado de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, e investigador sénior del Grupo de Investigación en Análisis, Diseño y Materiales del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional, sede Bogotá. Consultor de la empresa Metrisi Group SAS.

Henry Hernán Carvajal Jaramillo, Ph. D. Arquitecto, constructor, especialista en Patología, M.Sc. y Ph. D. en Restauración y Rehabilitación de Edificios de la Universidad Politécnica de Cataluña, España. Docente investigador de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Coordinador de la Especialización en Patología de la Edificación y Técnicas de Intervención y Prevención. Investigador en Tecnología del Patrimonio y Patología de la Edificación Existente. Director de proyectos de restauración y estudios patológicos.

AGRADECIMIENTOS DEL AUTOR

Deseo agradecer a mi esposa, María Cristina González Mazuelo, y a nuestro hijo Ricardo por su apoyo durante los años de investigación que fueron requeridos para la escritura de esta obra.

A mis maestros, y con especial memoria de gratitud a los que ya no nos acompañan, y que se destacaron por su amor al conocimiento y la pasión por enseñar: mi padre, Fabio Arango Salazar; al ingeniero civil Andrés Uriel Gallego Henao, y al ingeniero químico y M. Sc. Ramiro Restrepo Restrepo.

A la Universidad Nacional de Colombia y la Universidad de Medellín, donde muchos de los fundamentos que son presentados en este libro se han debatido y decantado.

A los revisores académicos, arquitecto constructor Henry Carvajal, M. Sc. y Ph. D., y a Juan Manuel Lizarazo, Ph. D., que amablemente aportaron sus valiosas observaciones y recomendaciones para consolidar esta obra.

Agradecimientos especiales a la Empresa Colombiana de Cementos y su marca Cemento ALIÓN por patrocinar la primera edición de este libro. Siempre firme. A Maricel Dorado por creer en esta obra y a Liliana Velásquez S. y Julián López P. por ayudar a desarrollarla editorialmente.

CONTENIDO

Prólogo.....	13
Introducción.....	15
1. LA PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN.....	21
1.1 El contexto disciplinar de la Patología de la Construcción	21
1.2 ¿Vertientes en la Patología de la Construcción?.....	28
1.3 Los momentos de actuación del patólogo.....	35
1.4 Conceptos tomados de las ciencias de la salud	36
1.4.1 La enfermedad.....	36
1.4.2 Los síntomas y signos	39
1.4.3 Las lesiones y la nosología.....	41
1.4.4 La etiología	51
1.4.5 La patología.....	53
1.4.6 El diagnóstico.....	55
1.4.7 La prognosis o pronóstico	57
1.4.8 La terapia o tratamiento	58
1.5 La sustentación de las explicaciones.....	60
1.5.1 Los hechos y fenómenos.....	60
1.5.2 La causa y el efecto	61
1.5.3 El factor de riesgo y la causa	68
1.5.4 Los análisis de causa raíz.....	68
1.5.5 Las correlaciones	72
2. LOS DAÑOS EN LAS OBRAS Y TIPOS DE ESTADOS	75
2.1 Las condiciones ambientales.....	76
2.1.1 Ambiente y exposición	77
2.1.2 Los agentes agresivos	79
2.1.3 La severidad de la exposición	84
2.1.4 La exposición ambiental del concreto y el mortero.....	86
2.1.5 La exposición ambiental del acero	97
2.1.6 Los mecanismos de transferencia.....	105
2.1.7 Los mecanismos de transporte.....	106

2.2	Los estados de las obras.....	110
2.2.1	La amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo.....	110
2.2.2	El principio de precaución.....	112
2.2.3	Las imperfecciones y defectos.....	113
2.2.4	El deterioro.....	115
2.2.5	La falla.....	116
2.2.6	Los accidentes.....	117
2.2.7	La estabilidad.....	117
2.2.8	La seguridad.....	119
2.2.9	La robustez.....	121
2.2.10	La confiabilidad.....	124
2.2.11	La ruina.....	127
2.3	Los procesos de actuación en las obras.....	128
2.3.1	Remodelación o renovación.....	129
2.3.2	La inspección.....	130
2.3.3	El mantenimiento.....	132
2.3.4	La mantenibilidad.....	141
2.3.5	La reparación y sus técnicas.....	143
2.3.6	La rehabilitación, el reforzamiento y la repotenciación.....	147
2.3.7	La restauración.....	149
3.	DISEÑO DE LAS OBRAS Y SU RESPUESTA.....	153
3.1	Las condiciones de resistencia y utilización.....	153
3.1.1	Los estados límite.....	155
3.1.2	Los métodos de diseño de las estructuras.....	158
3.1.3	Los estados límite en los elementos no estructurales.....	162
3.2	La respuesta y estado de las obras.....	163
3.2.1	El estado normal de una obra.....	163
3.2.2	El modelo general de desempeño de las obras.....	165
3.3	Durabilidad.....	169
3.3.1	Verificando la durabilidad.....	170
3.4	El tiempo de servicio (vida útil o <i>lifespan</i>).....	182
3.4.1	Los tiempos de servicio.....	184
3.4.2	Los modelos de predicción del tiempo de servicio restante.....	189
3.5	Los métodos de diseño de tiempo de servicio por durabilidad.....	190
3.5.1	Métodos totalmente probabilísticos.....	193
3.5.2	Por factores parciales para el tiempo de servicio.....	194
3.5.3	Por criterios con los que se considera se cumple el tiempo de servicio.....	196
3.5.4	Por la estrategia que busca impedir el deterioro.....	199
3.5.5	Las especificaciones por desempeño o por propiedad verificada.....	200
3.5.6	Las especificaciones del propietario o propias.....	204
3.6	Modelando el tiempo de servicio.....	204

3.6.1	El modelo de carbonatación del concreto.....	206
3.6.2	El modelo de penetración de cloruros en el concreto	207
3.6.3	Las actuaciones en la obra y el modelo del tiempo de servicio.....	208
3.7	La relación entre la calidad y el tiempo de servicio.....	212
4.	EL ESTUDIO DE LAS OBRAS	215
4.1	Los procesos de diagnóstico	216
4.1.1	Los procesos lineales de fases	216
4.1.2	Los estudios iterativos con seguimiento.....	218
4.2	Actividades e información para un proceso diagnóstico.....	222
4.2.1	Haciendo la evaluación preliminar e identificación	222
4.2.2	Definiendo el objetivo del trabajo que se va a realizar	223
4.2.3	Evaluando la seguridad e integridad.....	224
4.2.4	Recolectando la información detallada	224
4.2.5	Verificando la situación real de la obra ejecutada.....	226
4.2.6	Determinando la situación real de uso.....	227
4.2.7	Lista de chequeo de un proceso diagnóstico	228
4.3	Errores de los procesos de diagnóstico.....	230
5.	REFERENCIAS	237

PRÓLOGO

No es frecuente encontrar un esfuerzo juicioso y riguroso desde el sector privado, que les permita a los profesionales de la construcción y su cadena productiva profundizar en los conocimientos que día tras día ponen en práctica en cada uno de sus oficios.

Con esta idea surgió desde ALIÓN —un jugador relevante en la industria cementera y concretera del país— este libro, que es el resultado de un trabajo de investigación concienzudo sobre un tema fundamental para nuestro sector: las enfermedades en las construcciones.

En la génesis de este esfuerzo, nos preguntamos si la iniciativa estaba alineada con nuestro propósito y valores corporativos, y la respuesta afirmativa fue instantánea, en cuanto la transferencia del conocimiento es una de nuestras líneas de acción prioritarias, con las que hacemos un aporte permanente al sector y a la sociedad.

En ALIÓN trabajamos todos los días, no solo por ofrecer un producto de calidad y diferencial para nuestros clientes, sino también por promover y generar oportunidades de crecimiento en todos nuestros grupos de interés.

Este será, con seguridad, el primero de varios desarrollos editoriales que nos permitirán mantener nuestro compromiso con ustedes, parte vital de lo que somos como compañía.

Valoramos el gran esfuerzo académico de nuestro compañero, trabajador, amigo y autor de este importante texto, Juan Fernando Arango-L., el cual, estamos convencidos, entregará un aporte relevante al sector de la construcción.

En ALIÓN generamos confianza construyendo firme.

MARTHA PATRICIA QUINTERO VALDERRAMA
Directora comercial
Cemento ALIÓN

INTRODUCCIÓN

Este libro aborda los conceptos fundamentales de la disciplina de la Patología de la Construcción. Está escrito de tal forma que sea un texto de referencia útil para la formación de los profesionales que realizan el estudio de las enfermedades de los edificios, y para sus practicantes. Igualmente, se espera que sea una referencia para los profesionales que son responsables del mantenimiento de las obras.

Con el fin de hacer más claros algunos énfasis que se utilizarán a lo largo del texto, se privilegiará el término edificación para hacer referencia explícita a las obras destinadas principalmente a la habitación humana, bien sea de forma permanente o temporal, tales como las viviendas, centros comerciales, oficinas, bodegas, instalaciones industriales o similares. Mientras que las obras o construcciones comprenderán tanto las edificaciones como las obras de exposición ambiental, algunas veces llamadas “obras de infraestructura” u “obras civiles”, en las que se incluyen las represas, los puentes, las vías, las plantas de tratamiento de aguas, los puertos, las torres de transmisión de energía y los túneles entre otras. Además, entenderemos como construcción, edificación u obra, un estado particular que corresponde a cuando ya está formada, bien sea total o parcialmente. Cuando nos refiramos a estos términos como un proceso, lo llamaremos proceso edificatorio o proceso de ejecución de la construcción.

Un aspecto relevante en el que se quiere hacer énfasis es que las obras deben entenderse como un sistema. Es decir, que además de referirse a la forma en que interactúan los materiales de manera mecánica, se deberían incluir otros componentes igualmente importantes. Entre estos, convendría considerar las expectativas de resistencia y utilización; el conjunto de conocimientos que se emplearon; los valores, tales como los ambientales, seguridad y confiabilidad entre otros; o los aspectos simbólicos y estéticos de las obras. Estas relaciones en el sistema ocurren tanto en el contexto del diseño, como en el desarrollo constructivo y, por tanto, deben tenerse en cuenta en el proceso de diagnóstico patológico.

De hecho, aún es corriente la práctica de que las obras sean especificadas de forma independiente por cada especialidad, por ejemplo, la geotecnia, el diseño estructural, arquitectónico y los diseñadores de los sistemas complementarios, entre otros. En cuanto al tiempo de servicio, la durabilidad y el correcto desempeño, se asume que es responsabi-

dad de otros, o peor, no es tenido en cuenta. E incluso suele ocurrir que no se comunica efectivamente el desempeño esperado tal como se consideró en el diseño, de manera equivalente a como se cuantificaron las cargas; ni cuál es el mantenimiento que se debería realizar a la obra. En consecuencia, se puede afirmar que, en la actualidad, pocos profesionales están en la capacidad de predecir el tiempo de servicio que tendrán sus obras o aclarar su relación con el mantenimiento.

La forma más fácil para ilustrar este concepto de sistema es cuando interactúan sus partes. De hecho, una obra suele ejecutarse con componentes que se superponen, como las fundaciones, columnas, losas y muros. Y a muchos de estos se les aplican capas sucesivas de diferentes materiales que conforman los acabados. Estas capas pueden estar adheridas a otros componentes o, por el contrario, que de manera intencional se construyan desligándolas, con el fin de eliminar algunos tipos de interacciones mecánicas potencialmente indeseables. Así, desde el punto de vista mecanicista, en la figura siguiente se muestra un conjunto de componentes individuales que forman un pavimento de concreto (figura 1).

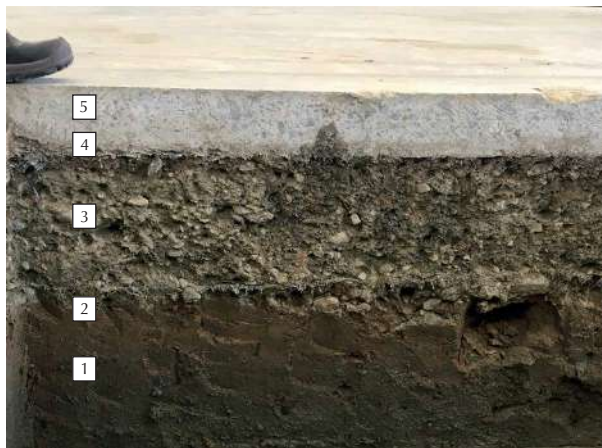


Figura 1.

Capas de un sistema de pavimento

En este sistema cada componente tiene un efecto global en el desempeño. El suelo de soporte o subrasante (1) recibe los esfuerzos provenientes del tráfico. Tiene una geomalla (2) que estabiliza el suelo y ayuda a distribuir horizontalmente los esfuerzos, y aumenta la capacidad de soporte de la subrasante. Esta tiene otro efecto, y es disminuir el espesor de la capa de subbase, que posiblemente contribuye a reducir los costos y aporta a la sostenibilidad al minimizar el uso de agregados pétreos. Está presente un material de subbase (3), modificado con cemento hidráulico, que sirve como una capa de material estructural. Se ha dispuesto una lámina plástica (4) que evita que la placa de concreto se adhiera a la subbase y que funciona como una barrera de vapor por la humedad que proviene del suelo, lo que mejora la apariencia del pavimento y disminuye los costos de limpieza y

mantenimiento. En la superficie hay una placa de concreto (5) que provee una superficie de rodadura lisa, estable, con resistencia estructural y a la abrasión; y finalmente, un sistema de juntas y sellos (no mostrados) que tiene como función acomodar las contracciones y expansiones de la losa, y transmitir los esfuerzos y deformaciones entre las placas.

Pero, además del componente mecanicista, esta obra responde a un determinado grupo de requisitos de resistencia y utilización. Es decir, que hay expectativas relacionadas con el uso que se le da y la forma en que se desempeña, pues las obras tienen repercusiones en la salud, la vida, la seguridad o en la economía. Esto sin contar aspectos relevantes tales como la sostenibilidad y los impactos en el medio ambiente o en las comunidades durante su proceso constructivo o cuando ocurre una falla. Otras expectativas se reflejan en las especificaciones y normas de diseño y construcción regionales o nacionales.

Y desde el punto de vista funcional, la aparición de variaciones en la planimetría de la placa por fenómenos erosivos, o cambios de altura entre placas por asentamientos diferenciales, pueden limitar totalmente la posibilidad de uso. Estas situaciones pueden crear inseguridad durante la operación de un equipo de montacargas que circule por este pavimento, debido a que las oscilaciones generadas por su irregularidad podrían poner en riesgo la operación. En ese caso se definiría una falla por utilización, aun sin que se presenten rupturas en las placas de concreto, es decir, sin que haya una falla estructural asociada con la resistencia mecánica.

Por otra parte, en el momento de su diseño y proceso constructivo, el sistema de pavimento debió responder a un grupo de conocimientos, materiales, procedimientos de diseño, especificación y métodos de construcción. Además, el sistema está expuesto a unas condiciones ambientales que son únicas y que incluso pueden variar. Igualmente, pudo someterse o no a un procedimiento de supervisión y verificación de la calidad alcanzada.

Suele ocurrir que este “enfoque sistémico” pase desapercibido en los procesos de diseño y ejecución, o durante un diagnóstico patológico. Entre otros, todos estos aspectos en interacción, en sentido amplio, constituyen el “**sistema de pavimento**” mostrado anteriormente (figura 1). Esto debería tenerse en cuenta, en sentido fuerte, para el contexto de un diseño, de un proceso constructivo o para realizar un diagnóstico patológico.

Por ello, al igual que el diseño y especificación de obras nuevas no deberían reducirse a un *software*, a las normas, la resistencia y las especificaciones, el ejercicio de la Patología de la Construcción tampoco debería reducirse a identificar las lesiones generales. En el diseño, de manera contemporánea, se requiere integrar las diferentes especialidades que participan en una obra; que las especificaciones de ejecución de la construcción y de los materiales, junto con el proceso de construcción, respondan a las expectativas del cliente o el comprador; que el diseño y la ejecución de la construcción guarden relación con la durabilidad, el mantenimiento y el tiempo de servicio, y que esto sea conocido por los dueños y compradores de las obras; también es importante considerar los impactos que la obra puede originar en la salud, la vida, la sociedad, la economía y el medio ambiente. Análogamente, en el diagnóstico patológico se deberían identificar las enfermedades y lesiones, teniendo en cuenta el marco de referencia apropiado para definir el desempeño

y los estados límite, en relación con la normativa, los conocimientos para la época de la construcción o sus cambios, la calidad de la mano de obra, los procesos constructivos, la confiabilidad y las limitaciones del diagnóstico, entre otros aspectos.

Por tanto, es bueno entender que no existe una sola referencia para realizar el diagnóstico de las obras. Esto ocurre porque lo que se consideró un estado límite de desempeño y confiabilidad aceptable en una época ya luego no lo sea, especialmente cuando acontece una falla que causa una impresión importante en una sociedad. Es decir, que lo que se considera adecuado o inadecuado varía a lo largo de los años, por motivos tan diversos como los cambios en la capacidad económica de las naciones, la percepción y tolerancia al riesgo, la sostenibilidad, la ocurrencia de desastres, los accidentes, las orientaciones políticas, las malas conductas profesionales o incluso por una moda.

Esto puede ser más fácil de entender cuando se examinan en detalle los cambios que se incluyen en las actualizaciones de las normas de diseño y ejecución de la construcción de las edificaciones. En estos casos se suelen ajustar los valores de confiabilidad, se incorporan nuevos conocimientos, metodologías, materiales, o se ajustan al alcance de la supervisión de la ejecución o de la revisión de diseños. O bien, se solicita que se incluyan más detalles en planos y especificaciones.

El otro elemento relevante que se aborda en esta obra es la importancia del estudio de las enfermedades de las construcciones. Todas las obras tienen un tiempo de vida limitado, y no están exentas de realizarles actuaciones. Incluso, no están libres de que ocurran accidentes. En la medida en que se hacen más obras, que envejecen y se exponen al ambiente y al uso, ciertamente requerirán alguna actuación. Y una forma de hacerlo es mediante la aplicación de las metodologías de la disciplina de la Patología de la Construcción.

En este contexto, en el primer capítulo de este libro se presenta el campo general de la Patología de la Construcción y cómo ha tomado muchos conceptos que han sido perfeccionados durante años por la medicina. Se verá que esto ocurre porque cada obra es tan particular como lo es un ser vivo.

Un elemento fundamental de la Patología de la Construcción es lograr un buen diagnóstico, y es por ello por lo que se abordan las causas y los efectos. Esto es importante porque son la base para demostrar y explicar los síntomas, las lesiones y las enfermedades. Por tanto, en esta obra la causalidad se presenta en el contexto de los hechos, los fenómenos y los diferentes tipos de relaciones causa y efecto.

Por su parte, en el capítulo 2 se presentan los posibles estados en que puede estar una obra y cuáles son los diferentes tipos de afectaciones. También se abordan las condiciones ambientales y de exposición, la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo. Pero como la incertidumbre hace parte de las obras, también se considera el análisis de los riesgos y las bases del principio de precaución.

El capítulo 3 es uno de los más importantes de este documento debido a que vincula muchos de los conceptos presentados y cómo se relacionan con el desempeño de las obras.

De hecho, se espera que sea de interés general para todos los profesionales involucrados en el proceso de construcción, sean o no practicantes de la Patología de la Construcción. Allí se introduce el concepto de los estados límite que, como se verá, es lo que diferencia la falla de una condición normal. De hecho, la condición de las obras se debería evaluar con base en la definición de dichos estados, a partir de la respuesta a las condiciones ambientales, las cargas y el paso del tiempo. Como la durabilidad y el tiempo de servicio tienen una relación directa con los estados límite, también se explica el efecto del mantenimiento y de las actuaciones menores y mayores que se hacen en una obra.

Para finalizar, el capítulo 4 profundiza en el proceso del estudio patológico de las obras. Se inicia con los diversos tipos de procesos diagnósticos, en los que además se incluye una propuesta del autor. Se ha querido introducir también una lista de chequeo que puede resultar útil cuando se realiza un proceso de recolección de información del “paciente”, pero sin pretender que sea exhaustiva para todas las posibilidades que tiene una obra. Y para tener en cuenta en el ejercicio profesional, se presentan las fuentes típicas de errores en los diagnósticos, y algunas explicaciones de porqué ocurren.



¿Quisieras obtener
una copia de libro*?

Comunícate **AQUÍ**

*Unidades limitadas

ALION
CEMENTOS MOLINS corona