

Pedro José Sosa y su contribución a la matemática y la ingeniería colombiana

DEISY YANIRA CAMARGO G.

Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia

ABSTRACT. We present the New–Granadian (Panamanian) Engineer PEDRO JOSÉ SOSA’s valuable contributions to engineering and mathematics. His main contribution to Colombian mathematics is an introductory paper on quaternions (1890–1891), where both quaternion and vector calculus clearly and systematically are presented. His contribution to engineering regards to his work in the planning and initial construction of the Panama Canal.

Key words and phrases. History of Mathematics and Engineering, Colombia, Panama, 19th Century, Quaternion and vector calculus.

2000 AMS Mathematics Subject Classification. Primary: 01A70. Secondary: 01A55.

RESUMEN. La intención de este trabajo es dar a conocer la valiosa contribución del ingeniero neogranadino (panameño) PEDRO JOSÉ SOSA, a la matemática y la ingeniería colombiana. La contribución a la matemática, se refiere al artículo *Introducción elemental al cálculo de los cuaternios*, en el cual presenta de forma ordenada y sistemática el cálculo vectorial y el cálculo de los cuaternios, siendo este el primer escrito por colombianos sobre estos temas. Su importante contribución a la ingeniería está representada por su labor en la planeación y construcción del Canal de Panamá.

1. Introducción

A mediados del siglo XIX muchas familias colombianas enviaron a sus hijos al exterior a estudiar ingeniería, con el propósito de que luego regresaran a aplicar lo aprendido en su país.

La salida de estos jóvenes al exterior sirvió para renovar los viejos conocimientos heredados de los españoles y traer nueva tecnología a la Nueva Granada¹, además, proporcionó profesionales calificados para las construcciones y proyectos que se realizaron en Colombia, al igual que para la enseñanza básica y universitaria.

PEDRO JOSÉ SOSA fue uno de estos jóvenes enviados al exterior a estudiar, pero al regresar su interés fue más allá de aplicar lo aprendido, pues estaba atraído por la matemática como ciencia. Ejemplo de esto es su artículo *Introducción elemental al cálculo de los cuaternios* del cual hablaremos con más detalle más adelante.

El propósito de esta nota es mostrar la importancia del ingeniero SOSA para la matemática y la ingeniería colombiana, y realizar un corto análisis de su trabajo sobre los cuaternios.

2. Colombia y las ciencias en el siglo XIX

En el siglo XIX, en Colombia, se impulsó la formación de ingenieros y científicos, con la esperanza –heredada de la ilustración– de que a la postre estos hombres representarían utilidad económica y traerían modernización al país. Y aunque el desorden político, la debilidad financiera y fiscal, y la falta de oportunidades profesionales y de negocios, fueron importantes obstáculos en la realización de esta meta. Se lograron importantes empresas que contribuyeron a la realización de este proyecto.

El primer intento oficial por incluir las ciencias en los planes de estudio de los colegios, casas de educación y universidades, lo realizó el gobierno de PEDRO ALCÁNTARA HERRÁN (1841-1845), en manos de MARIANO OSPINA RODRÍGUEZ, secretario del interior. OSPINA propuso que en cada universidad hubiera una *Facultad de ciencias físicas y matemáticas*² cuyo plan de estudios contenía gran cantidad de materias relacionadas con la física, la matemáticas y la ingeniería, lo cual contrasta con la famosa carta que años más tarde OSPINA envió a sus hijos cuando estudiaban ingeniería de minas en California:

“No se metan con lo más alambicado de la mecánica analítica y de las matemáticas trascendentales cargándose de preferencia a lo aplicable a la práctica y procurando adquirir los conocimientos de los que llaman ingenieros mecánicos. Hay ciencias muy atractivas pero poco provechosas como la Botánica, la Zoología, la Astronomía, que deben dejarse a los ricos, y en el mismo caso se hallan la Literatura, la Religión y la Moral.”

¹La República de Colombia ha tenido distintos nombres a lo largo de su historia. Entre 1832 y 1857 se llamaba la Nueva Granada [12, pág. 17].

²El plan de estudios puede encontrarse en el anexo 2.

Una de las empresas definitivas y permanentes en la consolidación de las ciencias y la ingeniería en Colombia, en particular en Bogotá, es la creación de las Escuelas de Ciencias Naturales e Ingeniería en la Universidad Nacional de Colombia en 1868 [5]. La Escuela de Ingeniería³, adoptó los instrumentos, libros y demás objetos que aún existían del Colegio Militar, así como gran parte del pensum académico, y otorgaba el título de ingeniero civil⁴.

Como podemos apreciar, entre estas empresas hubo un intervalo de tiempo relativamente grande. Por tanto, muchos de los adelantos técnicos y científicos que llegaron a Colombia, vinieron de la mano de jóvenes colombianos que estudiaron en el extranjero.

3. Biografía de PEDRO JOSÉ SOSA

PEDRO JOSÉ SOSA nació el 19 de mayo de 1851, en el Departamento de Panamá, de la entonces Nueva Granada. Recibió su educación básica en Panamá y luego se trasladó a los Estados Unidos donde realizó sus estudios Universitarios en el *Rensselaer Polytechnic Institute* (RPI.) de Troy, en el estado de Nueva York. Allí se vinculó al club de remo de Rensselaer como consta en los archivos del Instituto [2].

Su trabajo final de grado se tituló *Review of the New Wrought Iron Girder Bridge over the Hudson River, at Troy, New York* (Revisión del nuevo puente de vigas de hierro forjado sobre el río Hudson, en Troy, Nueva York)⁵, con el cual obtuvo el título de Ingeniero Civil en el año de 1873⁶.

Entre 1873 y 1875 se desempeñó como ingeniero en Estados Unidos y México, según nos cuenta DIÓDORO SÁNCHEZ [15, pág. 259].

Regresó a los Estados Unidos de Colombia⁷ en 1875 y pocos años después contrajo matrimonio con la señora EUGENIA JOVANÉ DÍAZ.

En los Estados Unidos de Colombia participó en el proyecto del Ferrocarril del Norte, el proyecto de mayor envergadura de la época, cuya construcción estaba planeada para que se extendiese desde un punto del río Magdalena navegable en cualquier tiempo del año hasta Bogotá; este proyecto se truncó por la inestabilidad política de la época y SOSA regresa a Panamá.

En Panamá se incorporó a las dos expediciones de campo que se realizaron para la planeación y construcción del Canal.

³El plan de estudios de esta escuela, puede verse en el anexo 3

⁴Sobre el desarrollo de la Escuela de ingeniería, se puede consultar [5], [8], [11], [12] y [18].

⁵Desconocemos si aún existen copias de este trabajo en el Politécnico Rensselaer. Si tal es el caso sería interesante tener una copia para entender el desempeño de SOSA como ingeniero.

⁶ALFARO señala en su trabajo que: “[SOSA] obtuvo con honores el diploma de ingeniero civil” [1, pág. 57], esto aumenta nuestro interés por conocer su trabajo de grado .

⁷Nombre que tuvo Colombia entre 1869–1886.

Luego de los trabajos de exploración y trazado, SOSA ocupó el puesto de *Jefe de control técnico y del departamento topográfico* de *La Compañía Universal del Canal Interoceánico de Panamá* [10] y unos años después reemplazó al ingeniero RÉCLUS como inspector de las obras de estudios, trabajos y hospitales.



Pedro J. Sosa

PEDRO J. SOSA. Busto de PIERRE FÉLIX MASSEAU⁸ en la Plaza de Francia, Ciudad de Panamá.

En el *Congreso Universal del Canal Interoceánico de Panamá* que se celebró en París el 15 de mayo de 1879, se acordó la línea para el Canal, de Panamá a Colón, y se la llamó la línea WYSE-RÉCLUS-SOSA, en honor a los ingenieros LUCIANO NAPOLEÓN BONAPARTE WYSE, ARMAND RÉCLUS y PEDRO J. SOSA, quienes la habían trazado. El gobierno francés condecoró por esta razón a SOSA con la **Legión de Honor**, en el grado de caballero de la Orden.

Se vinculó a la Sociedad Colombiana de Ingenieros, después de recibir una carta invitadora el 24 junio de 1887.

⁸PIERRE FÉLIX MASSEAU (Lyon, 1896 – París,1937). Célebre escultor francés. Entre sus obras se encuentra un hermoso busto de L. van Beethoven, que reposa en el Museo Beethoven en Bonn. Sus obras aún siguen subastándose.

SOSA muere prematuramente el 4 de julio de 1898 a sus 47 años, en compañía de su hijo mayor JOSÉ ANTONIO SOSA, al zozobrar el buque francés *La Bourgogne* cuando se dirigía a París para representar a Colombia en el *Congreso Internacional de Ingenieros*.

Inmediatamente después de la muerte de SOSA, le rindieron honores mediante decretos, proposiciones y resoluciones,

- El senado de la República de Colombia [7].
- La Gobernación del Departamento de Panamá [3].
- El Directorio Liberal del Departamento de Panamá (véase [15, pág. 276]).
- La Sociedad Colombiana de Ingenieros (en [4]).

En homenaje a SOSA, el gobierno de Panamá ha emitido dos sellos postales, el primero en el año de 1915⁹. El segundo emitido el 22 de noviembre de 1955 con motivo del 75 aniversario del inicio de la construcción del canal¹⁰.

3.1. Otros colombianos en el Rensselaer. En el Instituto Politécnico Rensselaer estudiaron en el siglo XIX cinco neogranadinos¹¹. De ellos se graduaron tres, incluyendo a SOSA, quien fue el primero. El segundo fue FABRICIANO BOTERO, graduado en 1885, hijo de JOSÉ MARÍA BOTERO y ROSALÍA DE BOTERO, nacido el 4 de julio de 1859, en El Retiro, estado de Antioquia, de los Estados Unidos de Colombia, antes de ingresar al Rensselaer, estudió dos años en la Universidad de Antioquia y uno en el Colegio Militar de Bogotá. Ingresó al IPR en 1882 y trabajó con la Keystone Bridge Company, de Pittsburgh, de 1885 a 1886, año en que regresó a Colombia [10, págs. 534–535]. El tercero fue RICARDO MANUEL ARANGO, graduado en 1886, hijo de JOSÉ AGUSTÍN ARANGO y JOSEFA MATILDA CHIARI DE ARANGO, nacido en el Estado de Panamá, Estados Unidos de Colombia, el 25 de diciembre de 1865. Ingresó al Instituto en septiembre de 1883, después de pasar algún tiempo en la Escuela Preparatoria de Minas de la ciudad de Nueva York [10, pág. 540]. Los estudiantes que no se graduaron fueron: LUIS G. JOHNSON (1877–8), de Medellín, y OCTAVIO A. PUYANA (1883–4), de Bucaramanga [10, págs. 578 y 581].

4. La contribución de SOSA a la matemática

4.1. *El artículo: Introducción elemental al cálculo de los cuaternios.* Adjunto a la carta enviada a la Sociedad Colombiana de Ingenieros el 31 de

⁹De color chocolate, formato rectangular, vertical, grabado en acero, impreso por la American Bank Note Company de EE.UU.

¹⁰Formato rectangular vertical, en tonos de verde, sin marca de agua, impreso por *La Estrella de Panamá*

¹¹Vea F. SAFFORD [12, pág. 226].

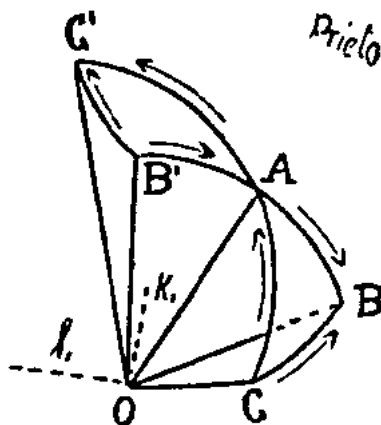
Diciembre de 1889, SOSA envió un artículo que él mismo describe como “Ligero tratado sobre la interesante teoría de los cuaternios”.

Este artículo tuvo problemas para ser impreso por la falta de tipos para los símbolos matemáticos. Al conocer esta situación SOSA hace llegar los tipos necesarios por barco desde New York, como donación a la Sociedad Colombiana de Ingenieros.

Luego de subsanar este tropiezo en la impresión, el artículo es publicado en la revista *Anales de Ingeniería* en nueve entregas; entre marzo de 1890 y agosto de 1891.

Es importante mencionar que este artículo, contiene gran cantidad de gráficas, todas bellamente realizadas por un tallador que firma de 4 formas distintas: *Prieto, Prieto. A, A.P y P.A.*

Una de estas gráficas es:



El artículo está dividido en dos secciones: En la primera aborda el tema de los vectores y en la segunda, utilizando lo aprendido y la notación de la sección anterior, introduce el cálculo de cuaternios.

Una revisión detallada de los textos que se utilizaron en el siglo XIX y principios del XX en Bogotá, nos mostró que aunque los ingenieros conocían la noción de vector como fuerza o velocidad en la física. Antes del trabajo de SOSA no se había planteado un tratamiento algebraico ni geométrico del concepto de vector.

Es por esto que consideramos que el trabajo de Sosa es de gran importancia para la matemática, por ser el primero, hasta el momento encontrado, en tratar estos temas y porque al escribirlo su intención era la de enseñar a sus lectores la importancia de estos temas e incentivar su utilización en la enseñanza y la práctica de la ingeniería.

A continuación presentamos algunos detalles representativos, de la exposición que SOSA hace del análisis vectorial.

Definición de vector.

Para facilitar la introducción del concepto de vector SOSA comienza por otorgarle dirección a un segmento, de la siguiente forma:

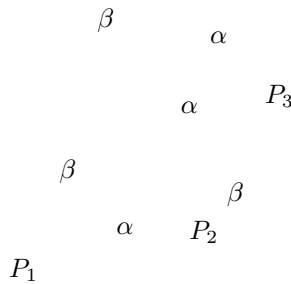
[. . .] indicar la dirección de un segmento por el orden de posición de los puntos que lo determinan. Así, AB indicará el segmento cuya dirección coincide con la de la trayectoria de un punto que se mueve en línea recta de A á B. [17, II, págs. 116-117]

Inmediatamente después encontramos la definición de vector:

A todo segmento rectilíneo considerado en el triple aspecto: longitud, paralelismo y dirección, se llama vector. Un vector envuelve la idea de una traslación rectilínea en el espacio, y puede considerarse como un agente de operación entre elementos geométricos [17, II,pág. 117].

Suma Vectorial.

Sean α y β dos vectores. Tomemos un punto cualquiera P_1 y a partir de él tracemos las líneas P_1P_2 y P_2P_3 una a continuación de la otra, respectivamente paralelas e iguales en magnitud y dirección a α y β .



Si $P_1P_2 = \alpha$ y $P_2P_3 = \beta$ y si establecemos que el signo “+” indique esta operación, tenemos $\alpha + \beta = \beta + \alpha = P_1P_3$

A continuación presentamos uno de los ejemplos demostrados por SOSA utilizando lo anteriormente explicado:

Ejemplo. Teorema de Menelao

Si los tres lados de un triángulo se cortan por una línea (sic) recta, el producto de los tres segmentos que no tienen extremidad común es igual al producto de los otros tres (véase [9, pág. 292]), del cual SOSA hace la siguiente demostración:

Sea ABC un triángulo cortado por la transversal $A'B'$, veamos que se tiene la siguiente igualdad entre las longitudes de los segmentos

$$BC' \cdot CB' \cdot AA' = AC' \cdot BB' \cdot CA' .$$

Reemplazando a x , y y z por sus valores tenemos:

$$\begin{aligned} \frac{CA'}{AA'} &= \frac{BC'}{AC'} \left(\frac{CB}{BB'} + 1 \right) \\ &= \left(\frac{CB + BB'}{BB'} \right) \cdot \frac{BC'}{AC'} \\ &= \frac{BC' \cdot CB'}{AC' \cdot BB'} \end{aligned}$$

entonces

$$1 = \frac{BC' \cdot CB' \cdot AA'}{AC' \cdot BB' \cdot CA'}, \quad \mathbf{o},$$

$$BC' \cdot CB' \cdot AA' = AC' \cdot BB' \cdot CA'. \quad \square$$

Los cuaternios.

La teoría de los cuaternios es desarrollada por HAMILTON a mediados del siglo XIX; tal teoría surge como respuesta a la pregunta de si es posible extender la división de vectores de \mathbb{R}^2 a \mathbb{R}^3 .

Aunque los cuaternios surgen como respuesta, la no conmutatividad de su producto y la imposibilidad de notarlos con menos de cuatro variables, desmotivan a más de un lector.

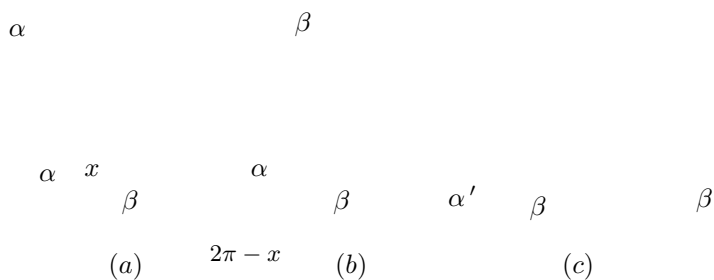
Los cuaternios como estructura abren un camino importante en el estudio del análisis y parecen ser la gran solución a muchos problemas planteados. Esto motiva a grandes matemáticos a interesarse por aprender y estudiar las múltiples aplicaciones de tan interesante teoría.

SOSA no fue ajeno a esta situación y se propone explicar por medio de su artículo los puntos más relevantes de este desarrollo, de forma que quien esté interesado tenga las herramientas para continuar un estudio personal.

División vectorial o cociente geométrico.

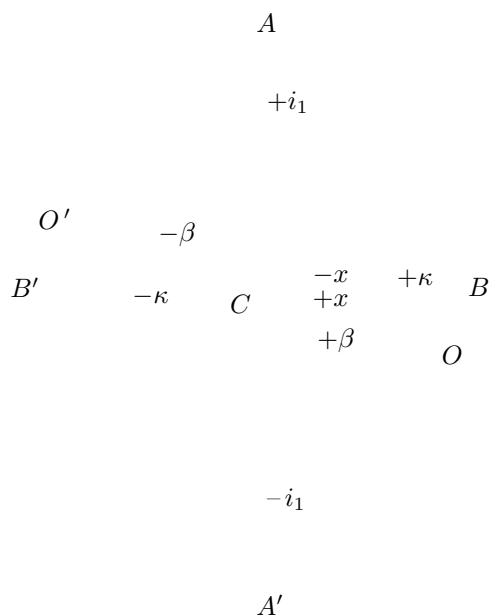
*Sean α y β dos vectores coinciales y x el ángulo comprendido entre ellos. Si hacemos girar uno de los vectores, á α , por ejemplo, en un ángulo x en el sentido que convenga hasta que coincida en dirección con el vector β y luego alteramos la longitud de α hasta que coincida con la longitud de β , podremos decir que hemos engendrado este último vector por medio de una operación ejecutada sobre α . A esta operación se da el nombre de **división vectorial o cociente geométrico**, y*

se escribe $\frac{\beta}{\alpha}$, si es α el vector sobre el cual se opera, y $\frac{\alpha}{\beta}$ si, por el contrario, lo es β .



El plano de los vectores se determina por medio de una recta perpendicular al plano que llamaremos *eje del plano*. Para ver cómo se determinan el ángulo descrito y la dirección de rotación, SOSA entra en las siguientes consideraciones.

Sean κ y β dos vectores de igual longitud y coinciales. Hagamos $CB = \kappa$ y $CO = \beta$. Sea AA' el eje del plano que pasa por el punto C y supongamos que los dos segmentos AC y AC' tienen igual longitud. El problema es determinar la posición del vector $CO = \beta$ con relación al movimiento de $CB = \kappa$.



Como κ y β tienen igual longitud los podemos suponer sobre un disco de centro en C y radio $T\kappa$. Supondremos, además, que CA es un vector unitario que notaremos con i_1 y que las direcciones de los vectores considerados son todas positivas, de modo que $CO' = -\beta$, $CB' = -\kappa$ y $CA' = -i_1$.

Para determinar la posición del vector β con relación al movimiento de κ se debe determinar el arco recorrido y las direcciones del eje y del movimiento.

La dirección del eje está determinada por el signo $+$ o $-$ como la de cualquier vector. Es decir, el eje dirigido tendrá sea la dirección de i_1 sea la de $-i_1$, lo cual nos permite considerar los vectores unitarios i_1 o $-i_1$ como los ejes del plano del cociente, cosa que SOSA supondrá de ahí en adelante [17, **IV**, pág. 211].

5. La contribución de SOSA a la ingeniería

5.1. El canal de Panamá. SOSA se incorporó a las dos expediciones de campo que se realizaron para la construcción del Canal. La primera entre diciembre de 1876 y abril de 1877 donde junto con los ingenieros GERSTER, MUSSO y BARBIER se encargaron del plano de Turia.

La segunda entre noviembre de 1877 y mayo de 1878, cuando por un problema de salud de RÉCLUS, SOSA tuvo que viajar solo para terminar las exploraciones de la región del Valle del Caimito y comenzar las exploraciones de la línea Chagres–Riogrande.

Luego de los trabajos de exploración y trazado, SOSA ocupó el puesto de *Jefe de control técnico y del departamento topográfico de La Compañía Universal del Canal Interoceánico de Panamá* [10] y unos años después reemplazó al ingeniero RÉCLUS como inspector de las obras de estudios, trabajos y hospitales.

5.2. Expedición al Darién. Ya hemos visto que SOSA se interesó por la labor práctica de la ingeniería y por la matemática como ciencia, pero su interés también estaba encaminado a la enseñanza en la ingeniería y al mejoramiento del nivel académico de los ingenieros colombianos.

Por eso en este artículo, explica los pormenores de las expediciones que se llevaron a cabo en Panamá para la adjudicación de los terrenos en los que se construyó el canal y explica el funcionamiento del **Compás Solar**, un instrumento para la medición topográfica y de gran importancia por su novedad y precisión.

5.3. Su relación con al Sociedad Colombiana de Ingenieros. La Sociedad Colombiana de Ingenieros lo invita a pertenecer a ella por medio de una carta, enviada el 24 de Junio de 1887.

Sosa acepta la invitación y envía el dinero correspondiente a su afiliación.

Poco tiempo después envía un primer artículo, titulado *Expedición al Darién*, el cual fué publicado en los *Anales de Ingeniería*, órgano difusor de la Sociedad, en el Vol. 1, No. 7 (1888), págs. 196–203.

Su segunda contribución es el artículo enviado en la carta del 31 de diciembre de 1889, que tituló *Introducción elemental al cálculo de los cuaternios*. y que la Sociedad publicó por entregas en los *Anales*, Vol. 4,5,6; Nos. 32, 40, 41, 43, 44, 46, 47, 48, 49.

Sosa contribuyó también a las relaciones entre la Sociedad Colombiana de Ingenieros y la Sociedad de Ingenieros Civiles del estado de New York.

Anexo 1

PLAN DE ESTUDIOS DE LA FACULTAD DE CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICAS.			
SECCIONES	Primera: MATEMÁTICAS	Segunda: CIENCIAS FÍSICAS	Tercera: CIENCIAS NATU- RALES
Cursos	En el primero y segundo año los cursos eran comunes a las tres secciones: álgebra, cálculo diferencial e integral, aplicaciones del álgebra a la geometría, trigonometría esférica, geometría descriptiva, física experimental, química general, geología, física vegetal, agricultura, zoología, anatomía y fisiología.		
TÍTULO DE BACHILLER EN CIENCIAS			
Cursos	Cuarto año: mecánica, ar- quitectura y astronomía	Cuarto año: química vege- tal y animal, aplicaciones de la química a industria y geología.	Cuarto año: zoo- logía, anatomía y fisiología.
TÍTULO DE LICENCIADO			

Anexo 2.

Pensum Universidad Nacional 1867		
MATERIAS		
AÑO	TEÓRICAS	TEÓRICO PRÁCTICAS
1ºo	Aritmética, Álgebra, Geometría, Trigonometría: –Rectilínea y –Esférica.	Dibujo 1: -Lineal.
2ºo	Geometría Analítica, Geometría Práctica, Geometría Descriptiva con aplicación a: -Teoría de sombras, -Perspectiva, -Topografía.	Dibujo 2: -Topográfico.
3ºo	Cálculo Diferencial, Cálculo Integral, Mecánica.	Dibujo 3: -Arquitectónico, -Problemas Gráficos de Mecánica.
4ºo	Geodesia, Maquinaria, Maquinaria.	
5ºo	Arquitectura, Contrucciones Civiles, Caminos, Puentes, Calzadas, Trabajos Hidráulicos.	

Bibliografía

- [1] ALFARO, RICARDO J. *Esbozos biográficos*. Prólogo de RODRIGO MIRÓ. Panamá: Academia Panameña de la Historia. (1982) Disponible en: <http://bdigital.binal.ac.pa/bdp/esbozos1.pdf>, <http://bdigital.binal.ac.pa/bdp/esbozos2.pdf>, <http://bdigital.binal.ac.pa/bdp/esbozos3.pdf>
- [2] *Archivos del Instituto Politécnico de Rensselaer*, Troy, Nueva York.
- [3] *Archivos del Departamento de Panamá*. Decreto No. 47 del 12 de julio de 1898.
- [4] *Archivos de la Sociedad Colombiana de Ingenieros*. En particular el Libro copiadador.
- [5] Anales de la Universidad (AUN), (1868) *Contrato celebrado con el doctor Antonio Vargas Vega para las enseñanzas en el Colejio (sic) de San Bartolomé*, Tomo 1, págs. 10-59.
- [6] ALBIS GONZÁLEZ, VÍCTOR SAMUEL. *Vicisitudes del postulado euclideo en Colombia*. Revista de la Acad. Col. de Cienc. Vol. 21, No. 80, (1997) págs. 281-293.
- [7] *Diario Oficial*. República de Colombia, **34** (No. 10731, 15 de agosto), (1898).
- [8] ECHEVERRI, ALBERTO; OSORIO, DIEGO; SALDARRIAGA, ÓSCAR; ZAPATA, VLADIMIR. & ZULUAGA, OLGA LUCÍA. *La instrucción pública en Colombia, 1819-1902: Surgimiento y desarrollo del sistema educativo*. En O.L.Zuluaga Garcés & G. Ossenbach Sauter (Compiladoras), *Génesis y desarrollo de los sistemas educativos iberoamericanos siglo XIX*. Bogotá: Magisterio. (2004).
- [9] GOW, JAMES. *A short history of greek Mathematics* . Chelsea, (1968).
- [10] NASON, HENRY BRADFORD. *Biographical Record of the Officers and Graduates of the Rensselaer Polytechnic Institute, 1824-1886*. Institute Archives and Special Collections, Rensselaer Polytechnic Institute. Benjamin Franklin Greene, D.H. Jones & Co.: Troy,

- NY. (1887). Disponible en:
http://www.lib.rpi.edu/Archives/e-collections/Nason.HB_1887/index.html
- [11] PERRY ZUBIETA, GUSTAVO. *Apuntes para la historia de las ciencias básicas en Colombia*. En Revista de la Acad. Col. de Cien. Vol. 14, (1973), págs. 5–32.
- [12] SAFFORD, FRANK. *El ideal de lo práctico: El desafío de formar una élite técnica y empresarial en Colombia* (Margarita González y María Victoria Gussoni, Trads.) Bogotá: Ancora & Universidad Nacional de Colombia. (1989) (Trabajo original publicado en 1976).
- [13] SÁNCHEZ BOTERO, CLARA HELENA. *Cien años de historia de la matemática en Colombia 1848–1948*. Revista de la Acad. Col. Cienc. Vol. 26, No. 99, (2002), págs. 239–260.
- [14] SÁNCHEZ BOTERO, CLARA HELENA. *Matemáticas e ingeniería en la república conservadora*. En Sierra Mejía, Rubén (Editor). *Miguel Antonio Caro y la cultura de su época* (págs. 345–367). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, (2002).
- [15] SÁNCHEZ, DIÓDORO. *Sección Editorial*. Anales de Ingeniería, **10**, (1898), pág. 257–279.
- [16] SOSA, PEDRO J. *Expedición al Darién*. Anales de Ingeniería, **1**, (1888), 196–203.
- [17] SOSA, PEDRO J. (1890–1891) *Introducción elemental al cálculo de los cuaternios*. Anales de Ingeniería, **I: 3** (32) (1890), 253–258; **II: 4** (40) (1890), 116–128; **III: 4** (41) (1890), 150–159; **IV: 4** (43) (1891), 211–223; **V 4** (44) (1891), 246–255; **VI: 4** (46) (1891) 312–316; **VII: 4** (47) (1891) 335–340; **VIII: 4** (48) (1891) 364–370; **IX: 5** (49) (1891), 3–11.
- [18] YOUNG, JOHN LANE. *La reforma universitaria de la Nueva Granada, 1820–1850* (Traducción de Gloria Rincón Cubides). Bogotá: Instituto Caro y Cuervo & Universidad Pedagógica Nacional, (1994). (Disertación doctoral publicada en 1970.)

(Recibido en abril de 2006. Aceptado para publicación en noviembre de 2006)

DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICAS
 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
 BOGOTÁ, COLOMBIA
e-mail: dy_camargog@yahoo.co