

# Ratkar

La palabra que da el título a esta columna parece sacada de un diccionario turco. Parece, pero no lo es. A esta altura de mi vida profesional, cuando ya he sido investido como “Saurio”, en relación obvia al simil con los primeros animales que poblaron la tierra, me puedo dar el lujo –entre muchos otros– de inventar palabras a mi reverendo antojo. Por supuesto que la trascendencia que cada una de ellas alcance en el uso cotidiano no está asegurada, ni tampoco pretendo que la esté. Simplemente, la uso con fines íntimos porque resume, cual ícono, lo que he hecho durante 50 años de vida profesional: resolver problemas de análisis estructural utilizando modelos tan simples como sea posible, pero midiendo el grado de precisión que proporcionan.

En un principio me pareció que el nombre de esta columna debía ser **“cuando basta con saber sólo un poco más”**, pero la relatividad de “un poco más” no identifica respecto de qué se mide. Esto podría ser ofensivo para quienes saben mucho, e intrascendente para quienes saben poco, aunque ellos mismos no sepan que no saben. El ícono **“Ratkar”**, como lo explicaré luego, me pareció mucho más asertivo para los propósitos que persigo en esta ocasión.

El análisis estructural, así como cualquier formulación teórica de un problema lógico-científico, se apoya en principios fundamentales. Sin embargo, la aplicación rigurosa de dichos fundamentos conduce, generalmente, a modelos complejos, de alta no linealidad, que sólo pueden resolverse mediante técnicas numéricas.

Los análisis numéricos dependen necesariamente de la magnitud de los intervalos de integración, lo que no garantiza por sí solo haber alcanzado la precisión necesaria. Deberá verificarse, en cada caso, los efectos de variaciones de los intervalos y observar si se ha alcanzado un adecuado nivel de convergencia.

Como es fácil comprender, la convergencia no se puede apreciar con un par de soluciones, siendo necesario realizar no menos de cuatro o cinco iteraciones; pero por si ello fuera poco, en la medida en que vayamos reduciendo la magnitud del intervalo, empezaremos a caer en un problema de inestabilidad numérica o, incluso, en resultados erráticos, inexplicables para nuestro sentido común, que se inscriben en el terreno de la **“Criticalidad Auto Organizada (CAO)”**, como muy bien lo describe la literatura sobre esa materia.

El otro camino consiste en introducir simplificaciones basadas en hipótesis razonables, con las que el endemoniado problema no lineal se lineariza; las expresiones se pueden organizar en forma de sistemas de ecuaciones y las soluciones son únicas. Sólo resta comprobar que los resultados sean consistentes con las hipótesis iniciales. Por ejemplo, en el caso del análisis estructural, una de ellas señala que los desplazamientos son pequeños, lo que se traduce en que las ecuaciones de equilibrio se pueden plantear suponiendo que la posición deformada de la estructura coincide razonablemente con su posición

original, no deformada. Una vez resuelto el problema lineal y determinados los desplazamientos, debe estudiarse el equilibrio entre fuerzas externas y esfuerzos internos en la posición deformada, determinando la cuantía de las fuerzas necesarias para restituir el equilibrio. El juicio sobre la magnitud de estas fuerzas nos indicará si hemos tenido éxito con las simplificaciones introducidas, o si es necesario realizar un segundo análisis correctivo, con la estructura en la posición deformada y solicitada solamente con las fuerzas de desbalance. Este proceso se repite en forma sucesiva a partir de las posiciones deformadas acumuladas hasta el ciclo anterior, lo que requiere, por lo general, de no más de cuatro o cinco etapas.

**La palabra resume lo que he hecho durante 50 años de vida profesional: resolver problemas de análisis estructural utilizando modelos tan simples como sea posible, pero midiendo el grado de precisión que proporcionan.**

También es posible resolver el problema mediante una sucesión de estados lineales, mediante la división de las solicitaciones por un número elevado –digamos 100, por ejemplo–. Un centésimo de la carga aplicada producirá pequeños desplazamientos de la estructura, por lo que se puede admitir, para esa mínima solicitación, que el modelo sea linealmente elástico, situado en su posición original (no deformada). A esta primera etapa sigue una segunda, en la que se rectifica la



geometría de la estructura, agregando a las coordenadas de nudos los respectivos desplazamientos obtenidos en esta etapa. Se aplica a continuación el segundo centésimo de carga, se rectifica la geometría de nudos y se acepta que, en estas nuevas condiciones, el modelo vuelva a ser linealmente elástico, aunque distinto al de la etapa anterior. Se continúa con los restantes centésimos de carga, con las mismas hipótesis, hasta alcanzar los 100 ciclos.

Todo parece muy exagerado, pero hemos resuelto un problema no lineal complejo, mediante soluciones parciales de modelos lineales mucho más simples.

Como el indicado, existe una amplísima gama de otros problemas de interés e importancia que siguen un patrón de solución similar, pero mi interés, en esta columna, no consiste en escribir un *paper* sobre el tema, sino en ilustrar cómo las herramientas de la simpleza son extensivas a problemas complejos.

Ahora creo que llegó el momento de explicar la palabra "Ratkar".

Todo ocurrió en forma casual. Mis primeros aprendizajes de análisis estructural, y luego mis primeras clases como profesor, me hicieron ver que los problemas eran complicados y que debíamos introducir simplificaciones para intentar resolverlos. Estas simplificaciones se introducen en las ecuaciones fundamentales del problema: constitutividad, compatibilidad geométrica y equilibrio.

**1. Materiales homogéneos, isotrópicos y linealmente elásticos:**  $\sigma = k\varepsilon$

**2. Compatibilidad entre desplazamientos y deformaciones:**  $\varepsilon = ar$

**3. Equilibrio en posición no deformada (pequeñas deformaciones):**  $R = a'\sigma$

**Me puedo dar el lujo de inventar palabras a mi reverendo antojo. La trascendencia que cada una de ellas alcance en el uso cotidiano no está asegurada, ni tampoco pretendo que la esté.**

en que  $\sigma$  representa al conjunto de esfuerzos internos en la estructura;  $\varepsilon$  a las respectivas deformaciones;  $k$  a las leyes constitutivas del material;  $r$  a los desplazamientos nodales y  $R$  a las sollicitaciones externas nodales. Las únicas incógnitas son las componentes de  $r$ , de modo que al combinar las tres ecuaciones anteriores, se llega a la formulación de un modelo lineal representado por:

$$R = a'kar$$

lo que conforma un sistema de ecuaciones que se puede resolver fácilmente y que tiene una solución única.

Cuando en 1967 preparé mis primeros apuntes para distribuir entre mis alumnos, usando una de las primeras versiones de procesadores de textos, desaparecieron los espacios, el signo igual y el superíndice "t" en la ecuación, quedando esta como "Ratkar". Debo confesar que en ese momento consideré que sería una vergüenza presentar apuntes poco cuidadosos y me esmeré por buscar una solución al problema tipográfico.

Ahora que ya soy viejo, no me da vergüenza. Por el contrario, creo que el paso del tiempo va dejando de lado el pudor absurdo que tenemos en la juventud y podemos descubrir nuestra cara oculta, mostrando que, incluso en la imperfección, se encuentran elementos pedagógicos tanto o más meritorios que los immaculados. Espero que este sea el caso.

Deseo terminar este artículo narrando una experiencia real que me fue transmitida por un amigo, contador auditor de una importante compañía industrial. Me señalaba que, a poco de ingresar a la empresa, se rendía un homenaje de despedida a un funcionario que luego de treinta años de servicio, iniciados con un cargo de ayudante de contabilidad, había escalado hasta la posición de gerente general. Se leyeron discursos muy halagadores, hasta que de pronto, uno de sus subalternos más cercanos le preguntó:

- Don José, ahora que se retira de la empresa, ¿podría decirnos qué secreto guardaba en el primer cajón, a la derecha, en su escritorio, y que consultaba por varios minutos antes de darnos respuesta a la pregunta que le formulábamos?
- Por supuesto, Hernán. En el cajón que usted indica tenía un "torpedo" que decía: "El Debe va a la izquierda".