

3. PATOLOGÍAS EN MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Por: Jaime Arturo Tovar Rodríguez
Fundación Universitaria Juan de Castellanos

3.1 INTRODUCCIÓN

La palabra Patología, comúnmente utilizada en medicina y cuya raíz griega *pathos*, que se refiere a los síntomas o signos que se manifiestan en un cuerpo vivo y que pueden conducir a identificar la causa de la enfermedad, para proceder con su tratamiento y minimizar o hasta eliminar dicha enfermedad, se usa también para describir aquellos estados en que los materiales de construcción muestran síntomas o signos de deterioro.

Las patologías en los materiales de obras civiles, serán la recopilación del grupo de lesiones que presenta un material, un elemento o una estructura, originados por varios factores como: errores de diseño, mala ejecución de obra (procesos constructivos deficientes o malas prácticas de ingeniería), falla en los materiales, el paso del tiempo, la exposición al clima y eventos sísmicos o inclusive la ausencia del mantenimiento. La inspección visual será la primera herramienta para la detección de los sitios en los que se localizan estos síntomas de deterioro o falla de los materiales, y una vez identificados, se respaldan con los ensayos de laboratorio requeridos para identificar plenamente el mecanismo de daño presente.

En este capítulo, se hace un recuento de los tipos más comunes de patologías en los materiales, desde su origen ya sea físico, mecánico o químico, con el fin de relacionar estas patologías con las de los materiales comercialmente más usados para las obras civiles. El ingeniero especialista en patología de materiales, requerirá la mayor cantidad de información en la fase de inspección visual y los resultados emitidos por el laboratorio, para establecer el mecanismo de daño y el rango permitido, según la norma o solicitud, dentro del que se desempeña el material, el elemento o la estructura en cuestión, entonces habrá mecanismos de daño básicos o complejos, dependiendo de la cantidad de indicaciones encontradas durante la inspección.

3.2. NORMATIVA PARA MATERIALES EN COLOMBIA

3.2.1 Concreto hidráulico

3.2.1.1 Edificaciones:

Para los temas relacionados con concreto y acero, la normativa colombiana vigente, nace el 19 de agosto de 1997, año en el cual se creó la Ley 400, donde se establecen los criterios y los requisitos mínimos que se deben cumplir en las diferentes etapas de un proyecto de construcción; es decir, en el diseño, construcción y supervisión técnica de edificaciones. Posteriormente, el 9 de enero de 1998, mediante el Decreto 33 de 1998, se reglamentan los requisitos de carácter técnico y científico para construcciones sismo-resistentes, entonces nace la Norma Sismo Resistente Colombiana, más conocida como NSR-98, documento que recogió todos los protocolos y procedimientos en materia de obras civiles que hasta el momento estaban en cierta manera desarticulados, y ayudó a normalizar y crear una conciencia constructiva en materia de seguridad al sismo, la cual fue ratificada luego del sismo del eje cafetero de 1999 y modificada en el año 2010, bajo el nombre de REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMORESISTENTE, que actualmente se conoce como NSR-10, con ajustes y precisiones respecto de la anterior publicación.

3.2.1.2 Puentes:

El 4 de diciembre de 2014, la dirección técnica del Invías dio a conocer la Norma Colombiana de Diseño de Puentes, actualizando así el Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes, este fue un trabajo conjunto con la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), para adecuar nuestro estado del arte con la tecnología que en materia de transporte, presenta el país. Esta revisión tuvo fundamento en lo dictado por AASHTO en su metodología Load and Resistance Factor Design (LRFD); es decir, factores de diseño de carga y resistencia en su sexta edición, buscando cumplir con lo necesario para el cumplimiento de acuerdo con el estado del arte a nivel mundial, en la etapa de diseños y métodos constructivos. En esta edición, se puede observar también los mapas de amenaza sísmica, que junto con los valores de carga vehicular, mejoran los valores del factor de seguridad para el diseño estructural de puentes en Colombia.

Esta metodología LRFD, ha sido revisada constantemente, la última de sus ediciones fue publicada en diciembre de 2017, la cual contiene una gama considerable de variables y aspectos relacionados con los procesos de diseño de cada uno de los componentes de los puentes. En este documento es posible obtener una referencia válida en el tema del diseño de puentes.

Las especificaciones AASHTO han sido por años el documento de referencia para el diseño de puentes en América Latina, cuya publicación se renueva y actualiza periódicamente, teniendo en cuenta el proceso de investigación y conocimiento de los materiales, así como sus posibles mezclas y combinaciones para lograr el soporte de mayores esfuerzos, todo esto teniendo como marco la seguridad, la economía de la obra y la vida útil de las estructuras.

Sin embargo, en Colombia no se cuenta con un protocolo que permita unificar los criterios necesarios para establecer la patología de una estructura de concreto reforzado, pero algunos esfuerzos por solucionar este faltante se han llevado a cabo, de manera que se pueda establecer un diagnóstico claro para estas estructuras.

3.2.2 PAVIMENTOS

3.2.2.1 Pavimentos asfálticos:

En Colombia, los pavimentos flexibles deben ser diseñados para cada caso de tránsito, refiriéndose a los millones de ejes equivalentes de 80kN en el carril de diseño, NT1 (menor a 0.5), NT2 (entre 0,5 y 5) y NT3 (más de 5), con el método Marshall, de acuerdo con lo contenido en las Especificaciones Generales para la construcción de carreteras del Ministerio de Transporte. En su capítulo 4, las especificaciones para carreteras mencionan la reglamentación para el diseño de pavimentos asfálticos, en el que se encuentra además la normativa para los trabajos de imprimación, riego de liga y curado, los tratamientos superficiales, sellos de arena-asfalto y lechadas asfálticas, bases, capas de mezcla asfáltica, bacheos asfálticos en frío/caliente, y reciclados con productos bituminosos.

En este capítulo, además se encuentra la descripción de la calidad de los materiales a usar en el pavimento, entre estos el tamaño del agregado, el tipo de agregado, la granulometría del agregado, incluyendo el filler o llenante mineral, que es el material fino que pasa el tamiz No.200 que tiene relación directa con el porcentaje de vacíos y también se describe el ligante, junto con los artículos del documento donde se encuentra su caracterización, además de los aditivos mejoradores de adherencia. Se puede encontrar también una descripción de los equipos para la producción de agregados y su operación, que incluye los combustibles usados para la operación de las plantas, los dispositivos para la toma de muestras, el manejo del cemento asfáltico y el manejo del filler, así como el tipo de plantas existentes en el mercado. Se menciona también, el equipo de compactación, transporte, riego y otros equipos accesorios.

3.2.2.2 Rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras:

Otro de los documentos de consulta acerca de las condiciones estándar de un pavimento, es la Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos, generada por el Ministerio de Transporte y el INVIAS, y que, por medio de la Resolución 2658 del 27 de junio de 2002, fue adoptada por el gobierno nacional; y en este documento es posible encontrar el período de diseño de las obras para la rehabilitación del pavimento, una guía para la recolección de la información del tramo de interés en la vía, un listado de los daños o patologías presentes en el pavimento, métodos para identificar el perfil y la regularidad superficial del pavimento, la resistencia al deslizamiento, la medición del ruido en el contacto neumático-pavimento, etc.

Además, ofrece una metodología para la evaluación de la condición global del pavimento y la selección de técnicas de rehabilitación, las cuales serán presentadas más adelante.

3.2.2.3 Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles:

En el tema de pavimentos flexibles o rígidos, el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) junto con la Universidad Nacional de Colombia (UNAL), realizaron una recopilación de bibliografía con la experiencia de años de construcción e inspección de pavimentos tanto hidráulicos como de asfalto, incluye además formatos para recolección de información, de tal manera que permita caracterizar y cuantificar los hallazgos a la hora de inspeccionar visualmente un pavimento.

3.2.2.4 Pavimentos de concreto hidráulico:

En el capítulo 5 del documento de “Especificaciones Generales para la construcción de carreteras del Ministerio de Transporte”, se menciona la forma de diseñar los pavimentos en concreto hidráulico y contiene cuatro apartes en los que se define y normaliza el pavimento de concreto hidráulico, también es posible encontrar precisiones acerca del suministro de cemento hidráulico, la base del concreto hidráulico y el pavimento de adoquines de concreto.

En su primer capítulo, que se refiere al pavimento de concreto hidráulico, presenta las especificaciones de “elaboración, el transporte, la colocación y el vibrado de una mezcla de concreto hidráulico en forma de losas, con o sin refuerzo, la ejecución y el sellado de juntas, el acabado, el curado y las demás actividades necesarias para su correcta construcción”. En lo que se refiere al suministro del cemento hidráulico, en este documento se definen los materiales del cemento, los vehículos para el transporte, los silos de almacenamiento, el manejo ambiental, los controles generales y específicos para el recibo del producto.

En el tercer aparte, el documento se refiere a la base del concreto hidráulico y describe los requerimientos del concreto hidráulico a usar como base de las placas de pavimento, en este aparte se encuentra la normalización para ensayos de materiales y algunas recomendaciones de diseño de mezcla, la elaboración de tramos de prueba, la apertura al tránsito, etc.

En el cuarto tema, se presenta el pavimento de adoquines de concreto, en donde se describe el trabajo, los materiales, el equipo y una parte importante del escrito en donde se menciona, paso por paso, los requerimientos en la ejecución de los trabajos en los que se menciona, por ejemplo, la preparación de la superficie existente, la colocación y nivelación de la capa de arena, la colocación de adoquines y sus ajustes, la compactación inicial, el sello de juntas y su compactación final, entre otras recomendaciones.

3.2.3 Materiales de ingeniería y suelos

En el documento “Especificaciones Generales para la construcción de carreteras del Ministerio de Transporte”, también se mencionan los ensayos necesarios para describir de una forma estándar, el suelo y las tolerancias que este permite, se habla también de los cuidados en la obtención, transporte y tratamiento de la muestra de suelo y los procedimientos para la medición de sus características. Este documento está basado en las normas internacionales ASTM (American Standard Test Materials) de las cuales se hizo una adaptación a los materiales y requerimientos colombianos. Contiene además la descripción de la calificación de los laboratoristas u operadores, con el fin de estandarizar los muestreos, ensayos, medidas, cálculos y su correspondiente reporte, y también se menciona la forma de redondear las cifras decimales, del significado y uso de las escalas internacionales SI. Al inicio del documento se encuentran algunas recomendaciones para el inicio de trabajos de exploración, como por ejemplo la recopilación, estudio y evaluación de la documentación técnica disponible para una zona determinada, en los que se incluyen mapas topográficos, geológicos, fotografías aéreas, imágenes satelitales y otros documentos relacionados, de tal forma que el grupo de ingenieros obtenga un panorama detallado del sitio de interés. Esta información es útil para modelar en un programa, las condiciones reales tanto físicas como ambientales del trabajo. Presenta también una descripción e identificación de suelos de forma visual y manual, en la que se hace un recuento de las características básicas de materiales como la arcilla, el limo, los materiales orgánicos y la turba, junto con una tabla en la que es posible, por medio de un diagrama de flujo, clasificar el material.

3.3 DEFINICIÓN DE CONDICIONES SUBESTANDAR DE LOS MATERIALES

La palabra materiales es difícil de definir porque todo son materiales, los gases son materiales, el cuerpo humano está formado de materiales; sin embargo, el elemento básico de los materiales y compuestos es el átomo, que conforma los elementos y estos a su vez forman los materiales. La raíz griega de la palabra átomo define aquello que no se puede cortar más. En nuestro planeta conocemos un número determinado de elementos que están relacionados y organizados en la tabla periódica, al lado izquierdo se comienza con el más liviano: el hidrógeno y al extremo derecho están los gases inertes, de los cuales es preciso resaltar el neón que es uno de los más usados. Es posible utilizar las reacciones químicas para fabricar materiales, es decir, hacer que se combine un elemento con otro, formando moléculas, por ejemplo haciendo reaccionar el carbono con el hidrógeno para formar metano, el gas combustible, todo esto son reacciones químicas en las cuales los átomos no se alteran, solamente se juntan y cambian de sitio, hay reacciones químicas en las cuales los átomos se pasan de una molécula a otra y el resultado cambia, combinamos cloro con sodio y tenemos sal, pero los átomos del cloro y del sodio siguen siendo los mismos. Sin embargo, los materiales pueden cambiar por las fuerzas de la naturaleza. A estos cambios se les denomina meteorización, que es el cambio físico, químico o biológico, pero que en los materiales de ingeniería se conocen como lesiones. A continuación, se hace un recuento de los más frecuentes.

3.3.1 Lesiones de origen mecánico

En la que el material presenta daños en su estructura cristalina, es decir, que se encuentra una discontinuidad en sus cadenas moleculares. En general, estas lesiones aparecen cuando el material es sometido a cambios de temperatura, que generan elongaciones o retracciones, y que el material por sí mismo no tiene la capacidad de consumir en su masa. Estos cambios volumétricos se concentran en puntos o fronteras y aparecen, por ejemplo, como fisuras en los concretos o en los metales, y en ocasiones como levantamientos del piso evidenciándose así los sitios de estos cambios de volumen.

3.3.2 Lesiones de origen químico

Los materiales que en su conformación molecular están sometidos a interacción con otros materiales que puedan generar intercambios electrónicos o iónicos, que pueden inducir discontinuidades en el material. Este tipo de lesiones se manifiestan en la superficie, con cambios de color o deterioro de los acabados, con levantamientos de la superficie o descascaramientos del material.

3.3.3 Lesiones de origen biológico

Estas lesiones son producidas a nivel microscópico en la mayoría de ocasiones por plantas y animales, cuando los materiales están expuestos a la humedad, combinada con la luz solar, que produce una proliferación de microorganismos organizados en colonias, que consumen el material base.

3.3.4 Patologías por humedad de la construcción

Cuando los materiales se encuentran expuestos a la acción del agua, la capilaridad puede hacer que esta fluya por el material o el elemento, generando diferencias de temperatura en el sitio de contacto entre el material y el agua. Estos gradientes de temperatura rompen el equilibrio desde la estructura cristalina e inician las discontinuidades por entre las cuales se mueve el agua, agravando el estado de los elementos, en otros casos se presentan procesos de condensación; que, al interactuar con los materiales químicos presentes en el aire o el gas contenido en su camino, causan cambios a nivel molecular en la estructura de los materiales que se refleja en fisuras, descascaramientos o crecimiento de hongos en superficie e inclusive en el interior de la estructura.

En los materiales que se encuentran en contacto con el suelo, es más evidente esta patología porque la humedad proveniente del suelo puede afectar el material, debido a la capilaridad de la masa de suelo. Por esto, en zonas de nivel freático fluctuante, se recomiendan capas rompedoras de capilaridad, elaboradas con material granular grueso, bajo las construcciones, para evitar el paso de agua por capilaridad.

3.4 PATOLOGÍAS EN MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

3.4.1 CONCRETO

3.4.1.1 Cuarteo superficial, microfisuras, fisuras y grietas:

Estas patologías se presentan generalmente por retracción térmica al momento del curado del concreto; sin embargo, pueden ser de origen físico por falta de soporte en la etapa temprana del curado del concreto. El fisuramiento por retracción se da por diferencia volumétrica del concreto; mientras que el agrietamiento, por asentamiento o pérdida de soporte. También, se presenta fisuración en los elementos horizontales como las vigas, que generalmente tienen dos apoyos, estas grietas se forman por los esfuerzos de flexión y son reflejadas en la superficie del elemento, donde los momentos flectores y las cortantes son mayores. Estas grietas pueden aparecer paralelas al esfuerzo de tensión. Puede pasar que la viga sea continua, empotrada o en voladizo, pero cuando las fuerzas generadas a tensión o flexión son mayores que las fuerzas resistentes, presentará esta indicación.

En las cubiertas de concreto, es muy usual encontrar grietas o fisuras, por exposición a la intemperie, empozamiento de agua o cambios de temperatura. En placas de concreto, se pueden presentar agrietamientos debido al cambio de temperatura, cuando se tiene un sistema de aire acondicionado al interior de la vivienda y que puede generar la producción de vapores por transpiración.

En los concretos se prestará atención a la formación de etringita, por exposición al sulfato en el interior del elemento. Este compuesto es muy expansivo y genera grandes presiones que causan fisuras al concreto. En los casos en que el concreto es pretensado o postensado, hace que la tensión en los cables cambie y se genere agrietamiento por la tensión excesiva en la masa de concreto. En todos los casos, es necesario conocer la curva de retracción del concreto para poder planear el momento en que haya que sellar las fisuras que se presenten. Los concretos con bajas especificaciones o concretos sin diseño de mezcla, tienden a presentar más casos de fisuramiento, debido al desbalance interno de materiales; por lo que es recomendable realizar un diseño de mezcla, de tal manera que se pueda dar una solución ajustada a la necesidad que se plantea resolver.

Cuando se observan grietas que se cruzan, se intuye que son por secado o por un evento sísmico, y tienden a ser paralelas cuando ocurre retracción plástica, flexión o por pandeo.

3.4.2 PAVIMENTO FLEXIBLE

El pavimento flexible es una mezcla de roca en trozos pequeños, con un material visco-elástico a modo de ligante de coloración oscura, constituido en su mayoría por betún natural o de refinación del petróleo. La reología de un asfalto se refiere a los cambios que tiene el material en sus propiedades cuando se somete a variaciones de presión, temperatura y tiempo. El asfalto es un sistema coloide complejo compuesto por hidrocarburos, denominado modelo micelar, con el cual se describe la estructura en una forma lógica, aquí se presentan dos fases, la discontinua de aromáticos constituida por un par asfaltenos y la continua o de maltenos, que está alrededor de los asfaltenos y los vuelve solubles. Los maltenos contienen resinas que son intermediarias dentro del asfalto, y vuelven homogéneos y compatibles a los asfaltenos que en sí son insolubles. Los maltenos y asfaltenos se encuentran flotantes en los aceites, que son los otros actores de esta mezcla.

3.4.2.1 Piel de cocodrilo:

Es una de las fallas más comunes en el pavimento flexible, son grietas interconectadas de forma irregular, aparecen en la superficie e inician desde la estructura inferior a la capa asfáltica, aquí el esfuerzo de tracción es mayor a causa de la carga repetitiva impuesta por el tráfico. Posibles causas: espesor insuficiente

de la carpeta asfáltica que no soporta suficientemente la carga, la rigidización de la carpeta asfáltica en la zona de carga por la oxidación o envejecimiento del asfalto, la solución para remediar esta falla es remover el pavimento dañado mediante un fresado de la carpeta de rodadura, luego se rectifica la nivelación y compactación de la base para hacer un riego de imprimación, enseguida se coloca la carpeta asfáltica sobre la zona de falla.

3.4.2.2 Grietas longitudinales y transversales:

la grieta es una separación en la superficie de un material e indica la presencia de tensión, que se produce debido a varios factores, entre ellos podrían citarse: el envejecimiento propio de la mezcla asfáltica, movimientos de las capas subyacentes de base, sub-base o inclusive la subrasante, falta de confinamiento a la mezcla y otras. La grieta da paso a la entrada del agua escorrentía, que paulatinamente permite que los finos de las capas granulares subyacentes, lentamente, se vayan perdiendo por el efecto de bombeo; es decir, que al pasar el vehículo genera un diferencial de presiones entre la superficie y las capas inferiores, se genera un flujo de agua con finos (el agua es bombeada por el paso de los vehículos), que llega a la superficie y puede ser identificado visualmente en la zona del agrietamiento.

3.4.2.3 Descascaramiento:

en esta patología, el material del pavimento se va perdiendo en forma de costras o trozos de carpeta de rodadura que se desprenden, su origen está en el momento del riego de liga. Cuando en este proceso no se controla la temperatura del material adhesivo ni la proporción en que debe aplicarse, esto genera una insuficiencia de adherencia, que, con el paso de las cargas vivas, permite la aparición de fisuras que contaminan el adhesivo, perdiendo así su función con la consecuente pérdida de la capa superior.

3.4.2.4 Asentamiento local:

durante la compactación de las capas de la estructura de pavimento, pueden presentarse lluvias de larga duración que aumentan la humedad del suelo, materiales contaminados y no homogéneos en las capas compactadas, materiales no competentes para la función de capa base o sub-base, contenido de materiales blandos en la estructura de la subrasante, etc. Estos eventos son precursores de los asentamientos de la superficie del pavimento, el mecanismo de daño en estas condiciones comienza con la acumulación de pequeñas deformaciones de carácter plástico en las capas de subrasante, sub-base y base, que son copiadas por la capa de rodadura del pavimento, presentándose como un hundimiento en la superficie.

3.4.2.5 Ahuellamiento:

es uno de los daños más usuales en el pavimento, se trata de una deformación permanente del pavimento, son evidenciadas por las franjas más frecuentadas por las llantas de los vehículos, la apariencia es de un hundimiento longitudinal. Este fenómeno es generado por los esfuerzos verticales impuestos por el tráfico, además, causan unas tensiones horizontales de compresión en la parte superior de la estructura del pavimento y de tensión en la parte inferior de la estructura. Estos esfuerzos dependen de varios factores, como lo son su magnitud, la geometría de la sección, la relación de Poisson, etc. La susceptibilidad de un pavimento al ahuellamiento se origina en varios factores como el tipo de asfalto utilizado para la mezcla, tamaño y forma de los agregados pétreos, así como la proporción de estos componentes en la mezcla final.

3.4.2.6 Pérdida de agregados:

este proceso es precedido por la baja adherencia asfalto-agregado; y, en ocasiones, por la calidad del asfalto o por incompatibilidad entre el agregado pétreo y el asfalto. El desprendimiento de los agregados de la matriz bituminosa, se presenta cuando la humedad llega hasta los contactos bitumen-agregado, generando cambios físico-químicos en los componentes de la mezcla, disminuyendo o inclusive anulando la adherencia en la frontera asfalto-agregado, que hace que se presente el desprendimiento del agregado debido a las cargas cíclicas de carga y descarga impuestas por el tránsito. Otra forma de perder agregados, se presenta cuando la matriz de betún, es atacada por los sulfatos, la temperatura y el agua, en pavimentos localizados en entornos marinos, donde la brisa del mar transporta sales que atacan al pavimento y es envejecido rápidamente por los sulfatos del ambiente marino combinados con la acción de los rayos ultravioleta. Esto produce un proceso denominado aparición de “Cabezas Duras”, en el que los pétreos de la superficie de rodadura, paulatinamente, pierden gránulos de asfalto envejecido hasta que se observan las gravas casi descubiertas y surcos en la superficie, que, con el tiempo y la carga del tránsito, se desprenden de la matriz.

3.4.2.7 Baja resistencia:

Esta patología se asocia principalmente con la composición del material asfáltico y los pétreos, que en este caso los preferidos para la mezcla son las calizas y las areniscas con alta resistencia a la compresión y un buen comportamiento al desgaste tanto mecánico como químico. Para la resistencia del pavimento, es importante el proceso constructivo de la carpeta, las condiciones climáticas durante el extendido y compactación, así como durante su etapa al servicio y para la comprobación de su resistencia, la muestra de pavimento se prueba mediante el ensayo Marshall, que permite medir la resistencia a la deformación

plástica, expresada como valores de estabilidad y flujo (INV E 748) y es aplicado a probetas cilíndricas de mezcla asfáltica. Estas probetas tienen diferentes contenidos de asfalto, que son llevadas a la prensa para ver la carga máxima resistida por la probeta en el momento de la rotura (estabilidad) y cuanto se han acercado las mordazas (flujo), pero la resistencia también dependerá de otro factor: la proporción real de asfalto en la mezcla, que en una buena parte de las patologías puede encontrarse excedida.

3.4.2.8 Meteorización o desgaste:

Con el tiempo, el asfalto tiende a endurecerse y perder su propiedad de ser un material resiliente, por lo que los agrietamientos y la pérdida de componentes de la mezcla, serán una consecuencia inmediata del proceso de envejecimiento del asfalto, a causa de su uso y a la exposición ambiental.

3.4.2.9 Tramos de contacto geológico:

Estos sitios son comunes en nuestra geología, dada la diversidad de estratos encontrados a lo largo de los proyectos viales y la topografía que varía desde lo plano, ondulado, montañoso y escarpado. Especialmente, en estas dos últimas zonas es frecuente encontrar plegamientos que contienen estratos de diferente naturaleza y de los cuales es posible decir que su dinámica es diferencial; es decir, que no se mueven de forma uniforme, por lo que los tramos de vía en estos sitios tienden a mostrar fracturamientos y asentamientos locales. En estos sitios, las vías generalmente no están pavimentadas, en cambio se prefiere colocar como capa de rodadura un pavimento de adoquines, que permite la remoción y rectificación de la capa base cuando el terreno ha sufrido movimientos. Esto mismo ocurre con los deslizamientos, los cuales pueden tener una actividad lenta, luego de su ocurrencia. Los tramos de vía colocados sobre coluviones que presentan estos asentamientos, se tratan de la misma manera con este tipo de pavimento.

3.4.3 LADRILLO

3.4.3.1 Baja resistencia:

Ocurre por la alta porosidad dentro de la pieza de ladrillo, sucede al momento del armado de la pieza de ladrillo en la que el agua del entorno penetra por capilaridad dentro del material, originando presiones internas que provocan la formación de poros, disminuyendo así su resistencia final.

3.4.3.2 Baja adherencia entre mortero y ladrillo:

Entre el ladrillo y el mortero, es deseable que estos dos elementos tengan características mecánicas similares, para favorecer que durante el tiempo de

curado se genere una estructura monolítica que refleje los principios del diseño. El ladrillo por ser un elemento poroso, puede absorber agua. Lo que disminuye la humedad de la pega y debilita la junta, presentando problemas de adhesión entre los materiales.

3.4.4 ACERO

Comienza con el hierro presente en las rocas, las cuales son explotadas en la cantera y llevadas a los hornos. El mineral de hierro es básicamente óxido de hierro; entonces, para obtener el acero, se debe romper esta molécula, la roca es derretida a 2000 °C, y luego es transportada y transformada en acero, al material aún líquido se le agregan virutas de metal para darle las propiedades solicitadas y se le agrega cal. Luego, se le agrega oxígeno en un chorro de aproximadamente dos veces la velocidad del sonido, esto hace que el carbón salga a flote junto con las impurezas que arrastra la cal hasta la superficie, a este material se le denomina escoria. En el siguiente proceso, con el acero, aun estando caliente, se procede a formar hilos, barras o placas.

3.4.4.1 Corrosión:

Para comprender el proceso de corrosión del acero, consideremos por ejemplo una barra de zinc introducida en una disolución de sulfato de cobre. En dicha disolución, tenemos el catión cobre 2+ que da el color azul a la disolución y la barra de zinc, a medida que pasa el tiempo se puede observar que la barra de zinc va recubriéndose de un depósito de color oscuro rojizo, mientras que el color azul de la disolución va desapareciendo. En primer lugar, el zinc está pasando a ser zinc 2+, es decir que está pasando a la disolución mientras que el cobre 2+ está pasando a cobre metálico.

En el caso del acero y en presencia de aire o agua, tendríamos como reacción anódica o de oxidación el paso de hierro a hierro 2+. Por otra parte, en un medio acuoso con oxígeno disuelto, la reacción que preferentemente tiene lugar es la reducción del oxígeno molecular a iones, que reaccionan con el hierro 2+ para formar un hidróxido de hierro, que por su excesiva y muy compleja oxidación, dan lugar a distintos óxidos hidratados que difieren en su color y aspecto, que es lo que normalmente denominamos ferrumen.

3.4.4.2 Agrietamiento de soldaduras:

Es muy importante tener en cuenta ciertos aspectos, como el alto contenido de carbono y elementos aleantes en el metal a soldar, la velocidad del enfriamiento de la soldadura, la captación de hidrógeno, el bajo punto de fusión de los

contaminantes en el metal base, las restricciones de la junta (es decir, el nivel de rigidez de la estructura), y por último el diseño de la junta que puede resultar inadecuado.

Los dos mecanismos importantes son la fisuración en frío (por hidrógeno). En esta, las fisuras aparecen en minutos, horas e incluso días después de terminada la soldadura, y se localizan en el metal base o cerca de él, y se inician por tres causas importantes:

- a) Porque existe una gran cantidad de hidrógeno difusible en el metal de soldadura, que puede venir del medio ambiente o la humedad, por lo que se recomienda hacer precalentamiento.
- b) Otra causa puede ser que provenga del material de aporte, en este caso se debe controlar su cantidad; también, puede ser una microestructura dura, superior a los 350 biker, por ejemplo una microestructura martensítica, es un material susceptible a fisuración.
- c) También, las tensiones mecánicas del metal, residuales o térmicas.

La fisuración en caliente (por licuación), ocurre a temperaturas elevadas de 80 % a 90 % de la temperatura de fusión o relacionadas con la solidificación, las causas más frecuentes son el contenido de elementos con bajo punto de fusión, como el fósforo (P) y el azufre (S) en aceros al carbono y de baja aleación, como en aceros inoxidables austeníticos y no ferrosos. La alta densidad de corriente de soldadura, el mal diseño de la junta y alto grado de rigidez de la unión, las altas velocidades y arcos largos, todos estos factores aumentan la fisuración en caliente.

3.4.4.3 Baja resistencia:

El acero generalmente utilizado para agregar resistencia ante los esfuerzos de tracción a una estructura, puede llegar a fallar por baja resistencia y, como se dijo anteriormente, durante los procesos de manufactura del acero pueden llegar a presentarse errores en la dosificación de materiales, de tal manera que el material obtenido no tenga la resistencia deseada. También, se debe observar la temperatura de funcionamiento del material, puesto que a altas temperaturas el material disminuirá su resistencia a la tensión y en bajas temperaturas tenderá a rigidizarse, por lo que la resistencia a los esfuerzos cortantes serán disminuidos. Otro aspecto para la baja resistencia de un conjunto de elementos de acero, puede provenir de los procesos de soldadura que pueden generar agrietamientos en el material, por donde fácilmente se pueden presentar concentraciones de esfuerzos que finalmente inicien una falla.

3.4.5 SUELOS

3.4.5.1 Erosión:

Este es uno de los mecanismos más comunes de desintegración del suelo, los granos del suelo son removidos por acción de la lluvia o el viento, y esto puede ser acelerado por diferentes causas, entre las cuales está el descuido de las áreas de suelo y los trabajos realizados por el hombre. Este proceso erosivo se inicia con la lluvia en la que el agua que corre por la superficie, también llamada agua escorrentía, arrastra partículas del suelo y, al ser un mecanismo constante en el tiempo, su resultado será una cárcava, que deja al descubierto, capas del mismo material compactado, desequilibrando las fuerzas resistentes en la parte baja de las laderas, lo que puede ocasionar deslizamientos.

3.4.5.2 Subsistencia:

Este es el proceso de hundimiento del terreno en forma masiva. Su causa principal es que los estratos subyacentes pierden soporte por causa de extracción de algún líquido contenido debajo, es el caso de agua bombeada desde los acuíferos, para el riego de cultivos, la extracción de petróleo y gas, la consolidación natural de capas arcillosas o su secado, el descongelamiento del contenido de agua, el aumento de la succión del agua contenida en el suelo, la construcción de túneles o su colapso, fallas tectónicas, presencia de materia orgánica o turbas que se descomponen. Este proceso se puede evidenciar por medio de monitoreos con nivel de precisión o fotogrametría. El reto entonces para los ingenieros en materia de geotecnia, es descifrar mediante estudios, cuál será el asentamiento máximo y el riesgo de subsidencia, para definir la conveniencia de la localización del proyecto.

3.4.5.3 Deslizamientos:

Los deslizamientos en las zonas tropicales, en su mayoría, están asociados a los eventos de precipitación, dado que una parte del agua lluvia se infiltra en el suelo y la otra parte corre sobre la superficie.

El agua de infiltración se convierte en un factor crítico para la ocurrencia de un deslizamiento, debido a que cambia el equilibrio de fuerzas actuantes y resistentes en el suelo, esto porque la presión de poro aumenta, haciendo que los esfuerzos totales aumenten también, así es como los esfuerzos cortantes en el plano de falla se vuelven insostenibles y se produce el deslizamiento, con diferencias entre el tiempo de ocurrencia de la lluvia y el deslizamiento. Pero, para poder describir los síntomas de la ocurrencia de un deslizamiento, se debe monitorear el sector de interés, ya sea con equipo de topografía ubicado preferiblemente en un macizo

rocoso, fuera de la zona de deslizamiento y con buena visibilidad, para realizar el monitoreo sobre puntos ubicados en ejes a lo largo del deslizamiento, de tal forma que se pueda elaborar una malla.

Estos monitoreos serán espaciados en el tiempo de acuerdo con la velocidad del movimiento. De manera que, se presentarán mensualmente, quincenalmente, semanalmente, cada tres días o inclusive a diario o de acuerdo con el criterio del ingeniero geotecnista, quien decidirá finalmente el intervalo de tiempo más acorde con el proceso de la posible falla. De esto, se podrán obtener aumentos en los reportes de movimiento, que alertarán de la presencia del deslizamiento, pero, también se deben hacer recorridos de inspección visual, en los que se reportarán, en la parte alta del sitio de falla, las fisuras o grietas, que generalmente se encuentran transversales a la dirección del movimiento, la pérdida de verticalidad de los árboles dentro de la masa que se mueve.

También, vale la pena mencionar aquí, la recomendación de usar elementos que permitan monitorear detalladamente cada proceso, por ejemplo barras que muestren la dilatación de una grieta, inclinómetros que muestren el progreso del movimiento y otros equipos, unos más sencillos que otros, pero todos con la misma finalidad.

3.4.5.4 Licuación o Licuefacción:

En el evento temporal en que un material generalmente granular saturado o parcialmente saturado experimenta un aumento en los esfuerzos totales, sucede un desequilibrio de fuerzas al interior de la estructura, que incrementa o disminuye su capacidad de resistir las fuerzas que pasan de partícula a partícula, es decir los esfuerzos efectivos, esto es por ejemplo en un sismo, el suelo granular se reorganiza tendiendo hacia una separación de las fases y se observa cómo el agua se posiciona en la parte superior del estrato, mientras que las partículas sólidas van hacia la parte baja, reorganizándose y reduciendo su relación de vacíos, a este proceso se le conoce como licuación.

Los suelos licuables se identifican, por su baja densidad, es decir aquellos que se hayan sedimentado rápidamente, también pueden ser aquellos terrenos que han sido depositados mecánicamente y en los cuales haya existido agua que hace que la relación de vacíos sea alta, otros pueden ser aquellos materiales que se han deslizado y han quedado con densidades muy bajas. Los materiales que han estado expuestos a intercambios químicos pueden presentar un estado suelto, donde hay alta temperatura con precipitaciones constantes y duraderas, pueden tener alto contenido de vacíos.

En un sismo que produce liberación de energía, una hinca de pilotes, la compactación del suelo por vibración, explosiones para realizar demoliciones o excavaciones, compactación del suelo licuable con explosivos en obras aledañas, son los eventos detonantes de los procesos de licuación del suelo.

En algunos suelos de arcilla, en la que la resistencia al corte no drenado del material intacto tiene una diferencia grande con el material remoldeado, ocurre un colapso interno de la estructura, por la lixiviación del agua salada, que se reemplaza por el agua lluvia y que hace que se pierda la cementación natural (sal y otros minerales), entonces desarrolla este tipo de patología, pero que realmente es una licuación del suelo, convirtiéndolo de un estado sólido a un estado fluido.

3.4.6 EDIFICACIONES

3.4.6.1 Asentamientos:

El asentamiento debe entenderse como una deformación del suelo, que genera desalineamientos tanto horizontales como verticales en la superficie, son la causa de agrietamientos y colapsos en las estructuras, estas deformaciones, son causadas por la carga impuesta al material, que al exceder el límite máximo de soporte del suelo induce cambios en la estructura y en comportamiento del suelo, reorganizando las partículas que en conjunto producen los asentamientos.

Ocurren entonces procesos de consolidación en la masa del suelo, que, distribuidos en el tiempo, pueden tomar desde meses hasta años, en una forma de asíntota, esto es, que en el comienzo es más rápida y con el tiempo se hace más lenta, hasta que el suelo llega otra vez al equilibrio y se estabiliza, esto sucede en suelos saturados en donde el flujo y la deformación varían en forma acoplada.

3.4.6.2 Agrietamiento:

Son discontinuidades que se presentan en pisos, paredes y techos, son roturas de los materiales o elementos de las construcciones y suceden principalmente por asentamientos diferenciales, es decir, que los movimientos de la estructura no son uniformes. En las vigas principalmente se presentan dos tipos de grietas, las inclinadas por el esfuerzo cortante en el alma y el agrietamiento de cortante por flexión. Puede pasar por ejemplo que en una de las esquinas de la construcción, se presenten estas grietas o fisuras y en el otro extremo no, entonces se sospecha que haya un asentamiento en el suelo bajo la esquina afectada y sucede como se mencionó anteriormente, porque los esfuerzos que impone la estructura sobre el suelo, sobrepasan su límite. También, pueden ocurrir estos agrietamientos por la retracción térmica de los materiales cuando se encuentran en su período de fraguado, en general, los cementicios o de diferenciales de temperatura en otro tipo de materiales, incluidos los metálicos.

3.4.6.3 *Humedad en paredes pisos y techos:*

Esta patología aparece por capilaridad, se observa por los cambios de color en la superficie del elemento, piso, techo o pared, esto por la ocurrencia de cambios de color generalmente a opaco, en los terminados superficiales. También, se presentan descascaramientos en los pañetes, estucos y pinturas, que indican esta patología.

Es necesario entonces ubicar la discontinuidad generadora de esta patología. En los techos, será pues una rotura en las láminas de tejado, que pueden inclusive llevar el agua lluvia al ladrillo de las paredes, que por su misma porosidad permitirá el flujo hacia debajo de la edificación.

Puede presentarse también la humedad en los pisos y proveniente del suelo de fundación, esto frecuentemente sucede por el aumento del nivel freático en las épocas lluviosas e inclusive por roturas en tuberías. Para la fundación de las estructuras, debe tenerse especial cuidado en revisar la capacidad de hinchamiento de los suelos de fundación en presencia de agua, puesto que los esfuerzos producidos pueden llegar a ser tan grandes, que se traducen en agrietamientos en la estructura e inclusive su colapso.

Durante la construcción, el especialista en geotecnia dará las recomendaciones pertinentes y realizará el diseño de filtros, para el abatimiento del nivel freático y el control de fugas de agua perjudiciales para la fundación, también es posible hacer reemplazos de suelo e inyección de materiales cementicios o compuestos, que permitan disminuir los factores causantes de la humedad y/o el hinchamiento del suelo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Avenida Restrepo, C. A., Londoño Echeverry, C. A., & Vela Rosero, M. A. (2007). Patologías por la humedad en los materiales para construcción. *Scientia Et Technica*, XIII (36), 343-347.
- Bridge Office, D. of T. LRFD Bridge Design Manual (2017). Minnesota, USA.
- Díaz Barreiro, P. (2014). Protocolo para los Estudios de Patología de la Construcción en Edificaciones de Concreto Reforzado en Colombia, 170.
- INVIAS, I. N. de V. Sección 100 - Suelos, 100 Especificaciones generales de construcción de carreteras y normas de ensayo para materiales de carreteras § (2012).

- MinTransporte, M. de T. Especificaciones generales de construcción de carreteras - Capítulo 4 - Pavimentos asfálticos, Pub. L. No. Artículo 400-13, 235 (2013). Colombia.
- MinTransporte, M. de T. Especificaciones generales de construcción de carreteras - Capítulo 5 - Pavimentos Concretos Hidráulicos (2013).
- MinTransporte, M. de T. Especificaciones generales de construcción de carreteras - Niveles de Tránsito (2013).
- MinTransporte, M. de T., & Invías, I. N. de V. Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras (2008).
- MinTransporte, M. de T., Invías, I. N. de V., AIS, A. C. de I. S., & AASHTO, L. 7a E. Norma Colombiana de diseño de puentes—LRFD—CCP14 (2014).
- MinTransporte, M. de T., Invias, I. N. de V., & UNAL, U. N. de C. (2006). Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles. Manual Para La Inspeccion Visual de Pavimentos Flexibles, 212(3456778), 70.
- MinVivienda, M. de V., & AIS, A. C. de I. S. NSR, Título C Concreto Estructural (2010). Colombia.
- Reyes Lizcano, F. A., Madrid Ahumada, M. F., & Salas Callejas, S. X. (2007). Mezclas asfálticas Mezclas asfálticas modificadas con un elastómero (caucho) y un plastómero (tiras de bolsas de leche con asfalto 80-100). *Infraestructura Vial*, (17), 25-34.
- Rivera Ortíz, P., Rivera Lárraga, J. E., Andrade Limas, E., De la Garza Requena, F., Castro Meza, B., & Belmonte Serrato, F. (2014). Medición de la erosión en cárcavas por medio de imágenes de satélite. *Terra Latinoamericana*, 32(1), 13–21.
- Santos Telles, T., Guimarães, M. de F., & Falci Dechen, S. C. (2011). The costs of soil erosion. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 35(2), 287-298.
- Tovar Rodríguez, J. A., & Bermúdez Castillo, O. T. (2015). *Evaluación del comportamiento de la adherencia y la cohesión del asfalto 60/70, modificado con diferentes relaciones atómicas de nanotubos sin purificar, en tres tipos de agregado usados en Bogotá*. Pontificia Universidad Javeriana.