REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

BOLETÍN

AÑO DE 1895. **Madrid 30 de Septiembre.** NÚM. 27.

Llenos de profundo disgusto tenemos el sentimiento de participar á nuestros lectores que el Ilmo. Sr. D. José Antonio Rebolledo y Palma, Inspector general de segunda clase del Cuerpo de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, ha fallecido en esta corte el día 20 del presente mes.

La Redacción de la REVISTA, en nombre de todos sus compañeros, se asocia al inmenso dolor que tan sensible pérdida ha causado á la familia del finado.

MEMORIA

SOBRE LAS

MÁQUINAS ALGÉBRICAS

(Continuación.)

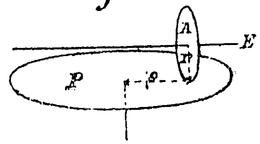
Todas estas consideraciones teóricas nada arguyen contra la utilidad de las máquinas propuestas; pero adolecen éstas, desgraciadamente, de otro defecto de mayor importancia; se han proyectado sin tener en cuenta las exigencias de la práctica, y son en general absolutamente inútiles.

Las dificultades que en la construcción de máquinas algébricas se encuentran, no provienen sólo de la complicación de las fórmulas; provienen también, y muy principalmente, de que las variables—que en las máquinas han de representarse por desplazamientos—pueden variar entre límites muy extensos. Esto nada importaría, si los cálculos mecánicos se ejecutaran con absoluta exactitud, porque, empleando una escala bastante pequeña, se podrían representar variaciones grandísimas de una variable con un movimiento de muy escasa amplitud en el móvil correspondiente. Pero tal exactitud es imposible, habrá siempre error en los cálculos, error tanto más pequeño cuanto más exactos sean los mecanismos empleados y más grande la escala en que las variables se representen.

De aquí la necesidad de emplear mecanismos que reduzcan á un mínimo los errores de transmisión y permitan una gran amplitud de movimientos; condición de ordinario difícil de llenar y por completo desatendida en las máquinas propuestas para resolver ecuaciones.

Derivan éstas, generalmente, de los planímetros, y emplean, como ellos, para obtener relaciones de velocidad variables, un platillo P (fig. 2) y una ruleta A, de radio r, que pueden correr

Fig. 2.



á lo largo de su eje E, haciendo así variar el radio ρ de la circunferencia de contacto del platillo.

Aun prescindiendo de lo imperfecto é inseguro de la transmisión por contacto, que permite la acumulación de errores y los errores groseros debidos á un resbalamiento posible, este mecanismo nunca podrá servir de base para la construcción de máquinas algébricas.

Supongamos que se quiere construir la ecuación $A_d = m\, P_d$.

Demos, por ejemplo, al platillo 25^cms^ de radio y sean 0,001 y 1.000 los valores límites de m; la ruleta deberá tener un diámetro de medio milímetro, estará al borde del platillo cuando m valga 1.000 y cuando m valga 0,001 la distancia entre la ruleta y el borde del platillo será de un cuarto de milésima de milímetro. Y téngase en cuenta que se llega á tan absurda solución, á pesar de haber escogido el caso más sencillo y de haber impuesto á m límites muy estrechos, inaceptables en la mayor parte de los casos.

Para vencer, hasta donde sea posible, las dificultades prácticas, creo necesario sujetarse á las dos condiciones siguientes:

1.ª *Las transmisiones han de ser puramente geométricas.* Quiero decir con esto que dependerán sólo de la forma de los mecanismos, y así, mientras ésta se conserve, mientras la máquina no se rompa, las relaciones entre los desplazamientos se realizarán seguramente y con toda la exactitud que la construcción de la máquina permita alcanzar.

2.ª *Sólo han de emplearse mecanismos sin fin*, para representar las variables por desplazamientos que puedan oscilar entre límites muy amplios.

En este folleto me propongo demostrar la posibilidad de construir, cumpliendo estas condiciones, máquinas que resuelvan *una ecuación ó un sistema de ecuaciones algébricas.*

CAPÍTULO II

ARITMÓFOROS (1)

Según lo dicho en el capítulo anterior, cada variable (V) ha de representarse en una máquina algébrica por la magnitud (V_n) del desplazamiento de un móvil, desplazamiento que designaré siempre con la misma letra que la variable, afectada del subíndice n.

La trayectoria de este móvil es indiferente, pero su movimiento ha de ser de gran amplitud para representar, sin error excesivo, cantidades que puedan variar entre límites muy dilatados. Lo más sencillo será ordinariamente emplear un disco ó tambor graduado, que gire alrededor de su eje. Este móvil puede dar cuantas vueltas se quiera, y, por consiguiente, su desplazamiento

(1) Doy este nombre, propuesto por D. Eduardo Saavedra en su informe, á los aparatos que sirven para representar las variables.

puede variar entre límites tan extensos como sea necesario.

El desplazamiento no ha de ser forzosamente proporcional á la variable representada; bastará que haya una relación conocida

$$(1) \qquad V = f(V_n)$$

entre estas dos cantidades.

Además, puede adoptarse un ángulo cualquiera ($k\pi$) como unidad para medir el desplazamiento V_n; de modo que su valor, expresado en la unidad usual—el arco igual al radio—será

$$k\pi V_n = V_a$$

En adelante llamaré á V_n *desplazamiento numérico*, á V_a *desplazamiento angular* y á $k\pi$, *unidad angular* de V. La ecuación entre los desplazamientos angulares—y esta es la que ha de construirse—no será la misma que determine la relación entre las variables, sino otra distinta, que se deducirá de aquélla, poniendo en vez de cada variable su valor en función del desplazamiento angular correspondiente

$$V = f\left(\frac{V_a}{k\pi}\right)$$

Esta transformación es enteramente análoga á la obtenida en los cálculos gráficos empleando la anamórfosis.

De la ecuación entre las variables, que propiamente no se *construye* en la máquina, diré, en lo sucesivo, que se *representa* en ella.

Convendrá determinar la forma de la ecuación (1) y la unidad $k\pi$, relativas á cada variable, de tal manera que las ecuaciones entre los desplazamientos angulares sean fáciles de construir. Pero dejando á un lado, por ahora, esta consideración, examinaré en el presente capítulo la manera de representar una variable, fijándome únicamente en obtener la representación más perfecta posible.

Lo más sencillo, á primera vista, es representar cada variable por un desplazamiento proporcional á la variable misma; pero basta reflexionar un momento para comprender que esta solución no es siempre aplicable.

Supongamos que en la representación de la variable se tolera un error máximo de una décima—error excesivo, en general inadmisible—y que el aritmóforo, muy hábilmente construído, permite apreciar el desplazamiento del disco con un error de una diezmilésima de circunferencia. En estas condiciones, la unidad de la variable se representará por una milésima de vuelta del disco, ó, en otros términos, la unidad angular será $\frac{2\pi}{1.000}$

Mientras la variable pase de cero á mil millones, el disco deberá dar un millón de vueltas, en lo cual, aun andando de prisa, tardará algunos días y de sobra se sabe que en los cálculos ha de ser necesario con frecuencia representar cantidades mucho mayores, cantidades que á veces se escriben con varias decenas de cifras.

El defecto de este aritmóforo está en que representa la variable con un error absoluto constante, porque esta condición obliga á representar las cantidades grandes con una aproximación innecesaria, á veces ridícula, para obtener las cantidades pequeñas con exactitud suficiente.

Pero lo más interesante al determinar una cantidad cualquiera no es el error absoluto, sino el relativo; éste es pues el que debe hacerse constante al construir el aritmóforo y se conseguirá, empleando la representación logarítmica, poniendo

$$V_n = \log. V.$$

ó sea

$$V = 10^{\frac{V_a}{k\pi}}$$

porque el error máximo posible, al apreciar el desplazamiento, dependerá de la construcción del aritmóforo, será sensiblemente constante y—como los errores cometidos al apreciar la variable y el desplazamiento han de ser bastante pequeños para suponerles en la misma relación que las diferenciales de las cantidades respectivas—tendremos

$$\frac{\text{Error de V}}{\text{Error de } V_n} = \frac{dV}{dV_n} = \frac{I}{\log. e} V$$

y por consiguiente

$$\frac{\text{Error de V}}{V} = \frac{I}{\log. e} \text{ Error de } V_n = \text{constante.}$$

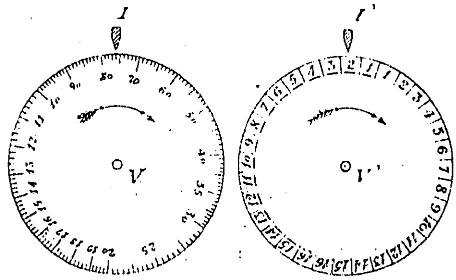
Así se llega á un aparato muy sencillo de construir.

Como las cifras significativas de una cantidad dependen sólo de la mantisa de su logaritmo, basta emplear una graduación logarítmica que vaya de 1 á 10, es decir, que abarque una unidad del desplazamiento numérico, en la cual se leerán las cifras significativas de la cantidad representada. Para conocer la característica y por consiguiente la posición de la coma, se indicará, por medio de un contador ordinario, el número de revoluciones de la graduación.

La fig. 3 representa esquemáticamente este aparato.

V es el disco con la graduación logarítmica, V′ es un disco dividido en partes iguales numeradas como se ve en la figura, I ó I′ son índices fijos que señalan donde se ha de leer; además, se supone establecida entre V y V′ una dependencia mecánica tal, que V′ salta una división por cada vuelta de V. En el disco V se leerán las cifras significativas de la cantidad representada y el V′ indicará la posición de la coma. El número señalado por el índice I′ indicará, si está subrayado, el número de lugares á la izquierda de la coma que ocupa la primera cifra de la cantidad leída en V, y si no lo está, el número de lugares á la derecha de la coma que ocupa esta misma cifra. En la posición de la figura la variable representada vale 75,80 próximamente.

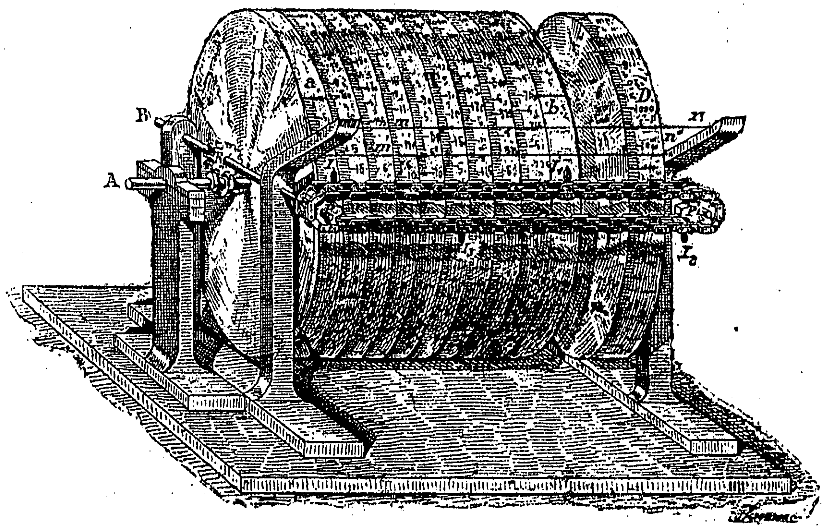
Fig. 3.



El aparato dibujado más arriba sólo permite representar cantidades comprendidas entre 10^{-16} y 10^{+16}, pero pueden dilatarse estos límites cuanto sea necesario, aumentando el número de divisiones de V′ y más aún sustituyendo este disco por un contador ordinario.

Será preciso, sin embargo, casi siempre, modificar esta disposición, acudiendo á la indicada en la fig. 4, ó á

Fig. 4.ª



otra, análoga, que permita aumentar la longitud de la graduación logarítmica y obtener una representación más exacta de la variable.

La graduación va trazada sobre el tambor T, en una faja en espiral a b, que abarca un número exacto de circunferencias (nueve en el aparato dibujado).

Por medio del tornillo sin fin *t* y la ruedecilla R, se trasmite el movimiento del árbol A al B, que gira mucho más lentamente.

En el extremo del árbol B va un piñón P y entre él y el P′ se tiende una cadena de Galle, provista de cuatro índices I, I_1, I_2, I_3, que recorren la distancia a b (medida en línea recta), mientras la graduación logarítmica ejecuta una revolución completa (es decir, en este caso particular, mientras el tambor da nueve vueltas). La longitud de cadena comprendida entre dos índices consecutivos es igual á la distancia a b.

Supongamos que el tambor y la cadena se mueven en el sentido indicado por las flechas respectivas y que, al iniciarse el movimiento, se halle frente al principio a de la graduación uno de los índices, por ejemplo, el I. Este avanzará, según lo que acabo de decir, una longitud igual al ancho de la faja graduada por cada vuelta del tambor y, mientras el tambor da nueve vueltas, recorrerá de un extremo á otro toda la graduación; al abandonarla él, empezará á recorrerla el I_1 y así sucesivamente. Siempre habrá uno de los índices señalando una espira y en ella ha de verificarse la lectura, en el punto enfilado con los dos hilos *m n*, *m′ n′*.

Los aritmóforos logarítmicos no sirven para representar cantidades negativas; pero afortunadamente, según luego veremos, esto poco ó nada dificulta el cálculo mecánico de las ecuaciones algébricas.

Las cantidades positivas pueden representarse con gran perfección; el error se hará muy pequeño, empleando una graduación bastante larga, y las oscilaciones del desplazamiento estarán siempre comprendidas entre límites admisibles, porque no son proporcionales á los de la variable representada, sino á los de su logaritmo (1).

A los aritmóforos logarítmicos recurriré casi siempre en las máquinas descritas más adelante. Al decir que un móvil representa una variable se entenderá—mientras no diga expresamente lo contrario—que su desplazamiento numérico es igual al logaritmo de la variable.

Podrá utilizarse, en algunos casos particulares, un sistema de representación distinto de los dos aquí comparados, para simplificar la construcción de la máquina, pero como solución general, la única aceptable es el aritmóforo logarítmico. La ventaja de hacer constante el error relativo y la de reducir la amplitud de la graduación á la unidad angular, harán insustituíble este sistema de aritmóforos, cuyas propiedades han sido ya utilizadas en la regla de cálculo y en otros aparatos que de ella se derivan.

CAPÍTULO III

CÁLCULOS DE POLINOMIOS

En los cálculos mecánicos lo mismo que en los ordinarios, será preciso, al hallar el valor de un polinomio, elevar las diferentes variables á las potencias indicadas, multiplicarlas después unas por otras, para obtener los diferentes monomios, y hacer la suma de estos últimos.

Elevación á potencias.

Sea $V' = V^m$; tendremos

$$V'_n = mV_n$$

y siendo $k\,\pi$ y $k'\pi$ respectivamente las unidades angulares de V y V'

$$V'_a = \frac{k'}{k}\, mV_a$$

V'_a es proporcional á V_a. Es decir, que para efectuar mecánicamente esta operación bastará ligar dos aritmóforos de manera que exista entre ellos la relación constante de velocidades $m\dfrac{k'}{k}$.

(1) No debo extrañar esta superioridad de la representación logarítmica.

Determinar la forma de la ecuación (1) significa lo mismo, con relación á las máquinas algébricas, que escoger el sistema de numeración, con relación á los cálculos ordinarios, y, en cierto modo, adoptar la forma $V_n = \log. V$ equivale á elegir el sistema de numeración usual, mientras que hacer $V_n = V$ equivale á escoger el sistema más sencillo—empleado solo en casos especialísimos—de señalar tantos trazos como unidades tiene el número que se quiere escribir.

En el sistema decimal, y lo mismo en la representación logarítmica, las cantidades se escriben con un cierto número de cifras significativas, mayor ó menor, según la clase de cálculos, pero en general independiente de la cantidad escrita, poniendo así un límite al error relativo.

Las cifras tienen un valor propio y un valor de posición. Ejecutar una revolución completa de la graduación logarítmica equivale á correr un lugar la coma en la numeración decimal.

Nada de esto sucede si se escriben los números trazando una raya por cada unidad, ó si se representan las cantidades haciendo $V = V_n$.

Entonces el error absoluto es constante, pero el relativo crece ó mengua á medida que mengua ó crece la cantidad escrita ó representada.

Las rayas tienen un valor propio, independiente de su posición, el número de rayas y el desplazamiento del móvil V aumentan ó disminuyen siempre proporcionalmente á la cantidad escrita ó representada; por eso, así como se necesitaría un número grandísimo de infolios para escribir por medio de rayas las cantidades de varias decenas de cifras, que á veces intervienen en los cálculos, sería necesario también, eligiendo la representación natural, que diera el disco V un número inaceptable de vueltas para representar estas mismas cantidades, que sin dificultad ninguna se representan en los aritmóforos logarítmicos.

Multiplicación.

Sea $V'' = V \times V'$; tendremos

$$V''_n = V_n + V'_n$$

$$V''_a = \frac{k''}{k} V_a + \frac{k''}{k'} V'_a$$

y poniendo $k = k' = 2k''$

$$V''_a = {}^1/_2 (V_a + V'_a).$$

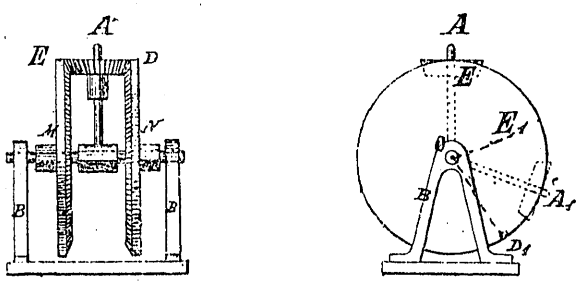
Esta es precisamente la ecuación de los desplazamientos de las ruedas cónicas M, N y el eje A, que lleva la ruleta del tren epicicloidal (fig. 5). (1)

(1) En efecto, si la ruleta gira alrededor de su eje A, los desplazamientos angulares simultáneos de las dos ruedas M y N relativos al eje A serán iguales y de sentido contrario, cualesquiera que sean los movimientos de este eje.

Si en una nueva posición del aparato el eje está en A_1 y los puntos primitivos de contacto en E_1 y D_1, tendremos $E_1OA_1 = D_1OA_1$, y por consiguiente

$$AOA_1 = {}^1/_2 (AOE_1 + AOD_1)$$

Fig 5.



(*Se continuará.*)

MOVIMIENTO DEL PERSONAL

OBRAS PÚBLICAS

INGENIEROS

En la vacante que en la clase de Inspectores generales de segunda ha producido la defunción del Excmo. é Ilustrísimo Sr. D. José Antonio Rebolledo y Palma, ha sido ascendido á esta categoría el Ingeniero Jefe de primera clase Sr. D. Enrique de León y Mesonero, que actualmente desempeña la Jefatura de la provincia de Huesca.

Ha sido ascendido á Jefe de primera clase en la vacante ocurrida por el ascenso anterior, el Jefe de segunda Sr. D. Rafael Yagüe y Buil, Jefe de la División Hidrológica del Júcar y Segura.

El Ingeniero primero, Jefe de Negociado de primera clase, D. Andrés Soriano é Ibarra, ha sido promovido á Ingeniero Jefe de segunda clase, Jefe de Administración de cuarta clase, en la vacante que en dicha escala resulta por ascenso del Sr. Yagüe y Buil.

Ha ingresado en servicio activo el Ingeniero primero, Jefe de Negociado de primera clase, Sr. D. Rafael Martín y Arrué, que tenía pedida la vuelta al servicio del Estado, en la va-