

Trabajo para ser presentado al Congreso de Investigación y Creación Intelectual de la Unimet 2011.

Por Mario Paparoni M.

Profesor Titular del Departamento de Ciencias y Técnicas de la Construcción,
Universidad Metropolitana, Caracas, Venezuela.

Un Viaje mental de un Ingeniero Estructural en busca de las Bases Matemáticas de su Oficio

Premisas: El Presente artículo se basa en el estudio de dos libros de Matemáticas que fueron escritos para explicar muchas de las cosas matemáticas que los ingenieros estructurales manejamos cotidianamente, pero en la mayoría de las veces contentándonos únicamente con sus reglas de aplicación, las cuales seguimos disciplinadamente, pero muchas veces, por no decir siempre, sin saber qué significan.

Esto es típico de la Tecnología Moderna, los progresos tecnológicos abundantes y rápidos nos avasallan de tal manera que no nos detenemos a pensar en lo que es, después de todo, el conjunto de las ciencias básicas que debemos manejar en el día a día y que dejamos detrás, quizá pensando en los magros logros que erróneamente pensamos se obtienen de las mismas sólo para actuar, pero muchas veces sin el pensar en los por qué.

No nos detendremos sino en sólo dos textos que son ya clásicos de la Matemática Aplicada. Ellos son: "Linear Algebra and Projective Geometry", de Reinhold Bauer, Dover Publications, Inc. Mineola New York, 2005, y "Applied Analysis" de Cornelius Lanczos, de la Misma editorial, 1988.

Una calmada lectura y bastante pensar sobre los mismos, en un lugar lejano y tranquilo, en Africa del Sur, nos permitió aclarar y entender muchas cosas del quehacer diario de un Estructuralista, que sólo conocíamos como algo con lo cual operamos y obtenemos resultados, a veces viéndolo como algo muy complejo y con pocas reglas de visión global. Aquí van esos pensamientos, que creemos serán útiles para muchos, pues la Matemática es, como dijo una vez Félix Klein, "La Búsqueda de Patrones". Los Patrones son condensadores de la Información, y por tanto reductores de Entropía y herramientas docentes.

Deducciones: Estas notas están destinadas a revelar el contenido geométrico de las disciplinas estructurales, al comparar las operaciones del Álgebra Lineal, nuestros instrumentos de mayor uso actual en nuestro campo, utilizadas en el Análisis Estructural, y fundamentalmente en los sistemas de ecuaciones lineales de enorme tamaño, sólo dominables por las nuevas herramientas de computación, a través de operaciones con Matrices o con algoritmos optimizados.

Muchos de estos contenidos han sido conocidos desde mediados o finales del siglo XIX (Cayley y Sylvester, y otros que no suelen nombrarse). Otros han sido readaptados a las realidades modernas, tales como la capacidad, que aunque bien grande es finita, de modelar abundantes

poblaciones de Estructuras virtuales, revelándonos de este modo sus propiedades como Sistemas, debiendo decir que normalmente esto no se hace o puede ser hecho por proyectistas presionados por los tiempos de entrega, *sino que debe ser hecho con calma, paciencia y perseverancia en los temas buscados, dentro de nuestras universidades*. Esto es posible hacerlo, y el autor lo ha hecho por espacio de dos décadas, a través de los que fueron llamados “Trabajos Especiales de Grado”, vistos por muchos como carentes del pedigree que dan las Tesis de Maestría o Doctorado, donde la originalidad metodológica y formal priva sobre la pertinencia y la utilidad. En muy buena parte de esos 20 años no se percibió el que prácticamente todas las relaciones o patrones de identidad entre el Álgebra y las geometrías Afin, Proyectiva y Perspectiva, *cuyas transformaciones respectivamente deforman, cambian o codifican la información*, lo cual es aplicado en abundancia en lo que hoy llamamos Diseño Gráfico, o bien escenografías digitales que permiten soltar la fantasía. Todo ello aplicando relaciones lineales o semilineales. Los Estructuristas casi siempre nos conformamos con relaciones estrictamente lineales, es decir, con transformaciones Afines. Esas transformaciones puramente Algebraicas son, literalmente invisibles, es decir no generables en nuestra mentes a través de imaginarios cerebrales.

Una prueba de hay patrones geométricos que aparecen dentro del Análisis Estructural es la constante aparición de Formas Cuadráticas, tales como Círculos, Elipses, Parábolas, Hipérbolas, además de las Conicodes (formas cuadráticas tridimensionales), algunas veces aparecen cuárticas, como es el caso de los “frijoles de Booth” que revelan esa unidad conceptual.

Puede afirmarse, si embargo, que nuestros procedimientos puramente lineales limitan el campo de las estructuras estables puramente al de las Transformaciones Afines. Las otras dos sólo ahora podrían aparecer, al querer analizar inestabilidades de diverso tipo. No serían entonces relaciones puramente lineales.

Puede entonces uno preguntarse ¿Para qué sirve todo esto?, la respuesta es muy sencilla, el reducir la cuantía de las informaciones que debemos manejar en nuestra profesión y el poder prever hacia dónde debemos ir para simplificar u optimizar nuestro trabajo. Ello se logra buscando las relaciones sistémicas, lo cual no solemos hacer, y de allí el nombre de las materias que dictamos “Análisis Estructural” I,II,III,IV, etc., donde aprendemos a despedazar los sistemas estructurales para poderlos diseñar, parte por parte, en lugar de entrarle al todo., que en general termina siendo más fácil y rápido.

Conclusiones derivables del análisis de la bibliografía consultada:

1) En una estructura de conducta lineal (Hookeana), existe siempre una relación de afinidad entre una cierta función de sollicitación y una cierta función de respuesta. Cuando la figura resultante es cerrada (una elipse, p. ej.) es cuando admitimos que la estructura es estable, cuando es abierta, por ejemplo parábolas o hipérbolas, la estructura es metastable o inestable. Esto quedó

claramente mostrado en un trabajo publicado en la revista Tekhné 2000, por M. Paparoni y P. Hummelgens (ambos de la UNIMET), El trabajo se refería a las propiedades torsionales de una planta de edificios.

2) El trabajo de M. Paparoni y D. Chacón. (ambos de la UNIMET), publicado en los Proceedings del XXII wcee (congreso mundial de ingeniería sísmica) lo comprobó para las elipses de Momentos locales de columnas, al aplicar cargas horizontales con un patrón elíptico, como lo define la norma con ocho puntos [también interpretado de otras formas] (Las combinaciones de carga están dentro de una elipse). En otro TEG de grado (Müller y Sáenz, 2009, TEG UNIMET) se reconfirma lo ya encontrado en trabajos anteriores, las fuerzas axiales forman como su lugar geométrico círculos o elipses (Cónicas).

No debemos olvidar que todo el Análisis Matricial de Estructuras consiste simplemente en el planteamiento de una serie de ecuaciones lineales, cuyas matrices son reales, cuadradas y simétricas y cuyos términos diagonales son dominantes. Los problemas de los programas comerciales que existen con tales análisis son muy particulares, se refieren a cómo resolver eficientemente ese sistema, qué precisiones se necesitan, y como se presentan, al final, los resultados en una forma coherente y eficiente.

Es por ello que cualquier intento, como el de los libros que mencionamos, destinado a encontrar relaciones entre ecuaciones lineales y geometría, vale también para los Análisis Estructurales.

Debemos mencionar que los intentos de hacer análisis no-lineales de estructuras son laboriosos, de difícil implementación y poco conocidos por el medio profesional, para poder utilizarlos masivamente. Ambos libros nos previenen sobre el hecho de que no podemos estar tan seguros al tratar de postular que otras transformaciones clásicas puramente geométricas como las Proyectividades y las Perspectividades arrojen resultados análogos a los que ya tenemos con las Afinidades.

No podemos considerar, por ejemplo, el método del Push-Over como la última frontera del análisis no-lineal, pues tiene que hacer la hipótesis de que la configuración inicial sólo sufre cambios locales de capacidad resistente, y no toma en cuenta las no-linealidades geométricas.

Intentos de obtener leyes de comportamiento de estructuras con no-linealidades geométricas indican que las dificultades matemáticas son enormes, pero es necesario entrar en ese campo, pues muchas estructuras grandes han comenzado a fallar en el mundo por este tipo de no-linealidades, así como por la no existencia de la ortogonalidad (no influencia mutua) de acciones que es la presunción básica de los análisis lineales. (Ver un reciente libro: “Geometrically non Linear Analysis of Plane Trusses and Frames”, por Vera Galshkinova, Peter Dunaiski y Peter Jan Pahl. Sun Press, Stellenbosch South Africa, 2009. En

dicha obra aparecen funciones de comportamiento totalmente inesperadas, tales como Lemniscatas, Funciones Cíclicas, etc., todo esto, trabajando con series de Taylor truncadas y algunas veces con soluciones obtenidas de Ecuaciones Diferenciales. Este libro fué motivado por una reciente epidemia de colapsos de estructuras grandes en Rusia, debidas todas a estas no-linealidades o a acoplamientos inesperados, como es por ejemplo una falla torsional en una estructura debida al peso propio. Estas fallas han ocurrido en estructuras de unos 10 años de haber sido construidas. Como reacción, el gobierno ruso decidió que su Academia de Ciencias someta a escrutinio los programas de análisis y diseño que ahora inundan el mundo entero, pues la realidad es que sus entrañas son totalmente desconocidas por el usuario. Esto es una clara señal de que existen problemas de este tipo también en naciones desarrolladas o con tradiciones matemáticas fuertes.

Se está demostrando que el manejo de sólo las no-linealidades de los materiales o de los miembros no basta. Esto de hecho ya lo hacemos en nuestros diseños por estados límites, cometiendo de paso una situación lógicamente absurda, analizar linealmente y diseñar no linealmente

Lo que para el autor resulta incomprensible es la actitud que a nivel de la labor profesional se ha estado formando últimamente., la cual puede describirse diciendo que el proyectista “ordinario” (el que normalmente se contrata en base a su precio o a su supuesta habilidad para adaptar cualquier estructura, lógica o no, a los deseos del cliente), piensa únicamente en números o colores, sin tener claramente en su mente qué es lo que está haciendo, ni qué patrones puede esperar.

La continua reducción del contenido matemático, en especial el abandono de la geometría como herramienta de pensamiento (no como colección de demostraciones), la poca o nula cantidad de Algebra lineal que se enseña y la ausencia casi total de cursos básicos de vibraciones determinísticas para ingenieros civiles haga que, en la realidad, sólo miremos las partes de un sistema (que supuestamente sabemos resolver) en lugar de pensar que lo que diseñamos son sistemas, especialmente sin tener siempre claros los conceptos.

En especial, se ha comenzado a notar en el ambiente de los proyectistas, la enorme y absurda cantidad (centenares) de modos de vibración que se generan en los proyectos recientes. Una clara señal que ocurre una o dos de estas situaciones 1) Estructuraciones extremas y hasta absurdas, 2) Los programas o las computadoras que se utilizan en los análisis modales han alcanzado su límite de precisión numérica, necesario para obtener y operar los algoritmos que encuentran los modos de vibración. Está ocurriendo una absurda situación que la mayoría de las oficinas no puede percibir, por ser efectivamente un problema de Ingeniería de Sistemas, y los Civiles no estudiamos esas cosas. Es absurdo que gradúemos Proyectistas que no han recibido ningún conocimiento de estos temas.

Epílogo: Es absolutamente necesario poner de acuerdo a los matemáticos y a los ingenieros, específicamente en la enseñanza de la ingeniería. No es a fuerza de recortes de programas o de rearrreglos de prioridades como se puede resolver este problema. Tenemos que cambiar nuestros paradigmas.

El Autor cree firmemente que los conceptos Geométricos tienen que manejarse también en la enseñanza del ingeniero, son ciertamente más compactos, más visibles y más entendibles. Volvamos en lo posible a ellos.

El autor ha tenido algunas dudas de si este ensayo cabe en este congreso, pero al meditarlo ha considerado que es su deber plantear los problemas que tenemos que resolver en la enseñanza de la Ingeniería, en especial en estos tiempos problemáticos en que vivimos.

Esos problemas tienen solución, pero tenemos que investigar por nuestra cuenta, no esperar que nos llegue de fuera todo empaquetado para enseñarlo.

M. Paparoni 20 de Junio del 2011, Nkosi.