

## SOFTWARE DE ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL

## Una Visión Personal

El enorme impacto de la tecnología en todas las áreas productivas y domésticas tiene, simultáneamente, efectos positivos y negativos. Lamentablemente, no siempre los primeros superan a los segundos. Esta suerte de Mister Hyde y Doctor Jekyll se encuentra también en el oxígeno, vital para nuestra existencia y responsable a la vez de la oxidación celular, causante del envejecimiento y de la muerte. Afortunadamente, la Bioquímica ha encontrado en los antioxidantes un aliado, cuyo uso habitual retarda el envejecimiento y mejora la calidad de vida.

La excelencia de un proyecto de ingeniería estructural, como la de muchas otras áreas de trabajo, está limitada por la capacidad neta del equipo profesional, resultante de la resta entre sus fortalezas y debilidades. De esta simple ecuación se deduce la importancia de medir uno y otro factor, especialmente en lo relativo al software de análisis y diseño, que de manera significativa aporta a las fortalezas, pero, al igual que el oxígeno en la vida, también está presente en las debilidades.

Los ingenieros estructurales formados con anterioridad a 1950 disponían de muy limitados elementos de apoyo en su trabajo. Ello estimuló el desarrollo de métodos gráficos y numéricos, entre otros, privilegiándose a aquellos considerados confiables y útiles para visualizar físicamente los resultados. A modo de ejemplo, es interesante describir la forma en que el profesor Rodrigo Flores enseñaba el método de Cross, trayendo a sus clases una maqueta muy flexible de una viga continua, que en sus apoyos disponía de implementos para impedir el giro. Se fijaban todos los apoyos y se aplicaba la totalidad de la carga, para luego, en forma arbitraria, liberar la fijación al giro de un apoyo cualesquiera y volverlo a fijar al cabo de un instante. Se apreciaba la variación de la configuración deformada de la viga, que provocaba la correspondiente redistribución de esfuerzos. El proceso se repetía con otro apoyo y así, sucesivamente, hasta que las nuevas liberaciones eran prácticamente imperceptibles, señal evidente de que se

Tomás Guendelman Bedrack<sup>1</sup>

“El software de análisis y diseño, que de manera significativa aporta a las fortalezas, también está presente en las debilidades”

había alcanzado la convergencia y que el problema estaba resuelto. Pasar de este experimento a la teoría era un mero trámite; el problema conceptual había quedado indeleblemente grabado en la mente de los estudiantes.

La inercia metodológica «precomputacional» se hizo notar a mediados de los '60, cuando la computación digital ya era una herramienta disponible. Los primeros programas de análisis resolvían problemas hiperestáticos mediante el método de Cross, hecho que pareció insólito - y en verdad lo era - a quienes advirtieron la necesidad de entronizar el álgebra matricial en los programas. Se dijo que el desarrollo de la computación digital tenía que cambiar el paradigma existente, pues el propósito de acelerar los cálculos numéricos, sin alzar las hipótesis simplificadoras, resultaba insuficiente. Ahora quedaban a disposición de la comunidad profesional, sin mayores complicaciones, soluciones de mayor precisión, pero que, simultáneamente, empezaban ya a ocultar la visión del problema físico.

La capacidad de almacenamiento de aquellos primeros equipos era muy escasa, lo que hizo que muchos jóvenes de la época se transformaran en verdaderos «malabaristas» de los bytes, creando estructuras de overlay, almacenamientos temporales e innumerables alardes de ingenio que, en equipos comparables a modestas calculadoras programables de bolsillo de estos días, lograban realizar el análisis sísmico de edificios de 20 pisos. Los resultados eran observados cuidadosamente por el ingeniero experimentado quien, en forma rápida y certera, identificaba aquellos que le parecían sospechosos o que le producían desconfianza, contribuyendo así a salvar la coyuntura y a depurar el software.

Debido al extraordinario avance de la microelectrónica en los últimos 30 años, se produjo un explosivo efecto en la computación digital. De los grandes equipos de la así llamada «tercera generación» se pasó a los «minicomputadores», luego a los «microcomputadores», para llegar a los tiempos

actuales, en que apelativos y nombres apropiados parecieran haberse agotado. Por el valor que tenía una hora de uso de un computador en 1970, se adquiere hoy un equipo completo, que cabe en un metro cuadrado, que pesa algunos pocos kilos y que tiene una capacidad de almacenamiento y una velocidad de proceso miles de veces superior a su antecesor. Estas características han activado similar desarrollo en los productos de software, privado y comercial, que realizan el análisis de estructuras con decenas de miles de incógnitas, para solicitaciones dinámicas, que consideran el comportamiento no lineal de los materiales, la interacción con el suelo de fundación, el efecto de los cambios geométricos en el planteamiento de las condiciones de equilibrio, y muchas otras facilidades largas de enumerar.

En este extraordinario escenario, lleno de fortalezas, es muy importante cuidar de las debilidades, que no sólo pueden restar a las primeras, sino anularlas completamente. De no ser así, daría lo mismo que el cálculo estructural lo realizara un ingeniero con años de oficio en la disciplina, un estudiante recién egresado, sin experiencia, pero con habilidades computacionales, o un simple aficionado, que no teme bajar cualquier

“Sería absurdo prescindir de software especializado. También lo sería, suponer que es garante exclusivo de la excelencia de un proyecto”

programa por Internet y hacerlo funcionar. Este hecho es destacado por el Doctor Edward Wilson, creador de los productos de software estructural de mayor utilización mundial, quien reflexiona respecto de la ingeniería estructural moderna, señalando en su libro «Three Dimensional Static and Dynamic Analysis of Structures» que: (1) «no use un programa de análisis estructural a menos que comprenda plenamente la teoría y las aproximaciones en que se funda», y (2) «no construya un modelo computacional hasta que las cargas, las propiedades de los materiales y las condiciones de borde estén claramente definidas».

La construcción de modelos matemáticos y sus datos asociados requieren experiencia y sólidos conocimientos de mecánica estructural. Muy pocas veces se cuenta con estructuras constituidas por elementos esbeltos que, en sí mismos, son como una fotografía del modelo. Lo corriente es encontrar machones, muros, dinteles cortos, singularidades, perforaciones, cambios de plomo, apoyos deformables, diafragmas flexibles, entre muchos otros elementos y condiciones que introducen un alto nivel de complejidad al problema. Tampoco se trata de construir el más sofisticado de los modelos, involucrando un número tan elevado de incógnitas que, junto con hacer perder visibilidad al fenómeno, pudieran producir resultados erróneos por el simple efecto de ecuaciones mal condicionadas o por arrastre debido a redondeo. Un buen modelo es aquel que tiene la complejidad necesaria para que queden debidamente reflejadas las particularidades de la estructura, y la simpleza para garantizar buenos resultados.

Así como resultaría absurdo pensar siquiera que, para el análisis y el diseño de las complejas estructuras que se construyen en estos días, se pudiera prescindir del apoyo de software especializado, de alta calidad y confiabilidad, sería igualmente impensable que este software se constituyera en el garante exclusivo de la excelencia del proyecto. La madurez conceptual de quien domina profundamente un tema, le permite intuir resultados sin necesidad de entrar en el detalle minucioso de los cálculos. Por ejemplo, se dice que cuando el Doctor Housner concluyó su primer estudio de la amplificación dinámica de la torsión en planta en edificios, asignó el desarrollo formal de la teoría a uno de sus estudiantes de doctorado. La anécdota cuenta que, al cabo de un tiempo, con

“La madurez conceptual permite intuir resultados, sin necesidad de entrar en el detalle minucioso de los cálculos”

resultados en la mano, el estudiante le manifestó:

-Doctor, es curioso que en su trabajo se hayan deslizado tanto errores tipográficos y que al final, las ecuaciones y resultados sean correctos.

Housner respondió:

-El trabajo tipográfico es fiel a mi manuscrito. El problema es que yo soy malo para las matemáticas, pero conozco anticipadamente los resultados que debo obtener.

La interacción cercana entre estudiantes y colaboradores con sus «maestros», se traduce inexorablemente en la creación de «discípulos», los que con el tiempo alcanzarán autonomía y pasarán a ser «maestros» de nuevos «discípulos». Esta dinámica elemental constituye el «antioxidante» que se requiere para que la innovación tecnológica y la experiencia acumulada se conjuguen simultáneamente, en beneficio de la calidad de un proyecto.

1 Profesor Titular de la Universidad de Chile y de la Universidad de Santiago de Chile  
Past President de la Asociación Chilena de Sismología e Ingeniería Antisísmica (ACHISINA)  
Presidente de I.E.C. Ingeniería S.A.