Boletín electrónico de S$\vec{e}$MA

BOLETÍN NÚMERO 3

Diciembre 2012

SUMARIO

Boletín Electrónico de la Sociedad Española de Matemática Aplicada S$\vec{e}$MA

Página web de S$\vec{e}$MA
`http://www.sema.org.es/`

e-mail
`info@sema.org.es`

Dirección Editorial: Dpto. de Matemática Aplicada y Estadística. Universidad Politécnica de Cartagena. Campus Muralla del Mar. Doctor Fleming s/n. 30202 Cartagena. Murcia. `sema.journal@upct.es`

ISSN 1575-9822.
Depósito Legal: AS-1442-2002.

Bol. Soc. Esp. Mat. Apl.
n^{o}3(2012), 3–8

SíNTESIS DEL DISEÑO DE BUQUES ASISTIDO POR ORDENADOR

MARíA JOSÉ LEGAZ ALMANSA

Universidad Politécnica de Cartagena

Resumen

Los diseños ingenieriles modernos son bastante más complejos debido a la presión que ejerce la economía de escala. Requiriendo mayor velocidad, mayor habilidad operacional en condiciones meteorológicas adversas, mayor eficiencia energética, ser medioambientalmente limpios y adaptación a los nuevos avances en ciencia y tecnología de los materiales. Tanto los buques como las estructuras flotantes son unas de las estructuras ingenieriles más importantes y complejas que existen, cuyo diseño y análisis lleva meses y cuya producción puede llevar de meses a años.

Este artículo trata de dar una visión conjunta y generalizada de los diferentes aspectos que lleva consigo el diseño asistido del buque por ordenador haciendo referencia a sus orígenes sección 1, un poco de historia, y su evolución hasta nuestros días sección 2, procedimientos y requisitos actuales. En la sección 4 se presenta un enfoque sintetizado el modelado y alisado de las formas del buque partiendo tanto desde un conjunto de datos externos (4.2.) como desde los parámetros del buque (4.3.). Estando la sección 5 dedicada a dar una perspectiva global del análisis y diseño de la estructura del buque.

1 Un poco de historia

Desde la llegada de los ordenadores hace aproximadamente cincuenta años la perspectiva ha cambiado bastante tanto en la metodología de la aproximación como en el análisis matemático. Actualmente, los diseños y el análisis ingenieril modernos no se pueden imaginar sin el uso de ordenadores y métodos computacionales. Merece la pena mencionar que las industrias de construcción de buques han sido unas de las primeras en el uso de las computadoras y métodos computacionales para el modelado, diseño y análisis de estructuras de buques. La disciplina del diseño de buques asistido por ordenador, CASD (Computer Aided Ship Design), surgió sobre 1960, aunque tiene varios orígenes y precursores podemos destacar tres orígenes [23]:

- La necesidad de medios digitales en el proceso de producción.
- El deseo de representar digitalmente el modelo del buque.
- La inquietud por realizar computacionalmente tareas que consumían bastante tiempo como cálculos de estabilidad, hidrostáticas, análisis estructural, etc.

Entre los años 1955-1959 se desarrolló el lenguaje de programación APT (Automatically Programmed Tools) en el M.I.T. (Massachusett Institute of Technology) [1] ,para su aplicación al campo ingenieril en general. Posteriormente y más focalizado en el uso naval se desarrollo el control numérico para el corte con llama, siendo uno de los pioneros el sistema Norwegian AUTOKON [2].

El modelado digital de la geometría del casco fue un pre-requito primario para poder captar la complejidad, curvatura y formas libres de las líneas y superficies del casco. Trabajos pioneros en el análisis de las formas del casco se pueden encontrar en [3], todavía ligados a la simulación del dibujo manual con junquillos. La analogía matemática de esta herramienta de alisado era una viga deflectada con curvatura continua representada por polinomios continuos a trazos (caso lineal).

2 Procedimientos y requisitos actuales

El diseño de buques asistido por ordenador (CASD) moderno adopta una aproximación sistemática considerando el barco como un sistema complejo que integra una variedad de subsistemas. Estos subsistemas proporcionan los servicios necesarios para el buque, tales como generación de potencia para la propulsión y servicios relacionados con las funciones del buque como disposición de la carga o espacios de pasajeros. El principal desafío consiste en desarrollar metodologías robustas y eficientes para optimizar estos subsistemas y el sistema buque al completo en el contexto del ciclo de vida operacional del mismo. Los problemas de optimización involucran;

- Tanto variables discretas como continuas.
- Requisitos geométricos de origen físico y funcional.
- Cifras de merito que reflejan el interés de varias de las partes interesadas en el diseño del buque.

Los interesados son numerosos armadores/operadores de buques que necesitan minimizar el costo del flete, los astilleros que desean minimizar el peso de la estructura del buque, las sociedades de clasificación que quieren maximizar la seguridad de los pasajeros/tripulación y minimizar el impacto de las emisiones medioambientales, los propietarios de la carga/transitarios que desean reducir al mínimo el impacto medioambiental en caso de accidente, los operadores portuarios que dictan sus exigencias y así sucesivamente.

Para cumplir estos requisitos, CASD moderno combina una fuerte tradición en el diseño de los buques con las metodologías modernas y la tecnología de la información para:

- Resolver problemas multi-objetivo de optimización con restricciones involucrando no linealidad.
- Simular el fenómeno físico complejo y los procesos que tienen lugar durante la operación del buque.
- Generar y procesar masivamente la geometría y los datos necesarios.

3 Restricciones y requisitos que nos llevan a un problema de optimización

El diseño del buque es un proceso de toma de decisiones que nos lleva desde unos requisitos dados a la definición de un producto con toda la información relevante para llevar a cabo la tarea de producción del buque.

Dado un conjunto de variables de diseño tales como dimensiones principales y parámetros, por ejemplo ruta y disponibilidad de carga, el proceso de diseño evalúa la cifra de merito (criterio económico,...) y las restricciones (estabilidad, francobordo, etc.).

En situaciones normales existen varias soluciones posibles así que el diseñador debe decidir la solución más favorable o por elección directa o por medio de una cifra de mérito. Esto convierte el problema en un problema de optimización. Si la relación entre las variables, la cifra de merito o las restricciones es no lineal, entonces el problema es no lineal. La gran mayoría de los problemas de diseño de buques son no lineales. Existen una variedad de métodos numéricos para resolver problemas no lineales que son aplicables al caso de buques, [8].

Un gran número de estas aplicaciones al diseño de buques se basan en un conjunto de suposiciones:

- Variables de diseño continuas.
- Modelos de decisión determinista.
- Una sola cifra de merito.

Si estas suposiciones no se cumplen hay que recurrir a otro tipo de técnicas numéricas, algunas de las que se utilizan en el diseño de buques son:

- Variables de diseño discretas o enteras [9].
- Modelos de decisión estocásticos (Teoría de decisiones[10]).
- Optimización de Pareto [11].

Algunos avances en este campo pueden ser vistos en [12], [13], [14]. Un enfoque más reciente es aplicar optimización holística en el diseño de buques [24].

4 Modelado geométrico y alisado de las formas del buque

4.1 Introducción

La definición de las formas del casco es uno de los primeros pasos en el diseño del buque porque muchas tareas dependen de una descripción, al menos provisional, de la forma del casco. Posteriormente esta descripción inicial se redefine y alisa con el propósito de la producción.

La representación predominante de curvas en la definición de formas del casco así como en otras ramas de aplicación de CAD (Computer Aided Design) son formas polinómicas paramétricas:

- Curvas de Bézier [4].
- B-splines [5].
- B-splines no uniformes paramétricos [6].

Estas representaciones tienen la ventaja de ser manipulables interactivamente mediante vértices o puntos de control, de ahí su uso en ordenadores. Proporcionan los órdenes de continuidad requeridos y pueden ser polinomios de diferentes grados, ofreciendo así una amplia variedad de formas. La variante racional de las curvas Bézier y B-splines incluye también secciones cónicas, que a veces se usan para modelar características especiales de las formas del casco. Se pueden realizar conversiones de una representación a otra. Para mayor información sobre las capacidades de modelado de estas geometrías ver [15].

Las representaciones de superficies construidas con estos tipos de polinomios, como producto tensorial o interpolación, para parches rectangulares son:

- Superficies Coons [7].
- Superficies Bézier [4].
- Superficies B-splines [5].
- Superficies NURBS [6].

4.2 Síntesis de la representación de la superficie del casco desde los datos de las curvas

Una aproximación frecuente es la generación de la superficie del casco desde una curva dada. Inicialmente un conjunto de curvas características continuas a trozos se generan desde un conjunto datos y restricciones externas facilitadas, pueden provenir de otro buque de características similares al que se quiere modelar. Con todos estos datos, conectando los distintos puntos, se forma una malla regular o irregular que no distará demasiado del plano de formas de un buque. En una malla regular las curvas forman una trama de cuadriláteros ortogonales, en una malla irregular las celdas de la malla pueden tener una forma poligonal arbitraria, por ejemplo triangular o pentagonal y cualquier número de curvas puede llegar a un determinado nodo. En el caso de los buques, aunque muchas regiones pueden permanecer modeladas por topologías ordinarias, con frecuencia hay dominios excepcionales donde ocurren irregularidades en la malla, un ejemplo usual es la punta del bulbo de proa. Así, un software de modelado debe ser capaz de subdividir los dominios y hacer frente a las irregularidades en la malla. Las curvas de la malla normalmente son interpoladas para crear la superficie del casco, estrictamente solo en los nodos (producto tensorial), o a través de todas las curvas de la malla (interpolación transfinita). Sin embargo, ya que las curvas no son suficientes para definir la forma de la superficie debido a la poca información en las derivadas parciales mixtas de los nodos (vectores de torsión) se requieren construcciones especificas para asegurar la continuidad deseada en la superficie y para estimar las derivadas parciales de manera compatible. Construcciones compatibles se han elaborado para el caso general de mallas regulares e irregulares [16,19]. Sin estas precauciones podrían aparecer defectos no deseables en la superficie, [21,18].

Si la representación de la curva o la superficie tiene suficientes grados de libertad, se pueden optimizar aplicando un criterio de alisado. En el diseño de buques el alisado es cuantificado por la norma cuadrática de la segunda derivada (integrales de curvatura), aunque también se han aplicado normas de mayor orden [20,19]. Existen varios software que se pueden utilizar para el primer diseño del casco de un buque y que utilizan curvas y/o superficies Bezier y/o NURBS:

Autoship (Autoship Systems Corporation), DefCar (DefCar Engineering), Fastship (Proteus Engineering), FreeShip, HullCAO (HullCAO), Hull Form (Blue Peter Marine Systems), Maxsurf (Formation Design Systems), MultiSurf (Aerohydro), Prolines (Vacanti Yacht Design), ProSurf (New Wave Systems), Rhino (Robert McNeel & Assoc.), Naval Designer (US Sales by Forum Marine), SeaSolution (SeaSolution), TouchCAD (Lundström Design).

Con el objetivo de describir someramente las características de alguno de ellos decir, por ejemplo, que:

Maxsurf ofrece herramientas altamente especializadas para modelar cascos, apéndices y superestructuras usando superficies NURBS trimadas. También incluye herramientas de transformación paramétricas y análisis instantáneos de cálculos hidrostáticos y evaluación de curvaturas. Una gama de comandos facilita la manipulación interactiva directa de la forma de la superficie con el ratón o el teclado. Maxsurf permite la transformación automática de la forma del casco para obtener las dimensiones y las características hidrostáticas deseadas. Los puntos de control se pueden arrastrar con el ratón, ajustar numéricamente, o manipular con una variedad de comandos de suavizado. El intercambio de datos es un requisito muy importante en la oficina de diseño moderna y Maxsurf es compatible con una amplia gama de los formatos estándar de la industria naval e informática. Copiar y pegar tablas numéricas a y desde Microsoft Excel permite cálculos y formatos de presentación personalizados. El copiado y pegado de todas las vistas también permite crear los materiales para presentaciones e informes. La importación y la exportación de los archivos estándar de la industria DXF e IGES, permite intercambiar puntos, líneas o datos de superficies con otros sistemas CAD/CAM. Las capacidades únicas de trimado dinámico de superficies de Maxsurf permiten modelar los complejos bordes superficiales mientras se mantiene la suavidad de las superficies del resto del casco. Un control visual interactivo de las intersecciones superficiales permite crear las formas requeridas incluso con configuraciones complejas tales como secciones curvas, cantoneras, apéndices y tubos de hélices de proa. El trimado de superficies se actualiza automáticamente mientras se ajustan las superficies en el diseño permitiendo crear el modelo superficial de la mayor calidad posible [25].

MultiSurf ofrece combinaciones precisas y duraderas entre superficies, actualiza el modelo completo al cambiar los objetos subyacentes, utiliza una superficie para cada propósito, 30 tipos de superficie te permiten utilizar la superficie adecuada para cada aspecto de tu diseño (no está limitado a NURBS). Las visualizaciones de las curvaturas de superficie y perfiles de curvatura te ayudan a perfeccionar tu diseño, visualización dinámica [26].

4.3 Síntesis de la representación de la superficie del casco desde los parámetros del buque

Otra forma de definir el casco completo del buque es desde parámetros especificados para ese buque particular sin recurrir a datos externos, los fundamentos de este enfoque se pueden encontrar en [22]. Se basan en la clásica idea de definir unas pocas características de las curvas del buque mediante sus coordenadas de posición, derivando e integrando los parámetros. Fue ya utilizada por D.W. Taylor en su famoso Standard Series 1906, se generalizó y extendió al conjunto completo de líneas y superficies relevantes del buque. Así, que el objetivo ahora es definir la forma del casco solo desde parámetros especificados sin recurrir a datos externos.

Los parámetros de una curva relevante pueden resultar de cualquier combinación de:

- Datos de posición (puntos finales de segmentos del curva)
- Datos de derivadas (tangentes, curvaturas de puntos adecuados)
- Datos de integrales (áreas bajo la curva, centroides, momentos de inercia, etc.)

El proceso de diseño de la forma del casco tiene los siguientes pasos:

- Diseño de las curvas básicas (curva de áreas de secciones, líneas de agua, línea de cubierta,. . .)
- Diseño de las secciones transversales, usando los datos de las curvas básicas.
- Generación de las superficies del casco mediante interpolación de las secciones transversales.
- Iterar, si se necesita.

Un sistema basado en esta aproximación fue implementado por Harries [27] y ha sido exitosamente utilizado en aplicaciones industriales. Se pueden tener en cuenta características especiales como fondo plano, sin embargo se recomienda una subdivisión del caso en varios dominios si los subdominios poseen formas muy distintas como apéndices.

5 Análisis y diseño de la estructura del buque

La aplicación del análisis y diseño estructural del buque es un elemento clave para asegurar la seguridad y economía del buque. El buque debe encontrar estándares únicos de seguridad para operar sin riesgos en el medio marino hostil sin poner en peligro las vidas humanas, la carga, el casco o el medio ambiente. Las soluciones de diseño deben tener en cuenta un bajo peso en rosca y bajos costes de producción para ser económicamente competitivas. Estos objetivos básicos no son nuevos pero el modo de llevar a cabo la aproximación para conseguir soluciones viables y atractivas ha cambiado significativamente en las últimas décadas con la llevada del diseño de buques asistido por ordenador.

Tradicionalmente antes de la era de los ordenadores el diseño estructural de buques mercantes se basaba generalmente en las normas de clasificación y en los convenios internacionales sobre seguridad del buque que se derivan en parte por motivos analíticos, pero que en gran medida de observaciones empíricas, estadísticas de accidentes, supuestos de carga y escenarios de riesgo que se ocultan tras las normas. La mayor parte del diseño se basó en casos deterministas de carga combinados con factores de seguridad para hacer frente a las incertidumbres. Esta metodología se aplicó responsablemente y sin excesivo riesgo al diseño convencional.

El panorama ha cambiado enormemente durante las décadas siguientes conducido por los avances en análisis de estructuras, condiciones de carga, modelado probabilístico, análisis de fiabilidad, optimización no lineal y muchas ideas innovadoras en soluciones de diseño. El análisis estructural de buques se ha beneficiado de los progresos generales en este campo, tales como elementos finitos, volumen finito, desarrollos en métodos de elementos de frontera. Pero muchos de los desarrollos se debieron también al campo marítimo con sus requerimientos específicos. El denominador común de muchos pequeños pasos en innovación parece ser una tendencia a largo plazo hacia estimaciones de diseño más racionales, basadas en modelos probabilísticos de muchos casos de carga y escenarios de operación, tratados por medio de estrategias de optimización sistemáticas [23].

La transición a la síntesis estructural por ordenador se hizo pronto y de hecho había madurado sobre 1970. Mucho del crédito se debió al Moe y su equipo en Trondheim quienes demostraron que el diseño estructural de buques podía ser tratado como un problema de optimización bajo un formato de programación no lineal [28]. La programación no lineal proporciona una aproximación unificada al diseño estructural para una clase muy amplia de problemas.

A parte de muchos avances en computación, principalmente en métodos discretos de elementos que fueron compartidos con otras ramas de la ingeniería, es de destacar la importancia de la influencia de los modelos probabilísticos en el diseño estructural de buques. Los buques operan en condiciones inciertas, principalmente debido a su entorno, en vías marítimas irregulares de diversa índole y debido a su vulnerabilidad en caso de accidentes sin control como colisiones, encallamientos, etc. Un diseño seguro debe tener en cuentas estos factores de riesgo. La respuesta del buque a tales influencias arbitrarias se ha podido modelar probabilísticamente tan pronto como los métodos analíticos para describir tales procesos arbitrarios han estado disponibles. Esto entra en el ámbito de la teoría del buque y está marcado por dos referencias:

St. Denis y Pierson [29] en 1953, “Movimientos del buque en mares revueltos” que allanó el camino al tratamiento estadístico de los estados de la mar, de la respuesta del movimiento del buque y más tarde de las cargas marinas y las reacciones dinámicas del buque.

Wendel [30] en 1961, “Seguridad mediante subdivisión” para le evaluación probabilística de los efectos de la subdivisión en caso de colisiones, encallamientos, etc., por ejemplo sobre las estabilidad en avería, francobordo, etc.

Computacionalmente la aproximación probabilística requiere mucho esfuerzo pero esto se lleva a cabo bien con los sistemas computacionales modernos. Este mayor esfuerzo está justificado por la mayor transparencia del modelado probabilístico y de la toma de decisiones de cara a las incertidumbres.

El diseño estructural del buque se ha convertido hoy en una forma racional basada en la optimización orientada, disciplina madura del diseño del buque. Utiliza condiciones de carga deterministas y estadísticas, casos de cargas múltiples, modos de rotura, restricciones basadas en fiabilidad y técnicas modernas de análisis y optimización. Una aproximación moderna basada en estos principios se puede encontrar en Hughes [31] .

6 Conclusión

Vivimos unos días en que las tecnologías de *hardware* y *software* avanzan a pasos agigantados, lo que crea un entorno propicio para la investigación innovadora en CASD. El carácter multidisciplinar del CASD pone de manifiesto que la integración sólida y eficiente de los distintos subsistemas que forman parte del proceso de diseño del buque es una característica clave en los pasos de investigación futuros.

Referencias

[1] Ross DT. Origins of the APT language for automatically programmed tools. ACM SIGPLAN Notices 1978;13(8).

[2] Sorensen PF. AUTOKON and its further possibilities. In: Tanker and BulkCarrier. May 1968.

[3] Theilheimer F, Starkweather W. The fairing of ship lines on a high-speed electronic computer. DTMB rept. 1474. Bethesda, MD; 1961.

[4] Bézier P. Définition numérique des courbes et surfaces, parts I et II. Automatisme 11 (1966) 1967;12:17-21.

[5] Riesenfeld R. Applications of b-spline approximation to geometric problems of computer-aided design. Ph.D. thesis. Dept. of Computer Science, Syracuse University; 1973.

[6] Piegl L, Tiller W. Curve and surface constructions using rational B-splines. Comput Aided Des 1987;19:485-98.

[7] Coons SA. Surfaces for computer-aided design of space figures. Unpublished notes, M.I.T., Mechanical Eng. Dept., Cambridge, MA, January 1964.

[8] L Birk, S Harries (Eds.), OPTIMISTIC-optimization in marine design. In: Course notes, 39th WEGEMT summer school. 2003.

[9] Pierre D. Optimization theory with applications. New York: Dover Publ; 1986.

[10] Chernoff H, Moses L. Elementary decisionTheory. New York: Dover Publ; 1986.

[11] Poloni C, Pediroda V. Genetic algorithms -basics, multi-criteria optimization and constraints handling. In: Course notes, 39th WEGEMT summer school. 2003., p. 83-110.

[12] Bertram V. Optimization in ship design. In Course notes, 39th WEGEMT summerschool. 2003., p. 27-52.

[13] Nowacki H. Design synthesis and optimization-an historical perspective. In: Course notes, 39th WEGEMT summer school. 2003, p. 1-26.

[14] Birk L. Introduction to nonlinear programming. In: Course notes, 39th WEGEMT summer school. 2003., p. 53-82.

[15] Hoschek J, Lasser D. Fundamentals of computer aided geometric design. Wellesley (MA): A.K. Peters Publ; 1996.

[16] Ye X, Nowacki H. Ensuring compatibility of G2-continuous surface patches around a nodepoint. Comput Aided Geom Design 1996;13:931-49.

[17] Ye X. Curvature continuous interpolation of curve meshes. Comput Aided Geom Design 1997;14:169-90.

[18] Westgaard G, Nowacki H. A process for surface fairing in irregular meshes. Comput Aided Geom Design 2001;18:619-38.

[19] Applegarth I, Kaklis PD, Wahl S, editors. Benchmark test on the generation of fair shapes subject to constraints. Stuttgart-Leipzig: B.G. Teubner; 2000.

[20] Nowacki H, Westgaard G, Heimann J. Creation of fair surfaces based on higher order fairness measures with interpolation constraints. In: Nowacki H, Kaklis PD, editors. Creating fair and shape-preserving curves and surfaces. Stuttgart-Leipzig: B.G. Teubner; 1998. p. 141-61.

[21] Nowacki H, Kaklis PD, Weber J. Curve mesh fairing and GC2 surface interpolation. In: Modélisation Mathématique et Analyse Numérique, Vol. 26. Paris: AFCET Gauthier-Villars; 1992. p. 113-35.

[22] Nowacki H, Bloor MIG, Oleksiewicz B. Computational geometry for ships. Singapore, New Jersey, London, Hong Kong: World Scientific Publ.; 1995.

[23] Nowacki H. Five decades of computer-aided ship design. Computer –Aided Design, Elsevier, 42(2010); 956-969.

[24] Papanidolaou Apostol. Holistic ship design optimization. Computer Aided Design, Elsevier, 42(2010); 1028-2044.

[25] http://www.formsys.com/maxsurf

[26] http://www.aerohydro.com/products/marine/multisurf.htm

[27] Harries S, Nowacki H. Form parameter approach to the design of fair hull shapes. In: Chryssostomidis C, Johansson K, editors. Proc. 10th ICCAS. Cambridge (MA): MIT Sea Grant Publication; 1999. p. 341-56.

[28] Moe J, Lund S. Cost and weight minimization of structures with special emphasis on longitudinal strength members of tankers. Trans RINA 1968; 110(1).

[29] DenisMSt, Pierson WJ. On the motions of ships in confused seas. Trans SNAME 953; 61:280.

[30] Wendel K. Safety by subdivision. the assessment of subdivisions. J STG 1961; 55:190-208 [in German].

[31] Hughes O. Ship structural design: A rationally-based, computer-aided, optimization approach. Jersey City: SNAME; 1988.

Bol. Soc. Esp. Mat. Apl.
n^{o}3(2012), 9–14

ECUACIONES DIFERENCIALES EN LA SECCIÓN DE PROBLEMAS DE *EL PROGRESO MATEMÁTICO*

ANTONIO M. OLLER MARCÉN

Centro Universitario de la Defensa
Academia General Militar

oller@unizar.es

Resumen

En 1891, editada por Zoel García de Galdeano, comenzó a publicarse en Zaragoza *El Progreso Matemático*. Se trataba de la primera revista española íntegramente dedicada a las matemáticas. Desde el número 8 apareció una sección dedicada a cuestiones propuestas y resueltas por los lectores. La mayor parte de las 351 cuestiones que allí se propusieron fueron de contenido geométrico. No obstante, tres de ellas implicaban la resolución de ecuaciones diferenciales. En este breve trabajo presentamos esas tres cuestiones junto con las soluciones originales dadas a dos de ellas.

Palabras clave: *El Progreso Matemático, García de Galdeano, Siglo XIX, Ecuación diferencial, Ecuación en derivadas parciales.*

Clasificación por materias AMS: *01A55, 34-03, 35-03.*

1 Introducción

Zoel García de Galdeano y Yanguas nació en Pamplona en 1846. Fue perito agrimensor, maestro, licenciado en Filosofía y Letras y, finalmente, licenciado en Ciencias Exactas en 1871. Ocupó cátedras en institutos de diversas ciudades españolas (Ciudad Real, Almería y Toledo) para terminar ocupando una Cátedra en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza (la de Geometría Analítica primero y la de Cálculo Infinitesimal después) desde 1889 hasta 1918. Falleció en Zaragoza en 1924. Este brevísimo apunte biográfico no debe ocultar la dilatada experiencia vital y profesional de García de Galdeano, de la que se da cumplida cuenta en trabajos como los de Rodríguez Vidal [8] o Elena Ausejo [1].

El 20 de enero de 1891 apareció en Zaragoza, editado y dirigido por García de Galdeano, el primer número de *El Progreso Matemático*. Su aparición se justifica, en palabras del propio editor, en que "es un hecho sorprendente que en España, donde tantos periódicos se publican, destinados a los fines más diversos, no exista uno cuyo objeto exclusivo sea la propaganda y el desenvolvimiento de las ciencias matemáticas". En efecto, se trató de la primera publicación periódica española dedicada íntegramente a temas matemáticos.

Sobre los contenidos, la temática y el alcance de la revista puede consultarse el trabajo de Mariano Hormigón [2]. Según se indica allí, la estructura general de la revista era la propia de las publicaciones similares de la época:

1. Artículos y memorias sobre temas matemáticos (sección doctrinal).
2. Sección bibliográfica.
3. Artículos sobre filosofía, pedagogía e historia de las matemáticas.
4. Asuntos de información varia.

En este cuarto punto, dedicado a la "información varia", comezaron a aparecer a partir del número 7 de la revista cuestiones propuestas a los lectores para su resolución. Muy rápidamente estas cuestiones propuestas y sus soluciones pasaron a constituir una parte importante de la revista, llegando a convertirse en una sección fija hasta el último número de la misma.

Figura 1: Retrato de Zoel García de Galdeano.

El Progreso matemático

PERIÓDICO DE MATEMÁTICAS PURAS Y APLICADAS

Director: D. Zoel G. de Galdeano

Año I. | Zaragoza 20 de Enero de 1891. | Núm. 1.º

Figura 2: Encabezamiento del primer número de *El Progreso Matemático.*

2 La sección de problemas de *El Progreso Matemático*

En la sección de variedades del número 7 de la revista (20 de julio de 1891) aparecieron dos problemas transcritos del *Journal des Mathématiques Elementaires*[1]. Dichos problemas se presentan al hilo de una recensión de los números de junio y julio de la citada revista, sin una aparente intención de continuidad.

Sin embargo, en la sección de variedades del número 8 (20 de agosto de 1891), aparece una “advertencia importante” en la que se indica el interés de “no descuidar otros puntos de vista. Uno de estos es el que originan las cuestiones por resolver [...], como aliciente que ponga en juego la actividad de los lectores”. Con esta advertencia ve la luz una nueva sección del periódico que aparecerá consistentemente en todos los números de las dos etapas de la revista (excepto tan solo en 3 de ellos) desde este momento y hasta la desaparición total de la misma.

En este número 8 se inicia la numeración de las cuestiones propuestas (en las dos que se presentaron en el número 7 se indicó su numeración original en el *Journal des Mathématiques Elementaires*). Inicialmente se presenta una colección de cuestiones que quedaron sin resolver en el periódico *Nouvelle Correspondence Mathématique*[2]. Sin embargo pronto comienzan a aparecer cuestiones propuestas específicamente para el *Progreso* por parte de

[1]Dirigida por el francés Gaston Albert Gohierre de Longchamps (1842-1906) entre 1882 y 1896.

[2]Cofundado por Catalan (ver nota 6 posterior) en 1874. Posteriormente, en 1881, fue sucedido por el periódico *Mathesis* que se publicó hasta 1965.

algunos colaboradores (especialmente Brocard[3] y Van Aubel[4]). Ya en el número 13 (15 de enero de 1892) aparece la primera cuestión propuesta por un colaborador español: J.J. Durán Loriga[5].

A lo largo de los 4 años (54 números) en los que se editó *El Progreso Matemático* en su primera etapa, aparecieron un total de 260 cuestiones. En su segunda etapa, que constó de 16 números editados a lo largo de 2 años, se propusieron 91 cuestiones más, para un total de 351. De estas 351 cuestiones, al cierre de la revista en diciembre de 1900 quedaron sin resolver un total de 99 (51 de la primera época y 48 de la segunda).

La temática de las cuestiones propuestas está muy acorde con los gustos de la época. La geometría [3] ocupa un lugar fundamental. De las 351 cuestiones propuestas, tan sólo 39 son de temática no geométrica. Predominan las búsquedas de lugares geométricos, las construcciones de triángulos y cuadriláteros a partir de ciertos datos o propiedades y, en general, la llamada geometría del triángulo.

3 Las ecuaciones propuestas en la sección de problemas

De las 39 cuestiones no relacionadas con la geometría que aparecieron a lo largo de la existencia de la revista, 2 consistieron en la resolución de ciertas ecuaciones diferenciales y otra más en la resolución de una ecuación en derivadas parciales. En concreto se trata, respectivamente, de las cuestiones 11 (aparecida en el número 9) y 176 (en el número 40) y de la cuestión 341 (aparecida en el número 13-14 de la segunda época).

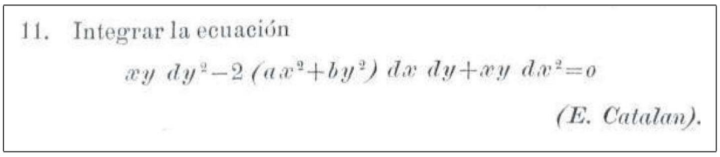
Las dos primeras fueron resueltas en números muy posteriores (quizás indicando el poco interés que suscitaba dicho tipo de ejercicios entre los lectores del momento), mientras que la tercera quedó sin resolver al cesar la edición de la revista.

3.1 La cuestión 11

Esta cuestión apareció en el número 9 (20 de septiembre de 1891) firmada por Eugène Catalan[6]. Se proponía resolver la siguiente ecuación:

$$xy\ dy^2 - 2(ax^2 + by^2)\ dxdy + xy\ dx^2 = 0.$$

La solución a esta cuestión apareció en el número 55, correspondiente al 2° semestre de 1895. Su autor fue Henri Brocard.


11. Integrar la ecuación

$$xy\ dy^2 - 2\,(ax^2 + by^2)\ dx\ dy + xy\ dx^2 = o$$

(E. Catalan).

Figura 3: Enunciado original de la cuestión 11.

3.2 La cuestión 176

Esta cuestión apareció en el número 40 (abril de 1894) propuesta por J. Gillet[7]. Se solicitaba resolver las ecuaciones[8]:

$$x = e^p + e^{-p}, \quad x = e^p - e^{-p}.$$

[3] Henri Brocard (1845-1922). Francés. Fue meteorólogo además de matemático. Experto en geometría, en particular en geometría del triángulo, donde diversos conceptos portan su nombre (puntos de Brocard, círculo de Brocard,. . .) [9].

[4] Belga. Enseñó en Amberes. Es bastante conocido, y lleva su nombre, el siguiente resultado: *Dado un cuadrilátero cualquiera en un plano, a partir de cada lado dibujamos un cuadrado apoyado en él. Entonces los segmentos que unen los centros de cuadrados situados en lados opuestos tienen la misma longitud y además son perpendiculares* [7].

[5] Juán Jacobo Durán Loriga (1854-1911). Coruñés. Llegó a ser comandante de artillería. Prolífico matemático, entre otras aportaciones acuñó el concepto de *potencia de un triángulo*, definida como la semisuma de los cuadrados de los lados [5].

[6] Eugène Catalan (1814-1894). Belga. Llevan su nombre los hoy llamados *números de Catalan* definidos mediante $C_n = \frac{1}{n+1}\binom{2n}{n}$.

[7] No hemos hallado datos biobibliográficos sobre este autor.

[8] El proponente indica que "según constumbre, $p = \dfrac{\partial y}{\partial x}$."

La solución de esta cuestión se publicó en el número 2 de la segunda época, correspondiente a junio de 1899. Su autor fue Ricardo Caro[9].

176. Integrar las ecuaciones

$$x = e^p + e^{-p}, \quad x = e^p - e^{-p}$$

donde, según costumbre, $p = \frac{\partial y}{\partial x}$

(*J. Gillet.*)

Figura 4: Enunciado original de la cuestión 176.

3.3 La cuestión 341

Esta cuestión fue propuesta en el número 13-14 de la segunda época (julio y agosto de 1894) por parte de G. Pirondini[10]. Consistía en resolver la siguiente ecuación en derivadas parciales (siendo A y B constantes):

$$A\frac{\partial^5 z}{\partial y^2 \partial x^3} + B\frac{\partial^4 z}{\partial y^2 \partial x^2} + \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} = y.$$

Este problema quedó sin resolver tras la desaparición de la revista.

341. Integrar la ecuación de derivadas parciales siguiente:

$$\mathrm{A}\frac{\partial^5 z}{\partial y^2 \partial x^3} + \mathrm{B}\frac{\partial^4 z}{\partial y^2 \partial x^2} + \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} = y$$

siendo A y B constantes.

Figura 5: Enunciado original de la cuestión 341.

4 Las soluciones

En esta sección presentamos las soluciones originales dadas a las cuestiones 11 y 176. Tan sólo se han corregido algunos pequeños errores tipográficos.

4.1 Solución a la cuestión 11 (H. Brocard)

De la ecuación dada se deduce

$$\frac{dy}{dx} = \frac{-(ax^2 + by^2) \pm \sqrt{(ax^2 + by^2)^2 - x^2y^2}}{xy}$$

Haciendo $y^2 = tx^2$, se obtiene

$$2t + t'x = -2(a + bt) \pm 2\sqrt{(a + bt)^2 - t}$$

Las variables están separadas y el problema se reduce a las cuadraturas.

Según una indicación dada por el ilustre autor de la cuestión, se podrá continuar la deducción y escribir

$$(a + bt)^2 - t = (a + bt - z)^2$$

De esta nueva ecuación se obtendrá para la expresión de t,

$$t = \frac{z^2 - 2az}{2bz - 1}, \quad dt = 2\frac{bz^2 - z + a}{(2bz - 1)^2}\, dz$$

[9]Ricardo Caro (¿?-1918) Fue telegrafista, compatibilizand dicha profesión con sus estudios de Ciencias físico-matemáticas, que completó en 1897. Fue catedrático de la Escuela Industrial de Tarrasa desde 1903 [6].

[10]Geminiano Pirondini (1857-1914). Italiano. Estudió en Pisa. Publicó unos 90 trabajos sobre geometría diferencial y aplicaciones a las geometrías no euclídeas [4].

Se podría escribir también la ecuación propuesta como sigue:

$$x^2y^2dy^2 + 2(ax^2 + by^2)xydxdy + x^2y^2dx^2$$

y por la sustitución $y^2 = tx^2$, se reduciría a

$$4\left(\frac{dx}{x}\right)^2 [(2b+1)t + 2a + 1] + 4\left(\frac{dx}{x}\right)[a + (b+1)t]dt + dt^2 = 0$$

se sustituirían t y dt por los valores en función de z, y se separarían las variables.

La serie de transformaciones es demasiado complicada para exponerla aquí, y no parece deba conducir a una integral algebraica.

4.2 Solución a la cuestión 176 (R. Caro)

1. Sea la primera ecuación que podemos poner en esta forma, $\frac{x}{2} = \frac{e^p + e^{-p}}{2}$ o sea, $\frac{x}{2} = \cosh p$. Pasando a la función inversa, tendremos

$$p = \arg\cosh\frac{x}{2} \quad \text{ó} \quad \frac{dy}{dx} = \log\left(\frac{x}{2} \pm \sqrt{\frac{x^2}{4} - 1}\right)$$

de donde, $dy = \log\left(\frac{x}{2} \pm \sqrt{\frac{x^2}{4} - 1}\right)dx$

e integrando, $y = \int \log\left(\frac{x}{2} \pm \sqrt{\frac{x^2}{4} - 1}\right)dx$

Podemos integrar el segundo miembro empleando la fórmula de Bernouilli, así

$$y = x\cdot\log\left(\frac{x}{2} \pm \sqrt{\frac{x^2}{4} - 1}\right) - \int\frac{x\ dx}{\sqrt{x^2-4}} = x\cdot\log\left(\frac{x \pm \sqrt{x^2-4}}{2}\right) - \sqrt{x^2-4} + C$$

2. La segunda ecuación podemos ponerla bajo la forma $\frac{x}{2} = \operatorname{senh} p$, y mediante igual procedimiento, se llega a

$$y = x\cdot\log\left(\frac{x \pm \sqrt{x^2+4}}{2}\right) - \sqrt{x^2+4} + C$$

5 Completando la cuestión 11

La solución dada a la cuestión 11 nos resulta relativamente insatisfactoria por hallarse incompleta. En realidad, una vez transformada la ecuación inicial en

$$2t + t'x = -2(a+bt) \pm 2\sqrt{(a+bt)^2 - t}$$

se puede realizar directamente la transformación dada $(a+bt)^2 - t = (a + bt - z)^2$, con lo que se obtiene

$$2t + t'x = \begin{cases} -2z \\ -4(a+bt) + 2z \end{cases}$$

dependiendo de la elección de signos.

Si en estas expresiones sustituimos los valores

$$t = \frac{z^2 - 2az}{2bz - 1}, \quad dt = 2\frac{bz^2 - z + a}{(2bz-1)^2}\ dz$$

se llega, respectivamente, a que

$$\frac{dx}{x} = \begin{cases} \dfrac{2bz^2 - 2z + 2a}{z(2bz-1)((-4b-2)z + 4a + 2)}dz \\ \dfrac{2bz^2 - 2z + 2a}{(z+1)(2bz-1)(-2z+4a)}dz \end{cases}$$

Para terminar basta con integrar en ambos lados de la igualdad, observando que en el lado derecho se puede efectuar la descomposión en fracciones simples muy fácilmente.

6 Epílogo. La cuestión 341

Como cabía esperar de acuerdo con el momento histórico en que se editó *El Progreso Matemático*, la resolución de ecuaciones diferenciales o de ecuaciones en derivadas parciales no era el tema preferido de los colaboradores y lectores de la revista. Se explica así el escaso número de problemas de este tipo en la sección de cuestiones propuestas y también el largo tiempo transcurrido entre la propuesta y su solución (46 números en el caso de la cuestión 11).

Resulta curioso además el hecho de que las ecuaciones propuestas se presenten aisladas de todo contexto físico o geométrico, careciendo de pistas que nos indiquen su origen. Quizás sería interesante descubrir, si es que existen, los fenómenos que dichas ecuaciones modelizan o las curvas que definen.

Finalmente, queda sin solución la cuestión 341:

$$A\frac{\partial^5 z}{\partial y^2 \partial x^3} + B\frac{\partial^4 z}{\partial y^2 \partial x^2} + \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} = y.$$

La rescatamos del olvido para que los lectores que lo deseen puedan resolverla. Después de todo, 112 años es mucho tiempo para que una cuestión quede sin resolver.

Referencias

[1] E. Ausejo. Zoel García de Galdeano y Yanguas (Pamplona, 1846 - Zaragoza, 1924). *Números. Revista de Didáctica de las Matemáticas*, 73:5–22, 2010.

[2] M. Hormigón. El Progreso Matemático (1891-1900). Un estudio sobre la primera revista matemática española. *Llull*, 4:87–115, 1981.

[3] M. Hormigón. García de Galdeano (1846- 1924) y la modernización de la Geometría en España *Dynamis: Acta hispanica ad medicinae scientiarumque historiam illustrandam*, 3:199–119, 1983.

[4] E.A. Marchisotto y J.T. Smith . *The Legacy of Mario Pieri in Geometry and Arithmetic.* Birkhäuser, Boston, 2007.

[5] R. Moreno Castillo. La potencia de un triángulo, un concepto acuñado por un matemático gallego. *Actas do V Simposio de Historia e Ensino das Ciencias*, Xosé A. Fraga (ed.), 603–610, 1995.

[6] S. Olivé. *Historias de Telégrafos.* Publicación on-line disponible en la web http://www.telegrafistas.com/serial77/historia/adobe/24-inventores2.pdf.

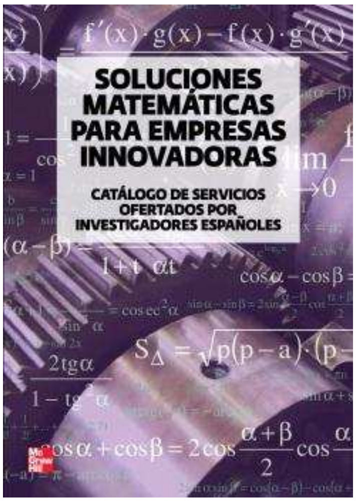
[7] J.R. Silvester. Extensions of a theorem of Van Aubel. *Math. Gaz.*, 90: 2–12, 2006.

[8] R. Rodríguez Vidal. Homenaje a la memoria de D. Zoel García de Galdeano. *Gaceta Matemática*, 1-2:3–7, 1964.

[9] D. Wells. *The Penguin Dictionary of Curious and Interesting Geometry*. Penguin, London, 1991.

Soluciones matemáticas para empresas innovadoras. Catálogo de servicios ofertados por investigadores españoles
Peregrina Quintela, Guadalupe Parente, María Teresa Sánchez y Ana Belén Fernández
Editorial McGrawHill ISBN 978-84-481-8227-4

Peregrina Quintela, Guadalupe Parente, María Teresa Sánchez y Ana Belén Fernández



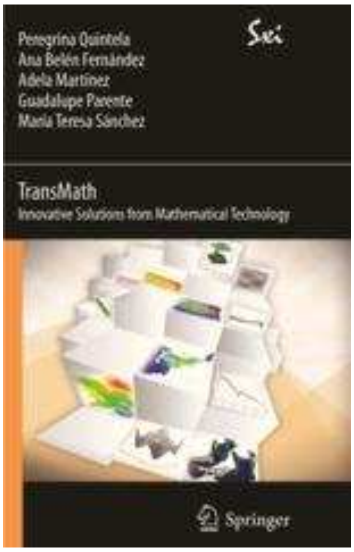
Este libro recoge las capacidades y la experiencia de los 62 grupos de investigación españoles con mayor actividad en transferencia de tecnología matemática orientada a la empresa. De esta forma, se pretende acercar a las pequeñas, medianas y grandes empresas una tecnología con un gran potencial, con investigadores muy cualificados y que no necesita de grandes inversiones para su uso.

En su interior, se identifica la experiencia y oferta investigadora de cada grupo, clasificada en 23 sectores de actividad económica: Administraciones Públicas, Aeronáutica, Agricultura, Alimentación, Automoción, Biomedicina y Farmacia, Construcción, Defensa, Economía y Finanzas, Energía, Espacio, Estudios Sociales, Ganadería, Informática y Comunicaciones, Logística, Materiales, Medio Ambiente, Naval, Gestión y Conservación del Patrimonio, Recursos Marinos y Acuicultura, Sanidad, Transporte y Turismo y Ocio.

Este catálogo es una guía de ayuda sobre la capacidad de las técnicas matemáticas, además de mostrar la demanda empresarial existente en las mismas. De esta forma, se intenta mostrar el papel relevante que la tecnología matemática juega en nuevas propuestas de innovación, contribuyendo a desarrollar soluciones eficientes a problemas sociales, económicos y tecnológicos.

TransMath. Innovative Solutions from Mathematical Technology
Peregrina Quintela, Guadalupe Parente, María Teresa Sánchez y Ana Belén Fernández
Springer series: Springer for Innovation ISBN 978-88-470-2405-2

Peregrina Quintela, Guadalupe Parente, María Teresa Sánchez y Ana Belén Fernández



Este libro ha sido concebido como un instrumento para transferir el conocimiento matemático y sus técnicas al sector industrial y a la sociedad.

Incluye una lista completa de proyectos industriales exitosos, desarrollados por grupos de investigación españoles, para ayudar a los lectores a vislumbrar el nivel de demanda e implementación de la tecnología matemática en empresas de todos los sectores de actividad económica. De esta forma, se ilustran las ventajas de usar técnicas matemáticas para desarrollar innovación en la industria.

Para ayudar a los lectores profesionales en la lectura de este libro, toda la información está clasificada en once sectores de actividad económica: Biomedicina y Salud, Construcción, Economía y Finanzas, Energía y Medio ambiente, Alimentación, Tecnología de la Información y Comunicación (TIC), Logística y Transporte, Turismo y Ocio, Metal y Maquinaria, Administración Pública y Servicios.

Direcciones útiles

Grupo Editor del Boletín electrónico de S$\vec{e}$MA

Sergio Amat Plata. (sergio.amat@upct.es)
Dpto. de Matemática Aplicada y Estadística. Univ. Politécnica de Cartagena. Paseo de Alfonso XIII, 52. 30203 Cartagena (Murcia). *Tel:* 968 325 694.

Carlos Angosto Hernández. (carlos.angosto@upct.es)
Dpto. de Matemática Aplicada y Estadística. Univ. Politécnica de Cartagena. Paseo de Alfonso XIII, 52. 30203 Cartagena (Murcia). *Tel:* 968 325 588.

Sonia Busquier Sáez. (sonia.busquier@upct.es).
Dpto. de Matemática Aplicada y Estadística. Univ. Politécnica de Cartagena. Paseo de Alfonso XIII, 52. 30203 Cartagena (Murcia). *Tel:* 968 325 582.

María Moncayo Hormigo. (maria.moncayo@upct.es).
Dpto. de Matemática Aplicada y Estadística. Univ. Politécnica de Cartagena. Doctor Fleming, s/n. 30202 Cartagena (Murcia). *Tel:* 968 338 887.

José Alberto Murillo Hernández. (alberto.murillo@upct.es).
Dpto. de Matemática Aplicada y Estadística. Univ. Politécnica de Cartagena. Doctor Fleming, s/n. 30202 Cartagena (Murcia). *Tel:* 968 338 912.

Responsables de secciones del Boletín electrónico de S$\vec{e}$MA

Boletín Electrónico:

Inmaculada Higueras Sanz. (higueras@unavarra.es).
Dpto de Matemática e Informática Univ. Pública de Navarra. Campus de Arrosadía, s/n. 31006 Pamplona. *Tel:* 948 169 526.

Matemáticas e Industria:

Mikel Lezaun Iturralde. (mepleitm@lg.ehu.es).
Dpto. de Matemática Aplicada, Estadística e I. O. Fac. de Ciencias. Univ. del País Vasco. Aptdo. 644. 48080 Bilbao (Vizcaya). *Tel:* 944 647 700.

Educación Matemática:

Francisco Ureña. (francisco.urena@uclm.es).
Dpto. de Matemáticas. ETSI. Industriales. Univ. de Castilla La Mancha. 13071 Ciudad Real.

Anuncios, Resúmenes de tesis doctorales y libros:

Francisco Javier Sayas. (fjsayas@math.udel.edu).
Department of Mathematical Sciences. University of Delaware. 501 Ewing Hall. Newark. DE 19716. USA.

Responsables de otras secciones de S$\vec{e}$MA

Gestión de Socios:

Juan Belmonte Beitia. (juan.belmonte@uclm.es).
Dpto. de Matemáticas. E.T.S.I. Industriales. Univ. de Castilla-La Mancha. Avda. de Camilo José Cela, s/n. 13071 Ciudad Real. *Tel:* 926 295 300 ext. 6376. *Fax:* 926 295 361.

Página web: www.sema.org.es/**:**

Julio Moro Carreño. (jmoro@math.uc3m.es).
Dpto. de Matemáticas. Univ. Carlos III de Madrid. Avda. de la Universidad, 30. 28911 Madrid. *Tel:* 91 336 6766.