

Las pruebas destructivas en los Ensayos de Materiales

Por RICARDO VALENCIA

La responsabilidad del ingeniero ha sido siempre motivo de preocupación, y gran parte de la actividad de su profesión se ha orientado hacia la investigación del grado de seguridad obtenible, por medio de los procedimientos de diseño y de ejecución cuya evolución constituye la ciencia del Ingeniero.

Ya han desaparecido sanciones tan drásticas como aquellas que implantó 23 siglos antes de Jesucristo, el rey sirio Khammurabi, uno de los primeros legisladores cuya obra nos haya sido transmitido, conforme a las cuales "si la casa se derrumba y mata al hijo del propietario, el hijo del arquitecto será ejecutado; si quien muere es la esposa del dueño, la esposa del arquitecto será la sacrificada; y si el mismo propietario muere, el arquitecto será ejecutado". Reglas como éstas no son hoy necesarias para obligar al profesional a agotar todos los recursos a su disposición, con el fin de garantizar la seguridad de las obras que ejecuta.

Desgraciadamente, otro factor tiende a forzarlo a utilizar al máximo las capacidades resistentes de los elementos que emplea la economía; y siendo antagónicas, en principio, las tendencias de estas necesidades, la primera de las cuales exige esfuerzos moderados, y por lo tanto abundancia de material resistente, y la otra, reducción al máximo de estos materiales, el ingeniero se ve obligado a buscar afanosamente el justo término entre ambas exigencias.

La incertidumbre de los resultados de los cálculos de resistencia, que se traduce en la adopción de preceptos complementarios, tales como el factor de seguridad, (que tiende a caer en desuso,

reemplazado por un concepto más técnico, aunque mas difícil de precisar cuantitativamente: la probabilidad de claudicación) exige un control experimental constante, tanto de los métodos de fabricación, como de los resultados finales.

De aquí que el ingenio del hombre ha desarrollado múltiples procesos para realizar estas verificaciones; y como los demás aspectos del progreso, ha evolucionado desde técnicas primitivas, hasta los modernos métodos de auscultación. En su principio, las pruebas eran tan draconianas como las leyes que sancionaban las responsabilidades: si un puente, cargado para la prueba, se derrumbaba, quedaba demostrada su insuficiencia, y eliminada la obra; pero en los tiempos modernos, la economía ya no permite prácticas de prueba destructiva, por lo menos para obras terminadas, y sobre todo si son de gran envergadura; en Ingeniería Mecánica, el método experimental, para productos de serie, se practica activamente: los carros automóbiles prototipos de algún nuevo modelo son sometidos a ensayos mas duros y severos que las condiciones que habrán de encontrar en su utilización, yendo a veces hasta la destrucción para descubrir aquellos puntos débiles que hayan escapado al diseñador.

Pero en general, hoy la técnica busca de remediar antes de que se haya producido el mal. Así, en los talleres de fabricación, tiende a eliminarse el calibre de límites, aquel aparato que tiene dos aberturas o medidas, una a la menor dimensión aceptable, y la otra a la mayor; toda pieza que no cabe en la segunda y huelga en la primera es eliminada; esto evita emplear piezas defectuosas pero tiene el inconveniente que permite la fabricación de éstas, con la consiguiente pérdida económica; por ello se tiende hoy a la fabricación controlada, durante el mismo proceso de fabricación, en que la elaboración prosigue hasta alcanzar una dimensión comprendida entre las tolerancias fijadas.

En construcción civil, también se ha seguido un proceso paralelo, en que los materiales y los elementos constitutivos de una construcción son probados, a medida de su ejecución, y este aspecto de la técnica, que hoy tiende a constituirse en una nueva especialización, ha echado mano de los recursos de la física, en sus ramas las mas diversas, para lograr sus fines. El problema de

conocer la resistencia de un elemento es sumamente complejo, pues no basta saber si resiste o no resiste, sino que debe determinarse el porque de sus debilidades o resistencia, para obviar, en forma racional y económica, a sus defectos; es preciso conocer en que forma las fuerzas interiores se distribuyen en el elemento, que clase de sollicitaciones engendran, las concentraciones eventuales de las mismas y las causas de éstas ;la ingeniosidad con la cual se han adaptado fenómenos físicos, para hacer visibles o perceptibles estos efectos comprueba una vez más la extraordinaria versatilidad de la inteligencia humana.

El análisis de tensiones, o sea la investigación de la naturaleza de los esfuerzos que se engendran en una pieza o sección de estructura puede realizarse por dos grupos de métodos: Directos, en que, por medida de las deformaciones se calculan las tensiones o esfuerzos interiores; e indirectos, basados en analogías físicas.

Entre los primeros, merecen ser citados: a) el método de birefringencia en el vidrio, que consiste en sellar en la superficie de un elemento de concreto una lámina de vidrio (recocido para eliminar sus tensiones interiores de enfriamiento); bajo la acción de los esfuerzos engendrados en el elemento de concreto, por las cargas que le son aplicadas, las deformaciones de este que son transmitidas al vidrio, causan tensiones que se pueden examinar por medio de un visor polarisante; se calculan las tensiones a base del número de líneas de interferencia, por unidad de longitud, normalmente a su dirección, con lo cual se conocen las características necesarias para el análisis de las fuerzas internas.

b) el método de los barnices vidriosos; Consiste en cubrir, la superficie del elemento, sea este madera, metal o concreto, con una laca sintética, antes de someter la pieza a esfuerzos conocidos; una vez seco el barniz, se prueba la pieza, produciéndose la fractura del barniz inextensible, según líneas normales a las tensiones, las que así quedan evidenciadas; un control con extensómetro, aparato que mide deformaciones muy pequeñas, permite calibrar la secuencia de rajaduras en función de la gradiente de tensiones, y apreciar cuantitativamente la intensidad de las fuerzas elásticas desarrolladas en la pieza.

c) la extensometría directa. La medida de las deformaciones es delicada, con aparatos mecánicos, y no se puede realizar en forma continua y múltiple sobre un elemento en curso de prueba, pues interesa conocer las deformaciones en varias direcciones, en puntos diversos; por ello se han inventado varios métodos que simplifican la obtención de estas medidas, en forma automática, y permiten su registro continuado, para una serie de puntos y direcciones. Uno de los más ingeniosos, es el que se base en el alargamiento de un conductor adherido a la superficie del elemento en prueba y en la variación correlativa de la resistencia eléctrica de dicho conductor, en función de dicho alargamiento. Un tipo de estos extensómetros está simplemente constituido por dos hojas de papel, de unos pocos centímetros cuadrados de superficie, entre los cuales un alambre está pegado, formando varios tramos paralelos conectados en serie; el conjunto se pega, como una estampilla, en la superficie de la pieza por probarse, y basta conectar los extremos a un amplificador electrónico, conjugado con un registrador, para lograr una curva de deformaciones en función de tensiones. Dispositivos como éste, pegados en los esqueletos y láminas resistentes de alas y fuselajes de aviones, en carrocerías resistentes de autos, en las superficies de bóvedas delgadas, permiten conocer en detalle el régimen de distribución de tensiones, para las varias intensidades de éstas, llegando, si es necesario hasta la destrucción, cosa que no sería prácticamente posible con los extensómetros mecánicos.

Las tensiones en el interior de macizos importantes, tales como las grandes represas, se pueden determinar, en forma continua, con la represa en funcionamiento, y aún antes, durante la construcción, por medio de extensómetros basados en la variación del periodo propio de vibración de un alambre, en función de su tensión longitudinal. Cada extensómetro de este tipo está constituido por un tubo metálico cerrado-herméticamente, dentro del cual se ha templado, una tensión determinada, un alambre de acero. El tubo contiene, además, un electro-imán conectado al exterior, por medio de dos alambres. Se colocan en general tres de estos tubos combinados, según las aristas de un triedro rectángulo, para obtener tensiones tridimensionales, en cada punto. Para efec-

tuar una medida, se lanza una corriente alterna en el circuito, para poner en vibración el alambre; al cortarse la corriente, el alambre sigue vibrando, un corto tiempo, con la frecuencia correspondiente a su tensión la que podría haber variado, con las deformaciones experimentadas por el macizo de concreto. La frecuencia de estas vibraciones es captada por el electro-imán del tuvo extensométrico, y transmitidas a un registrador, pudiéndose así conocer en cualquier momento las deformaciones y estado de sollicitación elástico en todas las direcciones en aquellos puntos de la represa en que se han ubicado estos aparatos.

Otro método, que requiere equipo muy costoso, y solo es aplicable a piezas mecánicas de tamaño reducido es el de mediciones extensométricas por difracción de rayos X; consiste en medir la variación de distancia entre las figuras de interferencia obtenidas cuando un haz de rayos X atraviesa una lámina cristalina, metálica, por ejemplo; toda diferencia en la ordenada distribución de estas figuras resulta de un estado de tensión interna, y el método permite apreciar tensiones concentradas sobre zonas muy pequeñas, algunas veces peligrosas.

Entre los métodos directos, algunos tienen por objeto verificar la homogeneidad de las piezas, condición necesaria para que los esfuerzos se distribuyan en forma uniforme y sin discontinuidades marcadas en el interior de los elementos resistentes; esta determinación es necesaria, en vista de que muchos métodos tecnológicos modernos se basan en la elaboración de partes separadas que luego son reunidas, por soldadura, en una sola pieza; mientras que otros, incluyendo los procesos de forjado en caliente y en frío, de moldeado a presión y de estampado, someten la materia, en curso de elaboración, a esfuerzos que pueden determinar degarraduras locales internas o faltas de continuidad.

Los rayos X ultrapenetrantes, y los rayos gamma generales por procesos radioactivos, fácilmente obtenibles, hoy, por medio de los radio-isótopos principalmente del cobalto, permiten examinar las soldaduras y zonas de fuerte deformación de las materias elaboradas y constatar su continuidad, o delatar velocidad de propagación del sonido. Este método es aplicable a elementos pe-

queños y a grandes macizos tales como represas; se le ha utilizado para auscultar canteras, con buen éxito.

Todos los métodos citados son muy superiores, en cuanto a campo de aplicación y valor de las indicaciones obtenidas, a los clásicos procedimientos de prueba de alargamiento en máquina de resistencia, o determinación de dureza superficial por ensayo Brinnell o similar; estos últimos quedan ya relegados a su campo propio, de investigación de laboratorio, o de control de procesos de endurecimiento superficial.

Los métodos indirectos se basan en el estudio, en laboratorio, de fenómenos que obedecen a las mismas ecuaciones diferenciales que los de los elementos que se investigan.

El más antiguo de estos procedimientos es el de la fotoelasticimetría, que consiste en estudiar entre polarizador y analizador, un modelo transparente e isótropo de la estructura que se desea investigar; al someter el modelo a solicitaciones similares a las del elemento, se producen fajas de interferencia que localizan las líneas de tensión y permiten determinar si la forma de la estructura es conveniente o requiere modificaciones.

Otro es el de cubetas de similitud eléctrica, que consiste en determinar las líneas equipotenciales, y por lo tanto las líneas de tensión que son perpendiculares a las primeras), por medio de cubetas de la forma del elemento en estudio, en las cuales se hace pasar, a través de un electrolito una corriente, un circuito en paralelo, completan un puente de Wheatstone a que se reduce el dispositivo. Este método ha sido empleado desde hace algún tiempo en hidrodinámica y aerodinámica, y solo recientemente ha sido extendida a la elasticidad de sólidos.

Los fenómenos de torsión se pueden estudiar por su analogía con una membrana sometida a cargas normales a su superficie.

No es posible hacer una enumeración completa de estos métodos, pues constantemente son propuestos otros o interesantes variantes de los existentes; pero su característica general está en que proporcionan la información deseada sin destrucción de la pieza investigada; sobre todo en los métodos directos, es factible, en muchos casos obtener datos durante el mismo proceso de construcción, y remediar los defectos que estos puedan señalar.

Otra aplicación de estos modernos sistemas de auscultación es la evaluación de los desperfectos sufridos por construcciones. Así en ingeniería sísmica, se puede apreciar el daño sufrido por una estructura, por efecto de un terremoto, si previamente se ha hecho la determinación de su período propio de oscilación por medio de un acelerómetro; otra medida, efectuada después de cada sismo permitirá apreciar, por el alargamiento del período propio, la magnitud de las lesiones.

Una conclusión general que resulta de la evolución de los métodos de estudio del comportamiento elástico de las estructuras y de su seguridad, es que cada día es más importante para los ingenieros, en cualquier especialidad, un amplio conocimiento de la Física moderna, en todas sus ramas ;solo así un profesional, podrá elegir competentemente, dentro de la multitud de procedimientos que la técnica le ofrece, el que mejor responda a la finalidad que se propone; y aunque, en general, la aplicación de estos métodos requiere el concurso de técnicos especializados, las posibilidades de utilización deben ser determinadas por el ingeniero, y nó por el operador.

Es necesario pues intensificar la enseñanza de la física, para los ingenieros, incluyéndose nociones de electrónica y física atómica, para que las actuales promociones puedan mantenerse al ritmo del progreso técnico universal.