

Juegos y Rarezas Matemáticas

Reglas de Cálculo

Slide Rules

Santiago Higuera de Frutos

Revista de Investigación



Volumen VI, Número 2, pp. 149–164, ISSN 2174-0410
Recepción: 14 May'16; Aceptación: 1 Jun'16

1 de octubre de 2016

Resumen

Los primeros ordenadores personales datan del último cuarto del siglo XX. También datan de esas fechas las primeras calculadoras electrónicas de bolsillo. Actualmente son un elemento habitual y accesible. Pero la necesidad de realizar cálculos matemáticos con precisión y rapidez ha sido una constante a lo largo de la historia que se resolvía con ingeniosos instrumentos mecánicos. La regla de cálculo logarítmica, *slide rule* en inglés, es un instrumento de cálculo que facilita la realización rápida y cómoda de operaciones aritméticas. Su empleo era generalizado desde mediados del siglo XIX hasta finales del siglo XX, cuando su uso decayó con la aparición de las primeras calculadoras de bolsillo y ordenadores personales. En los años setenta del pasado siglo fue desapareciendo gradualmente su uso, hasta que en las últimas décadas del siglo XX apenas existían generaciones de ingenieros que las empleasen. Su uso ha quedado relegado a museos, organizaciones de amigos, y a aplicaciones concretas dentro de la enseñanza básica de las matemáticas. En este artículo se describirá en qué consisten las reglas de cálculo así como sus principios básicos de funcionamiento. También se mostrarán los recursos disponibles hoy en día para iniciarse en el manejo de las reglas de cálculo. Por último, se adjuntan con el artículo dos modelos de reglas de cálculo recortables, para que el lector pueda fabricarse su propia regla de cálculo y practicar con ella.

Palabras Clave: Reglas de cálculo, Instrumentos de cálculo, Historias Matemáticas, Cálculo mecánico.

Abstract

First personal computers exist since last quarter of twentieth century. Also first electronic pocket calculators exist since that time. At present they are a common and accessible element. But the need to perform mathematical calculations accurately and quickly has been a constant throughout history solved with ingenious mechanical devices. The logarithmic slide rule, is a calculation tool that facilitates rapid and comfortable performing arithmetic operations. Its use was widespread since the mid-nineteenth century until the late twentieth century, when its use declined with the appearance of the first pocket calculators and personal computers. In the seventies of the last century its use gradually disappeared. In the last decades of the twentieth century there were hardly generations of engineers who use them. Its use has been relegated to museums, organizations, friends, and to specific applications within the basic teaching of mathematics. This article gives details of basic principles of operation of the slide rules. The resources available are also displayed today to start in handling the calculation

rules. Finally, they attached to article two models of paper cut-out slide rules , so that the reader can build his own rule and practice with it.

Keywords: Calculation Instrument, Slide Rule, Math History.

1. Introducción

La regla de cálculo, *slide rule* en inglés, es un instrumento de cálculo que facilita la realización rápida y cómoda de operaciones aritméticas, como pueden ser multiplicaciones, divisiones, logaritmos, exponenciaciones y otras. Las reglas de cálculo más habituales son las de 25 cm. de longitud (10 pulgadas), que permiten una precisión de tres cifras significativas. También hay modelos de bolsillo, de unos diez centímetros, que alcanzan precisiones menores. Su empleo era generalizado desde mediados del siglo XIX hasta finales del siglo XX, cuando su uso decayó con la aparición de las primeras calculadoras de bolsillo y ordenadores personales. En las primeras décadas del siglo XX su uso era tan generalizado que no existía ingeniero que no tuviera acceso a alguna regla de cálculo. Existieron varias compañías a lo largo del mundo que proporcionaban modelos diversos. Los modelos más antiguos se realizaban en escalas grabadas en madera, latón, hueso, y posteriormente se fue introduciendo el plástico. En los años setenta fue desapareciendo gradualmente su uso, hasta que en las últimas décadas del siglo XX apenas existían generaciones de ingenieros que las empleasen. Su uso ha quedado relegado a museos, organizaciones de amigos, y a aplicaciones concretas dentro de la enseñanza básica de las matemáticas [1].



Figura 1. Algunos modelos de reglas de cálculo

2. Historia

Dispositivos con escalas, han sido empleados en el cálculo por diversos científicos antes del siglo XVI. Galileo Galilei describió un sector empleado en el cálculo de fórmulas de trigonometría [2]. Algunos de estos primitivos sistemas de cálculo proceden de los antiguos astrolabios, o de instrumentos medievales como el *volvelle*, así como diversas herramientas empleadas en navegación y en astronomía como son los planisferios celestes, o los nomogramas en gnomónica.

Algunos historiadores apuntan que su descubridor fue el matemático Edmund Wingate a mediados del siglo XVI, mientras que otros atribuyen su invención al reverendo William Oughtred en 1636. El notable avance en su desarrollo comenzó con el estudio de logaritmos que publicó John Napier en 1614. Años después, el astrónomo Edmund Gunter aplicó la idea de los logaritmos a las escalas de cálculo en su *canon triangulorum*, dando lugar a las primeras aplicaciones matemáticas de la escala logarítmica. Gunter modificó la escala para que pudiese realizar también cálculos trigonométricos. En 1675 Newton resolvió la ecuación de tercer grado por medio de tres escalas logarítmicas paralelas. En 1772 el también inglés John Warner ideó el empleo de las escalas y cubos y en 1775, su compatriota Peter Roget inventó la escala de *log de log* con las que puede calcular cualquier raíz cuadrada[3].

En 1859, Victor Amadee Mannheim propuso uno de los primeros sistemas de estandarización de escalas, el denominado sistema Mannheim. Este sistema incluía una regleta deslizante (*runner*) que permitía una mayor comodidad en la realización de ciertos cálculos. La evolución de las reglas durante el periodo de la Revolución Industrial fue en aumento. En la década de 1870, Alemania posee dos grandes empresas productoras de reglas de cálculo: Dennert and Pape (constructores de Aristo), y Faber (posteriormente denominados Faber-Castell). En España tenemos que esperar al año 1852 para vislumbrar de una manera nítida el interés por este instrumento; las primeras reglas de cálculo vinieron de Francia [4].

Los sistemas de escala se unificaron gracias a Max Rietz en 1902. El sistema de distribución de escalas, denominado sistema Rietz (también Mannheim) hizo que los constructores de reglas de cálculo se pusieran de acuerdo unificando sus representaciones. Esta mejora permitió que un ingeniero que aprendiera este sistema pudiera manejar cualquier otra regla que llevara implementada el mismo sistema Rietz, permitiendo intercambiar y comparar soluciones. El sistema Rietz tuvo una gran aceptación hasta que en 1934 Alwin Walter, del Instituto Matemático de la Escuela Politécnica Superior de Darmstadt, propone nuevos cambios en lo que se denomina Sistema Darmstadt.

El uso de reglas de cálculo continuó creciendo a través de los años 1950 y 1960, incluso cuando los dispositivos de computación digital se estaban introduciendo gradualmente en las áreas de ingeniería.

Hay escenas en diversas películas de cine en las que se pueden ver reglas de cálculo. Es el caso de *Madame Curie* (1943) de Mervin LeRoy, *Clandestino y caballero* (1946) de Fritz Lang, *Regreso a la Tierra* (1955) de Joseph M. Newman, *Desde la terraza* (1960) de Mark Robson, *Teléfono rojo* (1963) de Stanley Kubrick (ver figura 3), *El vuelo del fénix* (1965) de Robert Aldrich, *Apolo XIII* (1995) de Ron Howard, *Titanic* (1997) de James Cameron, *El submarino* (1998) de Wolfgang Petersen o *Los Simpson* (2001) (ver figura 2).

En la literatura merece la pena destacar la cita de la novela *El hombre sin atributos* de Robert Musil [5, 6]:

Quien está acostumbrado a resolver sus asuntos con la regla de cálculo no puede tomar en serio una buena parte de las afirmaciones de los hombres. La regla de cálculo consta de dos sistemas de números y rayitas, combinados con extraordinaria precisión: dos tablillas corredizas, barnizadas en blanco, de sección trapezoidal plana, con cuya ayuda se pueden solucionar en un abrir y cerrar de ojos los problemas más complicados, sin perder inútilmente un solo pensamiento; es un pequeño símbolo que se lleva en el bolsillo del chaleco y se hace sentir como una raya dura y blanca en el corazón. Cuando se posee una regla de cálculo y viene alguien con grandes afirmaciones y sentimientos, se dice: <Un momento, por favor, calculemos primero los límites del error y el valor probabilístico de todo>. [I. p 46]

Las reglas de cálculo cayeron en desuso con la popularización de la computadora electrónica. Hacia 1980 había cesado prácticamente la producción de reglas de cálculo en el mundo, aunque todavía siguen fabricándose instrumentos de este tipo en pequeñas cantidades para

usos muy específicos en sectores industriales, de navegación marítima y aérea o para atender a un minoritario mercado de aficionados y coleccionistas.

Hoy parece incomprensible que cálculos tan delicados y complejos como el desarrollo de la fisión termonuclear pudieran hacerse con la modesta regla de diez pulgadas. Así lo cuenta en sus memorias Stanislaw Ulam [6, 7]:

Fue la mayor y más compleja simulación matemática que se había hecho jamás, Trabajábamos día tras día cuatro a seis horas con regla de cálculo, lápiz y papel, haciendo conjeturas (sobre los cálculos para la bomba H, 1951)



Figura 2. Escena de un episodio de Los Simpson mostrando el uso de la regla de cálculo



Figura 3. Peter Sellers utilizando una regla de cálculo circular en una escena de Teléfono Rojo, ¿volamos hacia Moscú?, la mítica película de Stanley Kubrick del año 1964

3. Características

La regla de cálculo consta de un soporte básico paralelepédico denominado cuerpo, que tiene una ranura longitudinal profunda en su parte central, lo que determina la aparición de dos sub-unidades, a saber, una **regleta** superior y otra inferior, más estrechas. Por la ranura central se desliza otra pieza en forma de regleta de menor tamaño, también llamada corredera o **reglilla** (*slide* en inglés). En las caras frontales de estas piezas es donde están grabadas las diversas escalas. Por último, suele haber una pieza móvil y transparente, que abarca la totalidad de la superficie frontal y que no lleva grabada más que una fina línea de referencia, llamada hilo, índice o retículo, aunque a veces puede que haya alguna otra línea auxiliar. A esta pieza se le llama **cursor** y sirve para facilitar la alineación y la lectura de los factores que intervienen en las operaciones, sobre todo cuando las escalas interventoras están alejadas entre sí. Los cursores de algunas reglas actúan como una lupa para mejorar el detalle de las lecturas.

Lo esencial del instrumento son las **escalas numéricas**, unas fijas y otras móviles, mediante las que se realizan las operaciones. Los resultados de las operaciones se obtienen mediante el procedimiento de interpolación visual de la lectura de valores sobre las escalas, por lo que la precisión depende de la longitud de las escalas. Se han construido reglas de cálculo de distintos tamaños, siendo habituales las de 12.5 cm (5 pulgadas) y las de 25 cm. (10 pulgadas). También hay modelos de 50 cm.(20 pulgadas), menos habituales, y otros mayores aún, principalmente dedicados estos últimos a la enseñanza (ver figura 4). Cuanto mayor sea la longitud de la regla utilizada, mayor será la precisión que es posible alcanzar en los cálculos. Por ejemplo, para conseguir una precisión de una parte en 10.000, la escala ha de tener una longitud de 12 m. Los tamaños habituales no superan las tres cifras significativas en manos experimentadas, pues la última ya será casi siempre estimada.



Figura 4. Regla de cálculo de gran tamaño situada en labiblioteca del Departamento de Matemáticas e Informática para la Ingeniería Civil y Naval de la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid

Naturalmente lo anterior presupone que las marcas de las escalas están hechas con absoluta precisión sobre las reglas. Esto es una suposición razonable en los ejemplares actuales, en concreto en los comercialmente disponibles a partir de comienzos del siglo XX, en que empezaron a aplicarse técnicas mecánicas precisas de fabricación, pero no lo es en absoluto para los precedentes, cuyas escalas estaban realizadas individualmente o con técnicas deficientes, por lo que muchos de ellos resultaban bastante alejados de la perfección. Esta fue otra razón importante

para la lentitud con que se extendió su uso.

Hay quien opina que la limitada precisión de la regla de cálculo es una ventaja y no un inconveniente cuando se trata de aplicaciones prácticas, pues los datos disponibles sobre los que versa el cálculo no suelen superar las tres cifras significativas. Se evita así con ella la sensación de la falsa precisión, al que pueden inducir las calculadoras electrónicas si no se utilizan prudentemente.

A lo largo del tiempo, las escalas han variado mucho en tamaño, número y naturaleza. También se han organizado de muy variadas formas, disponiéndolas sobre superficies rectangulares, circulares y cilíndricas. La realización más común es la que utiliza una tablilla rectangular plana, de la que deriva su nombre de *regla*. Los materiales utilizados han dependido de las épocas, lugares y técnicas de construcción disponibles. Se han fabricado de cartón y papel maché, de maderas duras (como el boj), de bambú, metálicas (de bronce, latón y otros metales), de diversos materiales plásticos, etc. Si se atiende sólo a la forma se puede ver que un porcentaje muy alto de reglas de cálculo son de tipo *regla*, es decir con forma paralelepípeda. Es el modelo más extendido en occidente, y del que más unidades se elaboraron a lo largo del siglo XX. No obstante existieron otro tipo de diseños que se utilizaron en casos especiales, como las reglas de cálculo circulares y las cilíndricas.

En relación con las reglas de cálculo del tipo *regla*, desde la aparición se han creado multitud de formatos y escalas. Se pueden clasificar por los sistemas utilizados por sus escalas, siendo los más conocidos los denominados *Soho*, *Mannhelm*, *Rietz* y *Darmstad*.

4. Principio de funcionamiento

Para entender el funcionamiento de la regla de cálculo vamos a detallar brevemente como se construirían las escalas C y D, que son las fundamentales. Sea L la longitud de la regla. Situaremos el 1 de la escala C o D en el origen de la regla y el 10 a una distancia L del 1. De esta manera cada uno de los dos números estará situado a una distancia del origen de la regla igual a $L \times \log_{10}(x)$, ya que $\log_{10}(1) = 0$ y $\log_{10}(10) = 1$. Los números comprendidos entre el 1 y el 10 se sitúan a una distancia del origen igual a $L \times \log_{10}(x)$. Las escalas C y D de las reglas de cálculo llevan marcados todos los números enteros entre el 1 y el 10 y, según el tamaño de la regla, un mayor o menor número de divisiones intermedias.

A partir de esta escala logarítmica en base 10 construida, es fácil realizar multiplicaciones y divisiones. Veamos el caso de la multiplicación. Sabemos que el logaritmo del producto de dos números es igual a la suma de los logaritmos de ambos, o en formulación matemática:

$$\log(x \times y) = \log(x) + \log(y)$$

En nuestra regla, si x e y son dos números comprendidos entre el 1 y el 10 podemos tomar los segmentos de medida $L \times \log_{10}(x)$ y $L \times \log_{10}(y)$ y unirlos. Llamemos L_z a la longitud total obtenida, que será la suma de las longitudes de los segmentos $[1, x]$ y $[1, y]$. Haciendo la operación inversa a la utilizada para construir la regla, podremos deducir a qué número corresponde dicha suma de longitudes, que será el número correspondiente al producto de $x \times y$.

Para hacer divisiones hay que razonar de manera análoga, pero en este caso lo que se hace es restar longitudes de segmentos en lugar de sumarlas.

5. Operaciones elementales

Vamos a realizar algunos ejemplos de multiplicaciones y divisiones que permitan iniciarse en el manejo de la regla de cálculo. Multiplicaremos en primer lugar dos números comprendidos entre 1 y 10. Supongamos que queremos hacer la multiplicación 2×3 (ver figura 5). Situamos el 1 de la escala C sobre el 2 de la escala D. A continuación desplazamos el cursor al 3 de la escala C. En la escala D se puede leer el resultado, en este caso 6.

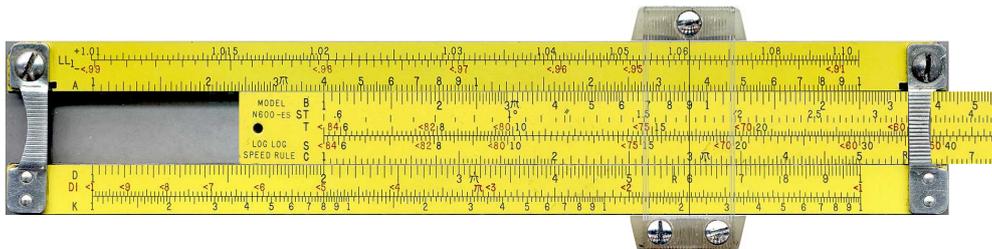


Figura 5. Multiplicación 1: Se va a multiplicar 2×3 . Situamos el 1 de la escala C sobre el 2 de la escala D. A continuación desplazamos el cursor al 3 de la escala C. En la escala D se puede leer el resultado, en este caso 6 (Imagen realizada en el simulador [8])

Sucede a veces que al tratar de operar de esta manera el segundo factor en la escala C está situado fuera de la regla. Se puede comprobar tratando de aplicar el procedimiento anterior a la multiplicación 6×5 . En estos casos lo que se hace es operar con el 10 de la escala C, en lugar de con el 1 (ver figura 6). Situamos el 10 de la escala C sobre el 6 de la escala D. A continuación desplazamos el cursor al 5 de la escala C. En la escala D leemos el resultado, en este caso 3. Como se ha utilizado el 10 de la escala C y no el 1, el resultado obtenido hay que multiplicarlo por 10, con lo que el resultado final es 30



Figura 6. Multiplicación 2: Se va a multiplicar 6×5 . Situamos el 10 de la escala C sobre el 6 de la escala D. A continuación desplazamos el cursor al 5 de la escala C. En la escala D leemos el resultado, en este caso 3. Como se ha utilizado el 10 de la escala C y no el 1, el resultado obtenido hay que multiplicarlo por 10, con lo que el resultado final es 30 (Imagen realizada en el simulador [8])

Cuando los números que queramos multiplicar sean mayores que 10 o menores que 1, lo que haremos será reducirlos a números entre 1 y 10, multiplicando o dividiéndolos por 10 elevado a la potencia adecuada, operar con los números reducidos y multiplicar o dividir el resultado por 10 elevado a la potencia adecuada. Si por ejemplo quisiéramos multiplicar $0,006 \times 50$, en realidad multiplicaríamos 6×5 y dividiríamos el resultado por 100 (hemos multiplicado por 1000 el 0,006 y dividido por 10 el 50, por tanto el resultado habrá que dividirlo por 100). En la regla leeremos 30, y el resultado final será $30/100 = 0,3$. Con un poco de práctica se hacen las operaciones sin ninguna dificultad.

Para realizar divisiones se opera de manera parecida. Supongamos que queremos dividir 6 entre 3 (ver figura 7). Se sitúa el divisor, 3 de la escala C sobre el dividendo, 6 de la escala D. En la escala D, bajo el 1 de la escala C, se puede leer el resultado, en este caso 2. Se puede observar

que lo que se hace es restar al segmento de longitud $\log_{10}(6)$ situado en la escala D un segmento de longitud $\log_{10}(3)$ que hemos situado en la escala C. Finalmente, el segmento resultante de esa diferencia lo medimos sobre la escala D.

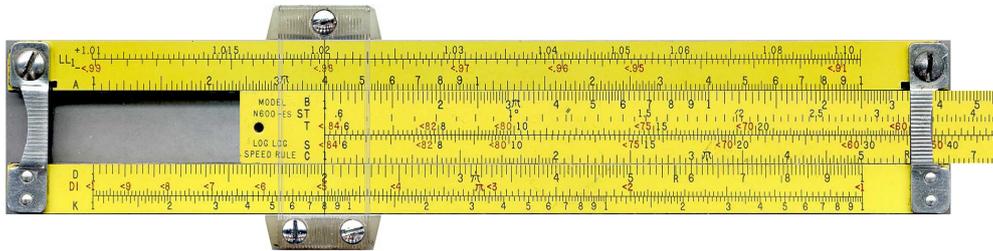


Figura 7. División 1: se va a dividir 6 entre 3. Se sitúa el divisor, 3 de la escala C sobre el dividendo, 6 de la escala D. En la escala D, bajo el 1 de la escala C, se puede leer el resultado, en este caso 2 (Imagen realizada en el simulador [8])

Cuando el divisor es mayor que el dividendo, el resultado se lee bajo el 10 de la escala C, en lugar de bajo el 1. El resultado leído se divide por 10 para obtener el resultado final de la operación (ver figura 8). Supongamos que queremos dividir 4 entre 8. Se sitúa el divisor 8 de la escala C sobre el dividendo, 4 de la escala D. En la escala D, bajo el 10 de la escala C, se puede leer el resultado, en este caso 5. De manera análoga a lo que sucedía al multiplicar, como hemos utilizado el 10 de la escala C y no el 1, el resultado hay que dividirlo por 10, resultando finalmente 0,5.

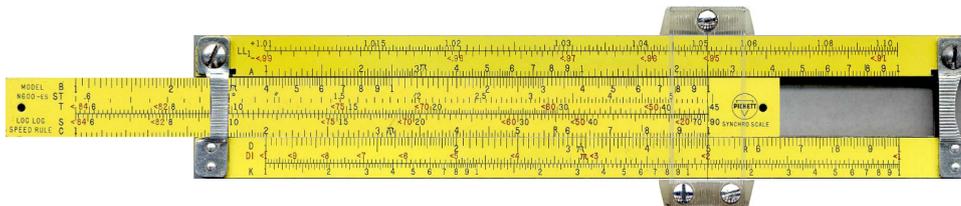


Figura 8. División 2: Se va a dividir 4 entre 8. Se sitúa el divisor 8 de la escala C sobre el dividendo, 4 de la escala D. En la escala D, bajo el 10 de la escala C, se puede leer el resultado, en este caso 5. De manera análoga a lo que sucedía al multiplicar, como hemos utilizado el 10 de la escala C y no el 1, el resultado hay que dividirlo por 10, resultando finalmente 0,5. (Imagen realizada en el simulador [8])

Con un poco de práctica las operaciones de multiplicar y dividir se hacen con bastante velocidad y precisión. Normalmente no se tratará de números tan redondos y habrá que utilizar las subdivisiones menores de las escalas. También es relativamente sencillo encadenar varias operaciones consecutivas. Los resultados intermedios se pueden ir anotando, pero no suele ser necesario ni anotarlos ni siquiera leerlos, se puede utilizar el cursor para ir guardando resultados y mover las escalas a las posiciones adecuadas.

6. Escalas básicas

Lo fundamental para poder utilizar bien la regla de cálculo es comprender la naturaleza de sus escalas. Las escalas tienen una denominación que se puede ver en la tabla 9. Esta denominación de las escalas suele venir indicada en la propia regla. De no ser así, se hace necesario consultar el manual de la regla concreta. Actualmente es posible conseguir copia de los manuales de muchas de estas reglas en la red (ver [9, 10])

Las otras dos habilidades fundamentales con que se ha de contar son: la práctica en la lectura de los valores y la fijación del punto decimal.

| Designación | Descripción | Valor |
|-------------|--|-----------------------|
| A | escala de cuadrados; escala logarítmica de dos decenas, situada en el borde inferior de la regleta fija superior | x^2 |
| B | escala de cuadrados, escala logarítmica de dos decenas, situada en el borde superior de la regleta móvil | x^2 |
| C | duplicado de la escala básica; escala logarítmica de una decena, situada en el borde inferior de la regleta móvil | x |
| D | escala básica; escala logarítmica de una decena, situada en el borde superior de la regleta fija inferior | x |
| K | escala de cubos; escala logarítmica de tres decenas | x^3 |
| CI | escala C "invertida", numerada de derecha a izquierda; escala de recíprocos | $1/x$ |
| CF | escala C "desplazada"; su origen es un valor constante distinto de la unidad, generalmente π o algún submúltiplo suyo | $(\pi) \cdot x$ |
| S | escala de ángulos de senos (en la escala A) | $\text{sen}^{-1} x^2$ |
| T | escala de ángulos de tangentes (en la escala A) | $\text{tg}^{-1} x^2$ |
| ST | escala de senos y tangentes de ángulos pequeños ($0,58^\circ$ a $5,73^\circ$); conversiones grado-radian | $\text{arc } x$ |
| L | escala lineal usada para obtener las mantisas de los logaritmos comunes o decimales (base 10) | $\log x$ |
| Ln | escala lineal utilizada para la obtención de los logaritmos naturales (base e) | $\ln x$ |
| LLn | conjunto de escalas doblemente logarítmicas (log-log), utilizadas para las operaciones con exponentes. Pueden tener cualquier base (aunque usualmente sea el número e) y son absolutas (no requieren estimación de la posición del punto decimal). | n^x |

Figura 9. Escalas más habituales en las reglas de cálculo (Fuente: Wikipedia [1])

Las superficies de las reglas de cálculo suelen estar muy congestionadas, en un intento de dotarlas de la máxima funcionalidad, por lo que es fácil confundirse tanto al establecer los valores iniciales como al obtener el resultado. Además de ello hay que estimar sus últimas cifras. Los remedios aplicables para sortear estos peligros son: a) poner la atención necesaria al operar y b) contar con un poco de práctica.

Las escalas logarítmicas no indican más que la parte decimal de los números, la llamada «*mantisa*». En el caso de los logaritmos decimales la parte entera, llamada «*característica*», es el exponente de la potencia de diez correspondiente al dato. El logaritmo de 5600 es 3,74819 ($= \exp 10 + 0,74819$) y el de 5,6 es 0,74819 ($= \exp 100 + 0,74819$). Por eso la escala se repite cada diez enteros, en lo que se llama a veces un ciclo. Las escalas C y D, las escalas básicas de toda regla de cálculo, son escalas de un ciclo, no abarcan más que de 1 a 10, pero este último 10 también se representa a veces mediante un 1 por ser el comienzo de la siguiente decena. Las escalas A y B son escalas de dos ciclos, dispuestos en el mismo espacio que la decena de las C y D. Por eso sus valores representan los cuadrados de éstas y así sucesivamente. Pero eso quiere decir que hay que tener cuidado de no confundir la primera decena con la segunda, ni las primeras cifras de los números con las segundas. Por ejemplo, $1,5^2$ es 2,25, pero las marcas que para ello han de alinearse en las diversas escalas son: una que ostenta encima un 5 y otra sin cifra, comprendida entre el 2 y el 3, a la que hay que asignarle el valor. Para actuar con seguridad es imprescindible contar con el auxilio de una operación mental aproximada. Si se calculan mentalmente los cuadrados de 1 y de 2, se tendrá el convencimiento que 2,25 es un valor razonable para el cuadrado de 1,5 y que por tanto la operación se ha hecho bien. Si lo que se calcula en cambio es $4,2^2$ es evidente que la respuesta no puede ser 1,76, que es lo que literalmente indica la escala, sino que ha de ser superior a 10, e incluso a 16, y por tanto es 17,6. Hay que tener el sentido de la serie de potencias de 10; y, si no se tiene, hay que adquirirlo.

Si la solución del problema en el que se esté utilizando la regla de cálculo implica una serie de operaciones encadenadas, lo más seguro es anotar los resultados intermedios en un papel con un lápiz. Con algo de práctica puede utilizarse también el cursor para estas transferencias en bastantes casos.

La naturaleza exhaustiva de las soluciones nomográficas hace que, si un nomograma puede realizar determinada operación aritmética, también pueda realizar su inversa. Por tanto, cuando se habla de elevación a potencias se está hablando simultáneamente de extracción de raíces de esos mismos exponentes, cuando de multiplicación, también de división, etc. Lo único que se

requiere para pasar de una a otra es aplicar el mismo procedimiento cambiando el orden de las escalas [1].

En el enlace que ofrecemos continuación se pueden seguir paso a paso ejemplos de cálculos realizados con regla de cálculo:

<http://www.antiquark.com/sliderule/sim/sr-calcs-by-example.html>

También son interesantes a este respecto algunos vídeos acerca de cómo utilizar la regla de cálculo. Detallamos a continuación algunos enlaces a vídeos de aprendizaje.

- The Slide Rule (Basic Essentials: Scales C and D, Multiplication and Division) https://www.youtube.com/watch?v=n5_xLh2nRv0
- The slide rule (Proportions, Percentages, Squares and Squares Roots) https://www.youtube.com/watch?v=w4egBM_N3s0
- The joy of slide rules <https://www.youtube.com/watch?v=kDSAtK12BRw>
- How to Use a Slide Rule: Multiplication/Division, Squaring/Square Roots https://www.youtube.com/watch?v=xYh0oYf_XT0

Estos vídeos, algunos más y muchos otros documentos acerca de cómo utilizar la regla de cálculo, se pueden encontrar en la sección *Teoría y práctica* del blog de Jorge Fábregas Zazza [11].

7. Reglas de cálculo específicas



Figura 10. MKI Submarine attack course finder [11]

Se han desarrollado modelos de reglas de cálculo específicas cuyas escalas estaban adaptadas para resolver problemas de un campo específico de la ciencia. Por ejemplo hubo numerosos modelos adaptados a los cálculos taquimétricos y topográficos. Es interesante a este respecto el estudio realizado por Gonzalo Martín Armendariz [12]. También se han hecho reglas adaptadas a los cálculos eléctricos, a los de iluminación, para el cálculo de transformadores, para cálculos de artillería, para náutica, para cálculos de estructuras de hormigón armado, para cálculos de

pavimentos asfálticos y otros. La empresa española Fibrotubo fabricó modelos de reglas destinadas al cálculo de la presión aproximada de los fluidos en las tuberías de amianto-cemento.

En el ámbito de la aviación se han utilizado muchos modelos de reglas de cálculo circulares (ver figura 3) y también en los submarinos es habitual llevar modelos específicos de reglas de cálculo circulares para los cálculos de rumbos y de los lanzamientos de torpedos (ver figura 10).

8. Recursos en la red

Hay diversas asociaciones de coleccionistas y aficionados a las reglas de cálculo que ponen a disposición de las personas interesadas numerosos recursos para el aprendizaje, para la fabricación de modelos o incluso para la compra de reglas de cálculo. Mencionamos a continuación algunas de estas asociaciones:

- **ARC (Amigos de las Reglas de Cálculo):** esta asociación está en España y tiene un portal muy completo lleno de materiales muy interesantes para el estudio y aprendizaje acerca de las reglas de cálculo. Ofrecen una sección donde poder comprar modelos de reglas nuevas y de ocasión. El portal web está desarrollado por Jorge Fábregas Zazza [11]. La dirección del portal web es <http://www.reglasdec calculo.com/>. En la portada podemos leer un comentario de Justo Llácer Barrachina extraído de "La Voz del Colegiado", publicación del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos:

Su uso profesionalmente era tan importante que en los exámenes de ingreso en la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid y durante las décadas 40, 50 y 60, había un ejercicio específico y muy complejo que había que resolver en un tiempo mínimo, para que los aspirantes demostraran el dominio de este útil de cálculo. En los exámenes del año 1952 el ejercicio a resolver fue el siguiente:

$$\sqrt[3]{[4,875 \times 0,542 \times 0,072 / 2,02 \times 0,00053]^2}$$

- **Photocalcul:** es el blog de Gonzalo Martín Armendariz, también miembro de *Amigos de las Reglas de Cálculo*. Se trata de otro blog en español (y francés) con recursos muy valiosos acerca de las reglas de cálculo.
- **International Slide Rule Museum:** se definen a si mismos de la siguiente forma: *The ISRM is dedicated to the Students, Educators, Scientists and Engineers of the Past and Those Still Present, and to promote the lost art of Numeracy by providing resources and slide rules for education and other historic institutions.* Para acceder al portal : <http://sliderulemuseum.com/>
- **Oughtred Society:** toma el nombre del matemático inglés William Oughtred, uno de los padres de las reglas de cálculo. Tienen un portal muy completo donde se puede acceder a tutoriales de uso, modelos antiguos y modernos de reglas de cálculo y otros materiales de interés. Tienen una publicación periódica y realizan reuniones anuales. Está radicada en California. La dirección de internet es : <http://www.oughtred.org/>
- **Dutch Circle of Slide Rule Collectors:** otra asociación de aficionados a las reglas de cálculo, en este caso de Holanda. <http://www.rekeninstrumenten.nl/>
- **Linealis:** similar a los anteriores, pero para países de habla francófona. <http://www.linealis.org/>
- **United Kingdom Slide Rule Circle:** esta asociación está radicada en el Reino Unido. Su web: <http://www.uksrc.org.uk/>

En una de las páginas del blog de Jorge Fábregas se puede encontrar el enlace a estas y otras asociaciones, así como a numerosas páginas web dedicadas de una u otra manera a las reglas de cálculo. Para acceder: <http://www.reglasdec calculo.com/links.html>

8.1. Reglas de cálculo virtuales en la red

Hay portales que nos ofrecen reglas de cálculo virtuales con las que podemos interactuar a través de la pantalla de nuestro ordenador. El portal de *antiquark* ofrece varios modelos con los que podemos practicar en diferentes reproducciones de modelos reales. El enlace al portal es <http://www.antiquark.com/sliderule/sim/>

Otros portales que ofrecen simuladores de reglas de cálculo son:

- https://www.sagmilling.com/tools_sliderule#
- <http://www.reglasdecalculo.org/arnau>

8.2. Aplicaciones Android

También existen numerosas aplicaciones para dispositivos con sistema operativo Android que nos permiten disponer de un simulador de regla de cálculo en nuestro móvil o tableta. Detallamos tres de ellas, aunque una búsqueda en la *Google Play Store* permite encontrar algunas más:

- **Slide Rule:** <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.timscott.sliderule&hl=es>
- **Infinirule Virtual Slide Rule:** https://play.google.com/store/apps/details?id=nz.gen.geek_central.infinirule
- **Regla de Cálculo Circular:** <https://play.google.com/store/apps/details?id=it.slug.circularsliderule>

8.3. DIY (Do It Yourself)

Podemos construirnos nuestras propias reglas de cálculo. Para ello existen en la red numerosos recursos de plantillas que permiten ser recortadas y añadidas a nuestros modelos en cartón, plástico o soportes más sofisticados. En la dirección web <http://www.reglasdecalculo.com/brico.htm> podemos encontrar numerosos modelos y plantillas que servirán a estos propósitos. Con las impresoras de tinta actuales se pueden conseguir precisiones más que aceptables. En dicho portal se ofrecen modelos de reglas de cálculo simple, duplex, circulares y algunos otros tipos de calculadoras mecánicas para recortar.

Incluimos a continuación dos modelos sencillos, que una vez impresos y recortados pueden servir para practicar. El primero está descargado desde la página de la *Ryerson University*, <http://www.ryerson.ca>. El segundo modelo apareció en la revista *Investigación y Ciencia* en julio de 2006 y el enlace a la descarga original es <http://www.reglasdecalculo.com/brico/regla.pdf>.

glue -- glue -- glue

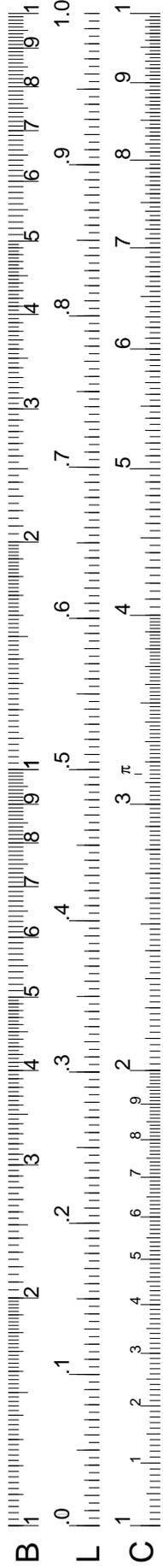


1. Print or copy onto stiff paper.
2. Fold on dotted lines.
3. Cut this window out carefully.
4. Glue tab back on itself, when dry, glue halves together.

(C) Copyright 1991, Andy Kinsman, P.O. Box 1457, Fairport, N.Y. 14450-1457 "Collector of Slide Rules" kinsman@ssd.kodak.com

CONVERSION FACTORS

| LINEAR MEASURE | AREA MEASURE | VOLUME MEASURE | WEIGHT | ENERGY - WORK | PRESSURE |
|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|----------------------|--------------------------------------|
| 1 inch = 2.54 cm | 1 sq inch = 6.452 cm ² | 1 cu inch = 16.39 cm ³ | 1 Pound = 0.4536 kg | 1 Btu = 778 ft-lb | 1 atm = 14.7 psi |
| 1 foot = 0.3048 m | 1 sq foot = 0.0929 m ² | 1 cu foot = 0.0283 m ³ | 1 Grain = 0.0648 g | 1 hp = 0.707 Btu/sec | 1 ft of water = 0.4335 psi |
| 1 yard = 0.9144 m | 1 sq yard = 0.8361 m ² | 1 cu yard = 0.7646 m ³ | 1 U.S. gallon = 8.345 lb | 1 hp = 550 ft-lb/sec | 1 in. of mercury = 0.4912 psi |
| 1 mile = 1.609 km | 1 sq mile = 2.59 km ² | 1 U.S. gallon = 3.785 liter | 1 cu foot of water = 62.43 lb | 1 hp = 0.746 kw | 1 in. of mercury = 1.133 ft of water |
| 1 mile = 5280 ft | 1 sq mile = 640 acres | 1 U.S. gallon = 231 cu in. | 1 cu foot = 28.32 liter | | 1 in. of mercury = 780 ft of air |
| 1 naut.mile = 1.152 mi. | 1 acre = 43,560 sq ft | | | | |



9. Agradecimientos

Este artículo no habría sido posible sin la colaboración directa e indirecta de Jorge Fábregas Zazza, amante y coleccionista de las reglas de cálculo. Durante la redacción del artículo he tenido ocasión de conocerlo personalmente. Las conversaciones que he mantenido con él han sido una experiencia muy gratificante y me han permitido comprobar sus extensos conocimientos acerca de las reglas de cálculo. Su colección de reglas de la marca *Faber Castell* es probablemente la mejor y más completa del mundo. Su blog, reglasdecalculo.com, me ha servido para acceder a mucha de la información que he utilizado para redactar el artículo. Quiero manifestar desde aquí públicamente mi agradecimiento a Jorge por el tiempo que me ha dedicado y la amabilidad con la que me ha tratado.

Referencias

- [1] Wikipedia. *Regla de cálculo*. 2016. URL: https://es.wikipedia.org/wiki/Regla_de_c%C3%A1lculo.
- [2] Stillman Drake. "Galileo y el primer instrumento mecánico de cálculo". En: *Investigación y Ciencia* 58 (2009).
- [3] Miguel García Ibañez. *Teoría y manejo de la regla de cálculo logarítmica*. Ed. por Dossat S.A. 3.ª ed. Dossat S.A., 1966, pág. 488.
- [4] Gonzalo Martín Armendariz. "La introducción de las reglas de cálculo en España". En: (2011), págs. 1-21.
- [5] Robert Musil. *El hombre sin atributos*. Ed. por Seix Barral. Barcelona, 1969.
- [6] Ángel Requena Fraile. "Funcionamiento y actualidad de la regla de cálculo". En: *XVI JAEM Palma 2013: Jornadas sobre el Aprendizaje y la Enseñanza de las Matemáticas*. Palma de Mallorca, 2013.
- [7] Stanislaw M. Ulam. *Aventuras de un matemático. Memorias de Stanislaw M. Ulam*. 1991. URL: http://divulgamat2.ehu.es/divulgamat15/index.php?option=com_content&view=article&id=9105:aventuras-de-un-matemco&catid=53:libros-de-divulgaciatemca&directory=67 (visitado 20-05-2016).
- [8] Derek Ross. *AntiQuark*. URL: <http://www.antiquark.com/sliderule/sim/virtual-slide-rule.html> (visitado 01-05-2016).
- [9] Varios autores. *Slide Rule Manuals and Book Downloads*. URL: http://sliderulemuseum.com/SR_Library.htm (visitado 26-01-2016).
- [10] Varios. *Manuales de instrucciones para Reglas de Cálculo Slide rules en español*. URL: <http://www.reglasdecalculo.com/manuales.htm> (visitado 26-01-2016).
- [11] Jorge Fabregas Zazza. *JFZAZZA REGLAS DE CALCULO*. URL: <http://www.reglasdecalculo.com/> (visitado 20-06-2005).
- [12] Gonzalo Martín Armendariz. "Las reglas de cálculo taquimétricas en España (1860-1920)". 2013.

Sobre el autor:

Nombre: Santiago Higuera de Frutos

Correo electrónico: santiago.higuera@upm.es

Institución: Departamento de Matemática e Informática Aplicadas a la Ingeniería Civil y Naval. Universidad Politécnica de Madrid, España.