



ALGUNAS IDEAS SOBRE FORMAS CUADRÁTICAS EN LA INGENIERÍA ES- TRUCTURAL, UNA POSIBLE LÍNEA DE INVESTIGACIÓN QUE NO REQUIERE DE GRANDES IN- VERSIONES EN IN- FRAESTRUCTURAS Y EQUIPOS

Resumen:

Se plantea una proposición genérica de investigaciones relacionadas con el comportamiento de estructuras de edificios, en especial su respuesta sistémica ante solicitaciones cíclicas (fuerzas rotantes) que produzcan efectos traslacionales y torsionales también cíclicos en las estructuras totales o en partes de ellas. Se pretende representar las respuestas globales del sistema y las particulares de sus componentes, a través de diagramas o mapas que permitan visualizar los efectos de esas solicitaciones, sus conductas peculiares y sus funciones de respuesta, todas ellas descriptibles por formas cuadráticas. En última instancia, lo que se busca es plantear reglas de decisión y metodologías de representación que permitan optimizar esas estructuras y revelar también la influencia negativa de configuraciones particulares indeseables, hoy de moda. Algunas de las referencias a investigaciones ya realizadas han logrado ya algunos de los objetivos aquí propuestos. Los procesos de diseño pueden, con los resultados buscados o logrados, ser considerablemente simplificados al utilizar los viejos conceptos de núcleos centrales de respuesta o la Elipse de Culmann, vieja pero no olvidada, de la cual se derivan.

■ Mario Paparoni M.
email: mpapar@cantv.net

Universidad Metropolitana, Venezuela
Universidad Católica Andrés Bello, Venezuela
Universidad Central de Venezuela

Fecha de Recepción: 20 de septiembre de 2008
Fecha de Aceptación: 7 de abril de 2009

Summary:

A Generic Research Proposal related to the systemic and detailed behaviour of structural frames subjected to Rotating Seismic Forces. As a goal, it is expected to obtain both the global and local response of such frames and the particular functions describing such responses, all of them quadratic forms or related to them (Conics, Conicoids, Cardioids, Limaçons). Such functions allow the visual representation of the structural effects of the seismic forces or vertical loads. As a final goal, decision rules and optimization procedures have or can be developed. Some of the references mentioned have already achieved some of these goals. Design processes can also be substantially simplified, by following the results of this endeavour, some of them already known, others ought to be found through this proposed research, employing the old concepts of central response nuclei or their generator, the Culmann ellipse, old but not forgotten

Este artículo trata de expresar algunas ideas sobre una manera de ver la Ingeniería Estructural que no es la que hoy está en boga, trataremos de ligar algo viejo con algo nuevo, ya que de ello se pueden derivar cosas útiles como herramientas de pensamiento.

Históricamente, la ingeniería estructural adquirió una base teórica firme y propia en el último cuarto del Siglo XIX, mayormente por investigadores o ingenieros europeos, algunos de los cuales mencionamos a menudo en nuestras clases, por ejemplo los nombres de Maxwell, Betti, Castigliano, Mohr, Saint-Venant, Navier, Culmann, Müller-Breslau, Cremona, etc., Otros nombres que constantemente manejamos pertenecen a Matemáticos, no a ingenieros, tales como Laplace, Fourier, Sylvester, Hamilton, Klein, Cauchy, etc.

Esa base firme formó parte de la casi totalidad de los Curricula de Ingeniería en los países europeos, y en parte menor en U.S.A., en donde el espíritu pragmático que los caracteriza hizo predominar totalmente metodologías fundamentalmente instrumentales, es decir la enseñanza de fórmulas, procedimientos y normas que no tenían porque apegarse a teorías generales de tipo geométrico o algebraico de uso totalmente general como lo eran las que fueron desarrolladas en el último cuarto del XIX en Europa.

En algunos países europeos en donde la ingeniería se sigue enseñando todavía sin haber descartado totalmente esa herencia, todavía se enseñan y utilizan en la práctica esas bases.

El Siglo XX para las Estructuras se caracterizó por la creación de una enorme cantidad de métodos Analíticos, es decir los que se ocupaban de los detalles cotidianos referentes a secciones y a miembros, dejando paulatinamente de lado los aspectos sistémicos, lo que equivale a decir que casi no se buscaron más teorías unificadoras o visiones generales de los problemas estructurales.

A mediados del Siglo XX las viejas ideas sufrieron un gran golpe al surgir los computadores y el empleo "ciego" de los Análisis matriciales. Ciego en dos sentidos, el ver a las Matrices como simples operadores algebraicos y el haber creado programas que permiten a cualquier ignoramus creerse ingeniero estructural por el solo hecho de saber analizar estructuras con un programa no suyo, muchas veces sin saber que significa físicamente lo que hace, y cómo ocurren esos análisis en el interior de las Computadoras.

Esto es un hecho curioso, pues para muchas otras disciplinas, justo hacia ese inicio del medio siglo XX final, surgió un movimiento que podemos llamar Sistémico, el cual busca un reduccionismo extremo en la cantidad de parámetros que tenemos que manejar para PENSAR y para SABER ACTUAR.

Quien esto escribe tuvo la suerte de formarse en su bachillerato, en sus pregrados y en su post-grado, con profesores Europeos, posteriormente le tocó la suerte de participar como investigador en el M.I.T. en un trabajo conjunto sobre Modelos Estructurales, y más tarde en la aplicación de los criterios de ambas escuelas, la europea y la norteamericana, en la realización práctica de proyectos estructurales.

También formó parte del Council on Tall Buildings and Urban Habitat, del cual surgió la publicación de una Monografía sobre el diseño de Edificios Altos. Monografía que cubrió más de 130 aspectos influyentes en su diseño, de una manera Global y Sistémica. Fuí coordinador y coautor de uno de esos capítulos y coautor de otro.

Más tarde, como profesor le ha tocado vivir la era del "encogimiento" de las enseñanzas ingenieriles para dar paso a otras disciplinas más pragmáticas, más de moda o más creadoras de "Imagen", o simplemente, más rentables en dinero.

Esas influencias lo convencieron de un hecho patente pero difícil de ver, el crecimiento exponencial de conocimientos APARENTEMENTE inconexos, logrando así que las carreras ahora se extienden prácticamente por un decenio o más, antes de que el Profesional

pueda dominar su campo, y además, que lo que enseñamos, con la sola excepción de las materias que se centran en principios básicos, se fosiliza con extrema rapidez, pues las cargas docentes que hay que soportar para hacer económicamente viable nuestra profesión de docentes, no nos dan casi tiempo para “Alcanzar lo que se nos escapa continuamente”, con más horas y más alumnos cada vez.

Hace ya varios años, comencé una línea de trabajo que he mantenido desde entonces, buscar el entender LOS POR QUÉ de lo que hacemos, y luego CONDENSAR, esos conocimientos en la MENOR CANTIDAD POSIBLE DE PARÁMETROS NUMÉRICOS.

Las conclusiones que hemos alcanzado se basan en los resultados de los últimos cinco años de trabajo propio sobre el tema del comportamiento estático de los edificios como SISTEMAS. Debo decir, además, que no he encontrado ni en las publicaciones usuales, ni en la internet, trabajos que se asemejen a los ya hechos, por lo tanto la bibliografía que puedo dar contiene más trabajos propios y más referencias a ciencias básicas que lo que posiblemente se espera usualmente de una investigación, en que se remache con más trabajos lo que ya se sabe con firmeza,

En esa investigaciones se han podido comprobar varias cosas 1) Todo problema Estructural de Edificaciones tiene asociada una forma cuadrática (Cónicas, Conicoides)

2) Todo Problema estructural termina siendo una ‘transformación de espacios’, y esas transformaciones son o AFINES o PROYECTIVAS. 3) La mejor manera de entender el comportamiento sistémico de estructuras es estudiar Álgebra Lineal; Geometría Afin y Geometría Proyectiva. Ellas ya contienen LOS PRINCIPIOS ESTRUCTURALES.

Me limitaré a mencionar los TEG realizados en la UCAB y en la UNIMET por Gleem Miralles; Adriana González; Daniela Chacón; Alicia Aranda y Carolina Medina; Susan Villalobos; Pedro Jiménez; Antonio Osteicoechea; Rafael Nossa; Adriana González; Alejandra Ortiz y Elizabeth Gonçalves, Ali Carmona, Ana Millán, Felipe Velázquez, Isabel Muller, Manuela Sáenz entre otros. Ellos evidencian claramente lo ya dicho. También se ha logrado conectar la misma investigación en las dos universidades (UNIMET Y UCAB) a través de ellos.

A lo largo de esos trabajos se han podido comprobar estas afirmaciones:

- 1) Todas las metodologías de Cálculo Estructural que se enseñan o se han enseñado hasta ahora son variantes de una misma cosa (Cross, Rotaciones, Trabajos Virtuales, Takabeya, Kani, Métodos Matriciales). (Villalobos)
- 2) Toda Matriz de Rigidez o de Flexibilidad contiene “embebidas en ellas” formas cuadráticas (Rodríguez, Osteicoechea, Chacón)
- 3) Los Conceptos de cálculo que manejamos al tratar secciones de vigas y secciones de plantas de Edificios son los mismos, a pesar de las aparentes diferencias. (Gonçalves, Aranda y Medina, Miralles, Carmona, Millán, Velazquez, Ortiz)
- 4) Hay fenómenos conectados con el uso común del Círculo de Mohr: a) Momentos de Inercia de secciones de vigas, b) Rigideces plantares de Edificios, c) Variación de tensiones en secciones de vigas, d) Envoltentes de resistencia para materiales granulares.
- 5) Autovalores y Autovectores de matrices de uso común en los casos anteriores.
- 6) Las leyes de las Matrices Matemáticas no aplican necesariamente en las Matrices Físicas (estructurales, etc.)

Investigaciones propuestas y posibles dentro de esta línea:

A través de Trabajos Especiales de Grado, o bien utilizando el mecanismo de Becas-Trabajo o Ayudantías, demostrar con una serie de Ejemplos Pedagógicos que los siguientes conocimientos son nuevos y aplicables, aunque se deriven de cosas muy viejas

- 1) La existencia del Concepto de Núcleo Central de resistencia para Solicitaciones Flexo-Torsionales de Edificios, con reglas casi idénticas a las del Clásico núcleo central de la Resistencia de materiales. Núcleos Homotéticos, Núcleos dependientes de Relaciones de Rigideces Generales de un Edificio (Rigideces Traslacionales y Rigideces Torsionales)
- 2) La aplicación de la Geometría Proyectiva (conceptos de Polos y Polares) y de la Geometría Afin (Transformaciones de

Coordenadas o de Formas) a Problemas estructurales. Comprensión de la naturaleza de las relaciones Fuerzas-Deflexiones-Giros en estructuras de Edificios

- 3) Reimplantar los conceptos contenidos en la Llamada Elipse de Culmann o Elipse de Elasticidad a los problemas modernos, y uso de la misma para cuantificar irregularidades estructurales de estructuraciones. Generalizar otras elipses derivables de ella y no utilizadas aún en forma general.
- 4) Plantear la posibilidad de utilizar medios Geométricos Clásicos para el precálculo de Vigas Presforzadas. Variantes de metodologías de Optimización.

Para ello se requiere:

1) Utilizar Programas como el SAP 2000 o el ETABS, los cuales permiten generar poblaciones virtuales de estructuras que pueden ser manejadas como si fuesen reales.

2) Contar o con Tesisistas o con Becas-Trabajo para ir recopilando los resultados ya obtenidos y los que se obtengan en esta investigación. De paso, se ha comprobado que los tesisistas adquieren destrezas que no conocían, estimulados por el placer de crear cosas nuevas.

Estas ideas o propuestas son susceptibles de convertirse en programas de investigación, que aunque sean totalmente Teóricos o Virtuales, llevan al desarrollo de muchas Reglas de Decisión Simples y al Manejo de nuevos Parámetros Estructurales Sistémicos, tales que nos permitan Condensar y Simplificar los complejos comportamientos de las estructuras de Edificios y generar métodos para distinguir y calibrar numéricamente distintas configuraciones estructurales.

Este artículo no pretende entrar en detalles sobre lo ya encontrado, es sólo una propuesta para realizar tareas de investigación compartibles entre varias universidades, sin tener que apelar a grandes inversiones en laboratorios, pues se ha demostrado que estos últimos no son rentables para una universidad pero sí lo son si ofrecen servicios de experimentación compartibles entre varios grupos universitarios o industriales.

Su valor docente, también se ha demostrado en la práctica.

No mencionamos bibliografías específicas para estos posibles programas, pero ellas son asequibles tanto en la biblioteca de la UCAB como en la biblioteca de la UNIMET.

MP 2/10/09

1) Bibliografía de respaldo utilizada.

Haremos un Listado de los trabajos anteriores que sirvieron de camino en este tema y libros consultados, mencionando primero algunos de los frutos ya existentes de estas investigaciones, y nos limitaremos a los trabajos más recientes que se han producido, personalmente o bajo nuestra dirección, comentando brevemente sus contenidos

1) 2004: **Quadratic Forms as Functional Representations of Loading Cases for Seismic Design.** 13th World Congress of Earthquake Engineering, Vancouver, Canada, August 1-4 2004, Paper N° 3053. Publicado en Proceedings del Congreso. M.Paparoni y Daniela Chacón. Trabajo basado en un TEG de la UNIMET.

Este Trabajo muestra cómo unos procedimientos numéricos sumamente laboriosos y difíciles de visualizar, los cuales forman parte de cualquier proyecto moderno de Edificios, pueden ser manejados exclusivamente con Elipses (una forma Cuadrática). De este modo, 130 casos de carga se pueden representar con una sola elipse determinada por sólo 5 de ellos para el caso sísmico más dos vectores que representan las cargas verticales y la Torsión.

2) Formas Cuadráticas en el Análisis Estructural

TEG dirigido por M. Paparoni. Autor: Antonio Osteicoechea, UCAB. Junio del 2006.

Este TEG confirma y perfecciona los resultados obtenidos por un TEG anterior realizado en la UNIMET por Pedro Jiménez, Tutor: M. Paparoni, 2004, titulado Extensión del Método Matricial Simplificado en Tres Dimensiones (Miembros Prismáticos rectilíneos).

En este Trabajo se logró demostrar, a través de procedimientos algebraicos, manejando en forma simbólica y no en forma numérica las matrices, que TODA matriz de Rigidez (y sus inversas, las Matrices de Flexibilidad) contienen embebidas en sus formulaciones

formas cuadráticas cerradas. Específicamente, elipsoides. De acuerdo a comentarios recibidos de colegas italianos en congresos a los cuales he asistido, esta afirmación no parece haber tenido precedentes, en otras palabras, es ORIGINAL y es ÚTIL, pues cada nodo de una estructura, por compleja que sea tiene una relación Fuerza-desplazamiento representable por un Elipsoide orientado de cierta forma en el espacio. LA ELIPSE DE ELASTICIDAD NO ES SÓLO UNA PROPIEDAD DEL SISTEMA ESTRUCTURAL O DE PARTES DE ÉL, SINO QUE APARECE TAMBIÉN EN CADA NODO.

3) Empleo de Formas Cuadráticas y del Círculo de Mohr para Cuantificar y Comprender los Efectos de la Distribución Irregular de rigideces en Plantas de Edificios. Internet. Asociacion Mexicana del Presfuerzo y la Prefabricación.

Conferencia Magistral dictada por invitación en el 2° Encuentro Latinoamericano de Estructuras Prefabricadas. 1er Congreso Internacional. Veracruz, México, 11 al 13 de Octubre del 2006.

Este trabajo, hasta ahora, parece ser el único que se ha ocupado de este tema y que ha sido publicado en la Internet por la Universidad de Veracruz y por Annipac. He dedicado varias horas a explorar Internet, junto con mis tesis de la Católica y tal parece que no hay más artículos publicados en la red sobre esto. Se deduce que el tratamiento es ORIGINAL, y no se tomó de trabajos ajenos. Contiene referencias a varios trabajos anteriores nuestros y constituye una prueba de la originalidad de las relaciones encontradas.

4) TEG Volúmenes de Interacción para Secciones Diseñadas con Tensiones admisibles. Aplicación: Estructuras de Acero. TEG de Alejandra Ortiz Guerra (Febrero del 2008). Tutor: Mario Paparoni. UNIMET.

Este TEG generaliza al espacio lo conocido y todavía enseñado en los textos europeos de Resistencia de materiales sobre el concepto de núcleo central de una sección cualquiera (plana) de una viga de material homogéneo, es decir la posibilidad de derivar la forma de dicho núcleo utilizando la elipse de radios de giro y las polares de los vértices salientes del contorno de esa sección, y de allí luego derivar el Volumen de Interacción T tridimensional que nos indique las capacidades admisibles de dicha sección ante solicitaciones Axiales y Momentos orientados según cualquier azimut relativo a la sección. Este proceso permite prescindir de los tediosos cálculos necesarios para determinar esas capacidades en secciones de Acero. También define a los diagramas de interacción como objetos descriptibles por las propiedades geométricas que

deben poseer, con independencia de las metodologías de obtención.

5) TEG Flexo-Torsión en Edificios Monoplantares y sus Elipses de Elasticidad.

TEG de la Universidad Metropolitana, Autor: Elizabeth Gonçalves. Tutor: Mario Paparoni. Caracas Julio del 2008.

Este TEG se basó en dos TEG anteriores, el de Alicia Aranda y Carolina Medina UCAB. (2007) y el de Pedro Jiménez, UNIMET (2005), ambos tutorados por M. Paparoni;

Se logró desarrollar una Teoría y un Procedimiento Práctico para obtener un serie de seis Elipses (formas cuadráticas) caracterizadoras de una planta de Edificios. La Elipse de Deflexiones, La Elipse de Rigidez, La Elipse de Flexibilidad, La Elipse de Radios de Giro al Cuadrado, La Elipse de Radios de Giro (elipse de Culmann) y la Elipse de Torsión. Además quedó claro que el núcleo central de torsión de una planta es una elipse con segmentos periféricos excluidos limitados por las polares del punto de intersección de la recta normal que va del centro de rigidez de la planta a la traza de cada pórtico que sea externo a la elipse de radios de giro. Esto Resuelve de manera general el problema del manejo de la Torsión Sísmica en el diseño de edificios.

6) TEG: “Estudio de las Orientaciones de las Máximas Fuerzas Axiales de Columnas que se Generan en Edificios al Calcularlos con Fuerzas Horizontales Rotantes”. Se buscan diagramas polares del tipo dirección de la fuerza horizontal externa vs respuestas de las columnas, (también son formas cuadráticas, círculos u elipses, usando diagramas polares) Isabel Müller y Manuela Sáenz. UNIMET enero 2009.

7) TEG “Estrategias para la Optimización de Estructuras Irregulares en Planta”. Alí José Carmona Martínez ; Emma Andrea costa Franco. UCAB. Marzo del 2009.

Este trabajo analiza y perfecciona los TEG antes citados y plantea una metodología sistemática de solución para este tipo de problemas. Encuentra tipologías estructurales particularmente complejas como las plantas curvadas con pórticos radiales convergentes y Pórticos tangenciales concéntricos. También trata un cierto número de plantas “normales” con variantes usuales. Muestra ciertos comportamientos extraños de algunos programas de análisis usuales. Deja abiertas nuevas líneas de investigación sobre las anomalías

identificadas en este trabajo. Perfecciona aspectos que o fueron dudosos o no completamente resueltos en trabajos precedentes.

II) Bibliografía extraída de la internet, relacionada con los conceptos geométricos que han sido manejados en estos trabajos.

Como se trata de temas que utilizan las Geometrías Euclidiana, Proyectiva y Afin como instrumentos de investigación, se presenta una lista de informaciones obtenibles por Internet, suministrando las direcciones de los sitios identificados y visitados.

1) **Riflettendo sulla vita de Karl Culmann.** Umberto Bartisan. Matteo Guardini

http://www.tecnologos.it/Articoli/articoli/numero_001b/CULMANN.asp.

Artículo de tipo histórico que nos describe cómo era la ingeniería estructural en Europa a fines del siglo XIX y cómo se apoyó inicialmente en los métodos geométricos, en lugar de los métodos analíticos. Culmann aparece como el inventor de la Elipse de Elasticidad.

2) <http://www.itis.meucci.it/html/corradobrogi/VI/VI-071.htm/>

L'elisse d'inerzia pag. 71.Vol 6.. Raggio giratore d'inerzia pág 72. , polarità, polare, poli. Elisse centrale d'inerzia o di Culmann. pág. 76. Conica fondamentale, Polare, Autopolarità. Il sistema antipolare. *Interesan las páginas de la 71 hasta la 85. Esta información forma parte de los manuscritos docentes del prof. Brogi, del Politécnico de Turín, los cuales contienen una gran cantidad de informaciones atinentes al campo estructural, desde el punto de vista europeo clásico.*

<http://www.itismeucci.it/html/corradobrogi/indicep.htm>

Existe mucha información en Italiano y en Francés sobre estos temas, incluyendo la Torsión Sísmica. No ha sido posible ubicarla en inglés o en español ni en alemán

III) Libros leídos, consultados o anotados durante la elaboración de estos trabajos.

El listado siguiente no contiene casi libros de Estructuras, sólo material bibliográfico sobre Geometría, Cónicas, Cuádricas, Álgebra Lineal o temas semejantes. No hemos localizado ningún artículo que toque

estos temas e la manera en que lo hemos hecho. Las metodologías seguidas son originales, hasta donde sabemos, ciertamente no son copias o adaptaciones de otros trabajos, son evoluciones y nuevos conocimientos derivados de los viejos principios de la Ingeniería.

1) **“Elementary Mathematics from an Advanced Standpoint”.** GEOMETRY. Félix Klein. Dover Publications Inc. Mineola. New York. English version 1939. Mac Millan NY.

Texto muy bien escrito y muy claro al hacer ver que todas las operaciones Matriciales que realizamos en Estructuras tienen su paralelo en la Geometría Afin y en la Geometría Proyectiva. Las dos disciplinas comparten muchas cosas.'

2) **“Geometría”**, por Sebastià Xambó Descamps. Alfa Omega Ediciones UPC (Catalunya)

(Enero del 2000). *Se Ocupa de los Espacios Métricos, Proyectivos y Afines. Maneja bien Cuádricas y Cónicas,*

3) **“Geometry, a Comprehensive Course”**, by Dan Pedoe. Dover Publications Inc. New York, (1970) *Se ocupa igualmente de las distintas geometrías. Da una visión global de la materias.*

4) **“Practical Conic Sections, the Geometric Properties of Ellipses, Parabolas and Hyperbolas”.** J.W. Downs., Dover Publications Inc. , Mineola New York. 1993

Excelente descripción de las abundantes aplicaciones de las cónicas en la vida ordinaria.

5) **“Introduction to Linear Algebra”**, Gilbert Strang. Wellesley Cambridge Press. Wellesley Massachusetts. USA. 1998.

Excelente tratado que relaciona el álgebra lineal con los Espacios Conceptuales.

6) **“Linear Algebra and its Applications”.** David C. Lay, 2nd edition, (2000), Addison Wellesley. Reading. Mass, USA.

Igual que el anterior, enlaza el Álgebra Lineal con la Geometría.

7) **“Taschenbuch, Formeln, Regeln, Merksätze”.** Manual para el uso de los estudiantes alemanes de Secundaria. *Una muestra del nivel matemático exigido en Alemania a nivel de Secundaria.* 2006

8) **“Mathematiques Elementaires”.** L'Ecole. *Otra muestra del nivel de la Secundaria en un país desarrollado. Trata Espacios Métricos, Afines y Proyectivos.* (1963)

9) **“Scienza delle Costruzioni, Volume Secondo”**. Odone Belluzzi. La Teoría dell’Elisse di Elasticità. Capitulo XVII. Zanichelli, Bologna. Agosto 1942.

Texto clásico, aún utilizado hoy día en Italia en la enseñanza de las Estructuras, contiene un capítulo entero dedicado ala Elipse de Elasticidad, Sólo se ocupa de Estructuras planas en este aspecto que manejamos. Otros textos Italianos, como el de Colonnetti tienen tratamientos matemáticos más completos pero nunca tan claros como el Belluzzi. También Scienza delle Costruzioni de Luigi Stabilini. Tamburimi. Milano. 1956

10) **“Resistance de Materiaux”**, Morgan Laredo. Dunod 1970. La theorie des grandes Charpentres pur B[^]atiments.

A pesar de ser un enorme y voluminoso libro dedicado al cálculo de Edificios, utiliza la Elipse de Elasticidad para resolver sólo los mismos problemas elementales de los textos más comunes de Resistencia de Materiales. No menciona en absoluto su posible generalización.

11) **“Coordinate Geometry”**. Luther Pfahler Eisenhart, 1939. Dover N.Y.

Un excelente texto con el enfoque geométrico clásico de coordenadas, es decir puntos que generan las demás entidades geométricas.

12) **“Matrices and Transformations”**. Anthony J. Pettofrezzo. Dover. NY. 1992

Un libro muy corto que reúne los principios y conocimientos básicos para las transformaciones de coordenadas utilizando matrices.

13) **“Fundamental Concepts of Geometry”**. Bruce E. Meserve. Dover Publications Inc.

New York. (1955 original, 1989 reedición).

Este libro, muy amplio en su temática, tiene los conceptos geométricos generales muy bien expresados y de él se pueden obtener conclusiones tales como esta: La Polaridad es una propiedad geométrica que implica unicidad de soluciones para un dado sistema. El sistema de ecuaciones lineales que describa un comportamiento estructural tiene exactamente las mismas propiedades invariantes que un determinado sistema geométrico. También contiene excelentes indicaciones de cómo manejar las polaridades de una cónica, sea por vía geométrica, sea por vía analítica. Páginas 135 a 144..

IV) PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PROPUESTO:

1) *Continuar utilizando los Trabajos Especiales de Grado para desarrollar una metodología de Optimización de Estructuras de Edificios, Valoración Cuantitativa de la Calidad de Estructuras de Edificios, Estimación de los Márgenes de Estabilidad de Estructuras Irregulares. En este momento hay un trabajo de Grado en la UCAB sobre Optimización, se han propuesto y se propondrán otros temas semejantes para TEG de la UNIMET.*

2) *Recopilar y condensar todas las investigaciones ya realizadas sobre estos temas para convertirlas en un texto docente especializado.*

3) *Incorporar a la Docencia, a medida que sean producidos, los resultados de estas investigaciones.*

Apostilla: Se pueden añadir figuras relacionadas con las cosas mencionadas en este artículo, siempre y cuando se sepa si TEKHNE posee los medios para incorporarlas. Aparentemente WORD es incapaz de realizar esta tarea manteniendo una diagramación satisfactoria. M. Paparoni