

INTRODUCCIÓN DE LOS CÓDIGOS ABIERTOS PYNOMO Y NOMOGEN PARA LA ELABORACIÓN DE NOMOGRAMAS EN EL ÁMBITO DE LA INGENIERÍA CIVIL Y MINERA

En este artículo se hace una introducción sobre los códigos abiertos, PyNomo y Nomogen, para la elaboración de nomogramas o ábacos de útil aplicación en el ámbito de la ingeniería civil y minera, resolviendo de forma gráfica y eficiente ecuaciones comúnmente utilizadas y sin necesidad de realizar cálculos manuales exhaustivos. Se presentan varios ejemplos de nomogramas realizados con PyNomo y Nomogen que servirán para mostrar la utilidad de estos códigos abiertos en el campo de la ingeniería hidráulica.

Pedro Martínez-Pagán.

Doctor Ingeniero de Minas. Profesor Titular de Universidad. Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT) ORCID: 0000-0002-3308-3768

Víctor Yepes.

Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Catedrático de Universidad. Universitat Politècnica de València (UPV). ORCID: 0000-0001-5488-6001

Leif Roschier.

Dr. Tech. (Eng.), Physics (Vantaa, Finland). ORCID: 0000-0003-0775-6356

Daniel Boulet.

Computer Technology Engineering (Red River College Polytechnic, Canada). ORCID: 0009-0000-9069-6803

Trevor Blight.

Electrical Engineering (University of Adelaide, Australia). ORCID: 0009-0009-6509-5032

1.- Introducción

La nomografía se puede definir como aquella rama de las matemáticas que se encarga de la representación gráfica de ecuaciones a través de nomogramas (también conocidos como ábacos) que permiten poner en relación tres o más variables resolviendo una de ellas cuando se conocen el resto. Esta área de las matemáticas fue implantada en 1880, y posteriormente desarrollada por Maurice d'Ocagne (Doerfler, 2009). El empleo de la nomografía tuvo su mayor desarrollo en el siglo pasado

como una forma de resolver de forma rápida y precisa complejas expresiones matemáticas en sectores tan diversos como medicina, aeronáutica, hidráulica, química, física, matemáticas, electrónica, radio, balística, alimentación, etc. (Evesham, 1982; Adams, 1950). Por ello, son innumerables los ejemplos que han llegado hasta nuestros días y que aún aparecen en libros especializados de ingeniería, especialmente hidráulica, ingeniería civil, minería, etc. (SME, 2002). Además, en la actuali-

dad, todavía es común que un gran volumen de documentación técnica, folletos de especificaciones técnicas y catálogos de equipos faciliten el cálculo de numerosas expresiones a través de nomogramas.

Tradicionalmente, la fase más laboriosa en la elaboración de cualquier nomograma ha sido dibujar apropiadamente las escalas y sus divisiones apropiadas para que ofrezcan el valor de la variable con una precisión adecuada, y esto ha



sido uno de los factores que sin duda ha hecho que el estudio de los nomogramas y su aplicación haya quedado casi relegado al olvido en favor del uso de calculadoras programables u ordenadores personales. Sin embargo, los nomogramas todavía presentan ciertas potencialidades como son la de ayudar a entender la relación que existe entre las diferentes variables que forman una expresión matemática, no siempre tan evidente, por lo que la nomografía puede ser una herramienta fundamental en un contexto académico como son los estudios de ingeniería. Además, los nomogramas facilitan que personas sin conocimientos matemáticos o científicos previos puedan resolver complejas fórmulas con una adecuada precisión, algo muy útil cuando estas operaciones matemáticas son repetitivas.

En este sentido, en recientes años han aparecido dos códigos abiertos basados en la programación de Python, denominados PyNomo y Nomogen, creados por dos de los autores de este artículo (L.R. y T.B.), que permiten generar un nomograma en cuestión de segundos evitando los inconvenientes del pasado, incluso con nomogramas que presentan cierta complejidad

de elaboración. El empleo de estos códigos, especialmente PyNomo, está ayudando a la generación de nuevos nomogramas, aunque aún de una manera muy testimonial y que no dejan de ser una curiosidad. Por ello, en este artículo se presentan las potencialidades de los programas PyNomo y Nomogen para generar nomogramas a través de varios ejemplos aplicados a la hidráulica.

2.- ELEMENTOS PRINCIPALES BÁSICOS DE UN NOMOGRAMA

Un nomograma, por lo tanto, es una representación gráfica, generalmente bidimensional, que estará formado por una serie de ejes graduados, rectos o curvos, y tantos como variables tenga la ecuación, y en donde el valor de las variables será obtenido al unir estos ejes por una línea recta, denominada isopleta. En la figura 1 se facilita un ejemplo de nomograma, realizado con PyNomo en donde se han señalado los principales elementos que lo componen. Este nomograma resuelve la siguiente expresión:

$$\frac{1}{u_1} - \frac{1}{u_2} = \frac{1}{u_3} \quad (1)$$

En el ejemplo de la figura 1 se observa que dibujando una línea recta (isopleta) que pasa por los dos valores conocidos de $u_1 = 50$ y $u_3 = 80$, y prolongándola hasta cortar la tercera escala, entonces nos proporcionaría el valor buscado de la tercera variable, siendo $u_2 = 133.3$, que resuelve la ecuación 1.

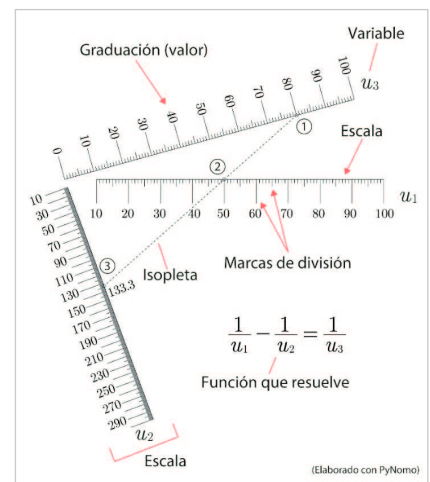


Figura 1. Principales elementos de un nomograma.

3.- INTRODUCCIÓN A LOS CÓDIGOS PYNOMO Y NOMOGEN

En esta sección se hace una breve introducción de los principales códigos actualmente existentes, PyNomo y Nomogen, para la generación de nomogramas. Para acceder a ellos, en

los siguientes enlaces se facilita toda la documentación e indicaciones necesarias para su descarga, instalación y correcto manejo:

<http://lefakkomies.github.io/pynomodoc/introduction/introduction.html>
<https://github.com/lefakkomies/pynomo>

Nomogen es muy útil para generar nomogramas que resuelven ecuaciones de hasta tres variables y PyNomo es mucho más completo al generar nomogramas que resuelven ecuaciones de hasta tres o más variables:

<https://victoryepes.blogs.upv.es/2023/02/01/metodos-de-calculo-de-la-piedra-en-una-volidura-en-banco-de-una-cantera/>

En este sentido, la figura 2 presentan los tipos de ecuaciones que pueden ser resueltas por nomogramas generados por PyNomo. En la columna de la derecha se facilita, de forma esquemática, el tipo de representación gráfica que adoptarían estos nomogramas.

Tipo nomograma	Forma de la ecuación que resuelve el nomograma	Representación gráfica que adopta el nomograma
1	$f_1(u_1) + f_2(u_2) + f_3(u_3) = 0$	Escalas
2	$f_1(u_1) = f_2(u_2) * f_3(u_3);$ $f_1(u_1) = \frac{f_2(u_2)}{f_3(u_3)}$	
3	$f_1(u_1) + f_2(u_2) + ... + f_n(u_n) = 0$	
4	$\frac{f_1(u_1)}{f_2(u_2)} = \frac{f_3(u_3)}{f_4(u_4)}$	Isopletras
5	$f_1(v) = f_2(x, u)$	
6	$u = u$	Isopletras
7	$\frac{1}{f_1(u_1)} = \frac{1}{f_2(u_2)} + \frac{1}{f_3(u_3)}$	
8	$y = f(u)$	Isopletras
9	$\begin{bmatrix} f_1(u_1, v_1) & g_1(u_1, v_1) & h_1(u_1, v_1) \\ f_2(u_2, v_2) & g_2(u_2, v_2) & h_2(u_2, v_2) \\ f_3(u_3, v_3) & g_3(u_3, v_3) & h_3(u_3, v_3) \end{bmatrix}$	
10	$f_1(u_1) + f_2(u_2) * f_3(u_3) + f_4(u_4) = 0$	Isopletras

4.- EJEMPLOS DE NOMOGRAMAS

A continuación, se presentan cinco ejemplos de nomogramas realizados con PyNomo y Nomogen y que resuelven ecuaciones de uso común en el campo de la hidráulica.

El primero de ellos (Figura 3) se trata de un nomograma elaborado con PyNomo y compuesto de tres escalas paralelas y que ayuda a resolver la siguiente ecuación que proporciona el caudal de una pulpa mineral (sólidos + líquido) por cada t/h de sólidos que es necesario bombear (ETSIM-UPM, 1998):

$$\frac{Q_{pulpa} \text{ (l/s)}}{t/h \text{ sólidos}} = 0.28 \times \left(\frac{\% \text{ agua}}{\% \text{ sólidos}} + \frac{1}{\rho_{sólidos}} \right) \quad (2)$$

Figura 3. Nomograma para el cálculo del caudal de una pulpa mineral.

Así, para el ejemplo resuelto de la figura 3, se tiene que la recta dibujada, que une un valor estimado para la concentración de sólidos en peso del 40% y un peso específico para los sólidos de 2.7 g/cm³, daría un valor para el caudal total de pulpa (por tonelada por hora de sólidos a bombear) de 0.52 l/s.

A continuación, se presenta otro ejemplo de nomograma realizado esta vez con el código abierto Nomogen (Figura 4), en este caso el nomograma está compuesto por tres escalas graduadas curvas que proporcionan el valor del factor de fricción en tuberías en base a la ecuación de Colebrook y cuya expresión es (Bouso y Martínez Pagán, 2023):

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \times \log_{10} \left(\frac{2.51}{Re \times \sqrt{f}} + \frac{\epsilon/D}{3.72} \right) \quad (3)$$

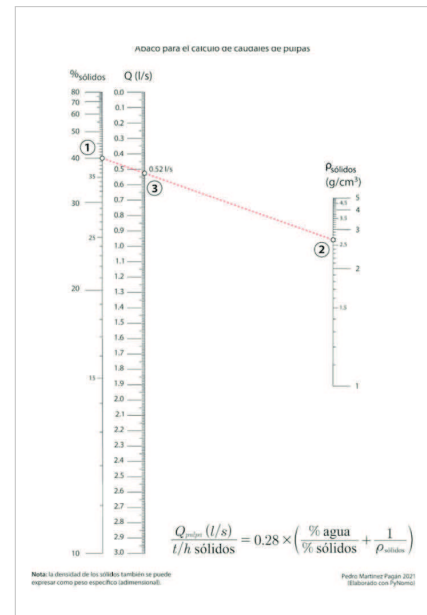
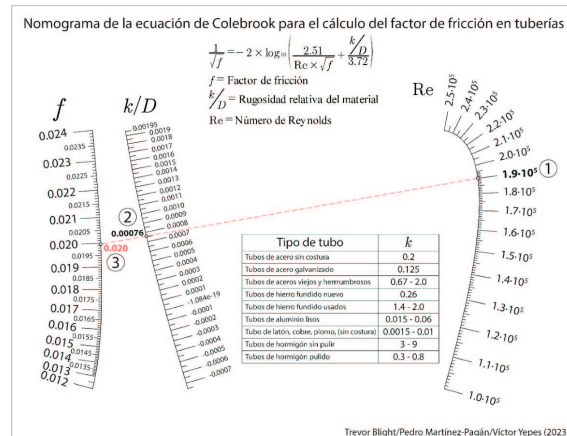


Figura 4. Nomograma para el cálculo del caudal de una pulpa mineral.

Figura 2. Tipos de nomogramas que pueden ser generados por PyNomo y las expresiones matemáticas que resuelven.

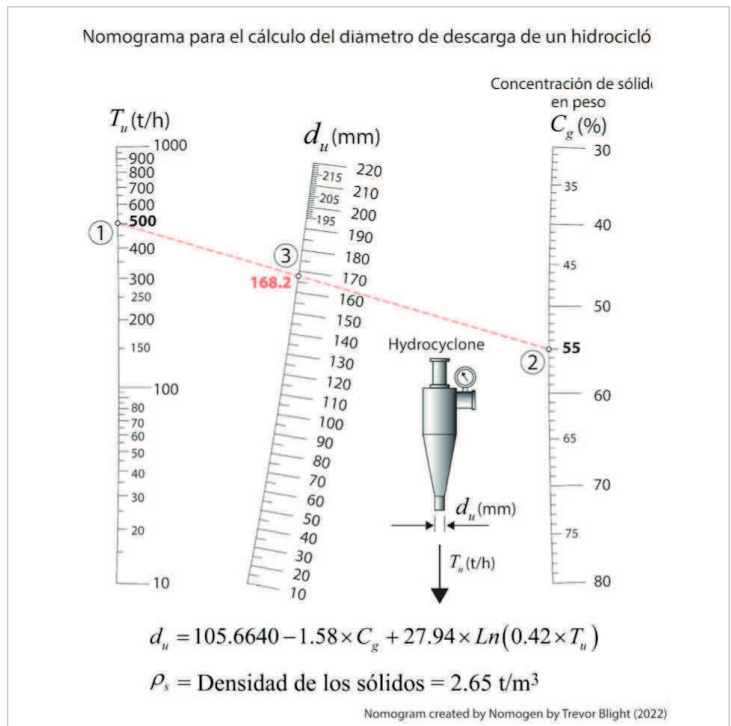


Trevor Blight/Pedro Martínez-Pagán/Victor Yepes (2023)

El ejemplo resuelto que ilustra la figura 4 muestra que trazando una línea recta que pase por un valor de 1.9×10^5 para el número de Reynolds y por el valor de 0.00076 para la rugosidad relativa, proporcionaría un factor de fricción de 0.020. Lo interesante de este nomograma es que resuelve la dificultad de obtener de forma inmediata el factor de fricción por medio de la ecuación 3 al encontrarse éste en los dos miembros de la ecuación 3.

Otro ejemplo obtenido con Nomogen es el nomograma de la figura 5 que representa una ecuación útil para determinar el diámetro de descarga del hundido de un hidrociclón y que representa a la fracción gruesa que se obtiene con estos equipos de separación en procesos mineralúrgicos. Para este ejemplo se ha estimado una densidad de las partículas sólidas de 2.65 t/m^3 . Con esta densidad, la ecuación que se obtiene es la facilitada en la figura 5 donde para un valor de concentración de sólidos en peso (C_g) del 55% y un caudal de descarga (T_u) de 500 t/h se requeriría un diámetro de boquilla de 168.2 mm (d_u).

Figura 5. Nomograma para el cálculo del diámetro de descarga del hundido de hidrociclones trabajando en plantas de procesos minerales.



anzeve
Queremos ayudarte

ILUMINACIÓN para un ambiente de trabajo **SEGURO**

www.anzeve.com

Instagram Facebook LinkedIn YouTube

INGEOPRES

