

Nos hemos ocupado con mucha detención en el freno Carpenter, porque además de ser uno de los más perfectos que se conocen, ha sido ya aplicado en España, y las experiencias que con él se verificaron se hallan descritas en el núm. 13 de la REVISTA del año anterior.

(Se continuará.)

E. MARISTANY Y GIBERT.

APLICACIONES MODERNAS DE LA REGLA DE CÁLCULO.

Lámina 48.

Conocidos son de todos los Ingenieros los progresos que en estos últimos años se han conseguido en los métodos gráficos aplicados al cálculo de las construcciones, que hoy reemplazan, en muchas de las aplicaciones de nuestra profesión, á los laboriosos cálculos que exigen las fórmulas ordinarias de la Estática. En las obras de Cullmann, Lévy, Clarke, Cremona y otros muchos, así como en las publicaciones periódicas de la profesión, se encuentran numerosas y útiles aplicaciones de los métodos gráficos que facilitan notablemente el trabajo del Ingeniero, pudiendo asegurarse que el conocimiento de estos métodos es actualmente indispensable en la práctica de la carrera.

La mayor experiencia que ahora tenemos de las construcciones metálicas y el progreso realizado en la fabricación de los hierros, tiende también á sustituir las viciosas construcciones de los primeros años, por otras mejor concebidas, y cuyos elementos se calculan casi siempre por aquellos métodos. Así á las antiguas vigas de alma maciza del puente de Britannia, ó á las que luego se usaron de celosías espesas, han sucedido hoy las llamadas americanas ó reticulares, compuestas de sistemas triangulares, con sus numerosas variantes de Warren, de Fink, de Bollmann, de Howe, de Nuestra Señora. Á los puentes de arco que exigen cálculos fastidiosísimos y de todo punto inciertos, sustituyen con ventaja en luces moderadas los bow-strings; así como han caído en merecido descrédito las vigas de varios tramos con su falange de *mómentos y combinaciones de carga*.

En una palabra, cada día que pasa alcanzan más importancia en nuestra profesión estos métodos de cálculo rápidos y prácticos, que no sólo tienen la ventaja de facilitar el trabajo, sino que, en mi opinión, avivan el *instinto* profesional de mejor manera que la balumba de fórmulas complicadas de que están llenos los libros de mecánica, y que fácilmente se olvidan á los pocos años de entrar en la práctica del arte. Téngase en cuenta, como dice Frantwine, que rara vez se encuentran combinados en una misma persona

gran talento matemático, con el sentido práctico é instinto de observación de las cosas que constituyen las condiciones más necesarias para que un Ingeniero obtenga éxito, y así se explicará que los Ingenieros europeos, especialmente los franceses, á pesar del completo bagaje científico que sacan de sus escuelas, ó quizás por eso mismo, han seguido paso tras paso las huellas de los americanos, á quienes debemos las más elegantes, sencillas y atrevidas construcciones de hierro y madera que se conocen, aun cuando pocos entre ellos podrían acometer la resolución de la menos rebelde de las integrales.

No es, pues, extraño que vaya dándose la debida importancia en la práctica del arte á los *modus operandi*, que en otras partes alcanzan tan merecida boga. Entre los más dignos de mención figuran las aplicaciones que ha recibido modernamente la regla de cálculo ordinaria, á las que, con su sentido práctico, se han dedicado más especialmente los ingenieros ingleses, ideando combinaciones de escalas logarítmicas para resolver la mayor parte de las fórmulas que usa el Ingeniero ó el Mecánico. Estas escalas, por lo menos en la práctica, reemplazan á los procedimientos gráficos usuales de la Estática, á los que aventajan en rapidez, obteniéndose igual aproximación en los resultados. Conozco varias de ellas, entre las que citaré las de Hudson, para el cálculo de las máquinas de vapor; otra para el cálculo de las bombas; y otra para el de los árboles de transmisión y el las vigas de sección rectangular ó de T, ya sean éstas de madera, de hierro, laminado ó fundido ó de acero.

Todas estas reglas son de dimensiones muy reducidas, $11 \frac{1}{2} \times 5 \frac{1}{2}$ centímetros, pudiéndose llevar en el bolsillo; están trazadas en cartulina, por lo que su precio es ínfimo; y aunque la numeración de las escalas está arreglada á las unidades de medidas inglesas, es muy fácil adaptarlas á los cálculos por el sistema métrico, para lo que no hay que hacer sino corregir los índices.

El Ingeniero Ganga Ram ha arreglado otras tres escalas de cálculo, que son de gran utilidad para Ingenieros y Arquitectos. Una de ellas sirve para el cálculo de las vigas y viguetas de suelo y para el de las armaduras de edificios, aplicable á todas formas y luces. Otra para determinar el espesor de los muros de sostenimiento de tierras, ya esté el terraplén á nivel de la coronación ó con sobrecargas, y cualquiera que sea la forma y disposición del muro (rectangular, inclinado, con talud interior, exterior ó doble y de sección constante ó con contrafuertes). Finalmente, otra escala sirve para el cálculo de las vigas de puente, ya sean de alma maciza ó de celosía, de Warren, dobles mallas, etc., determinándose los esfuerzos de flexión y cortantes en cualquier punto de las cabezas, y en todas las piezas

ó barras del alma con la mayor rapidez, y poniendo á la vista la parte central de la viga que necesita *counter-bracing*, ó sea triangulación de *doble efecto*.

En esta última escala voy á ocuparme ahora, describiéndola y dando á conocer su uso por medio de algunos ejemplos, reservándome describir las otras para más adelante, si las atenciones de mi cargo me lo consienten.

ESCALA DE CÁLCULO DE *Ganga Ram* PARA DETERMINAR LOS ESFUERZOS
EN LAS VIGAS DE PUENTES.

Esta regla es de madera de boj, y tiene $27 \frac{1}{2}$ centímetros de largo por $5 \frac{1}{2}$ de ancho, estando reforzada en sus extremidades con abrazaderas de metal blanco.

Tiene escalas logarítmicas en sus dos caras, sirviendo las del anverso para determinar los esfuerzos de flexión en las cabezas, y las del reverso para los esfuerzos cortantes que resisten y transmiten las piezas del alma.

La regla y la reglilla son dobles en ambas caras; es decir, tienen escalas independientes en su parte superior é inferior, cada una de las cuales sirve para la determinación de una fórmula distinta.

La parte superior del anverso sirve para determinar la cantidad $w \frac{L^2}{8D}$, que representa el esfuerzo de flexión en una viga apoyada en sus extremos, cuya longitud es L , su altura D , y que está cargada con el peso w por unidad de longitud. Para ello hay trazadas cuatro escalas logarítmicas en la regla y reglilla, que se corresponden dos á dos, y marcadas con las letras D , C , L y M . De éstas, la D y L tienen por unidad el pie inglés; la C el quintal inglés por pie lineal y la M la tonelada inglesa. Es claro que para adaptarlas al sistema métrico decimal, podemos disponer arbitrariamente de la unidad de tres de las escalas, y nos bastará correr la posición de la cuarta á donde le corresponda, lo cual viene á ser lo mismo que multiplicar aquella fórmula por el coeficiente de reducción final que resulte con las unidades nuevas. Adoptemos, por ejemplo, para las unidades de longitud representadas en las escalas D y L el decímetro en vez del pie inglés, y en la C sea la unidad elegida 10 kilogramos por decímetro en lugar de quintal por pie, cuyas unidades convienen para que entren en la numeración de las escalas las dimensiones más usuales de los puentes. Si se quiere conocer el esfuerzo de flexión en el centro de una viga de 10 metros de longitud por 1 de altura, cargada con 2 toneladas por metro lineal, tendremos por la fórmula $w \frac{L^2}{8D}$ que el esfuerzo será $2 \times \frac{100}{8} = 25$ to-

neladas. Para encontrar este valor con las escalas, correremos la reglilla hasta que el número 20 de la escala C caiga debajo del 10 de la D, y si las numeraciones estuviesen arregladas á las unidades elegidas, debía caer debajo del número 100 en la escala L el número 25 de la M, que es la que da el esfuerzo; pero como en vez de este número se lee 125, tendríamos que correr toda la graduación de la escala M hasta llevar el 25 debajo del 100 para tener las cuatro escalas en la posición conveniente á las nuevas unidades. Como esto no lo podemos hacer, tendremos en su lugar que multiplicar en todos los casos el resultado que se lea en la escala M por la relación $\frac{25}{125}$, ó sea por el coeficiente 0,2, para obtener el esfuerzo en toneladas métricas.

La parte inferior del anverso consta de dos escalas logarítmicas, cuyas divisiones tienen igual longitud, usándose como la regla ordinaria de cálculo. Con ella se determina el esfuerzo de flexión y' en cualquier punto de las cabezas, conocido el del centro de la viga y , pues que se verifica entre ellos la relación $\frac{y'}{y} = \frac{a \times b}{l^2}$, en la que l es la emiluz y a , b , las distancias del punto á los dos apoyos.

El reverso de la regla está dividido asimismo en dos partes, sirviendo la superior para determinar los esfuerzos cortantes en los apoyos, y los de cualquier pieza del alma cuando se deba á una carga uniforme, y la inferior para determinar el esfuerzo cortante en las barras ó secciones intermedias del alma cuando sean efecto de una carga en movimiento.

La parte superior consta de cuatro escalas logarítmicas, por medio de las cuales se obtienen los valores de la fórmula $y = \frac{w}{2} \operatorname{cosec} \varphi \times x$, correspondiente á los esfuerzos cortantes de la carga uniforme. Para obtener en la escala S_1 los valores en toneladas métricas, usando en las X y W las unidades anteriores, bastará multiplicar su resultado por el coeficiente 0,2.

La parte inferior del reverso consta de dos escalas logarítmicas S_2 é Y , siendo las divisiones de la Y , ó sea de la reglilla, de doble longitud que las de la S_2 para poder determinar los valores de la forma $y = \frac{w \alpha^2}{2L}$, que corresponden á los esfuerzos cortantes debidos á una carga móvil, avanzando gradualmente por la viga, como el paso de un tren de camino de hierro.

Se ve, pues, que con las escalas trazadas en la regla, se pueden determinar todos los esfuerzos á que están sometidas las vigas de puentes en sus diversas partes, y que esto se puede efectuar empleando las unidades métricas que hemos elegido, sin más que multiplicar por el coeficiente 0,2 los resultados que se lean en las escalas M y S_1 .

Pasemos ahora á explicar el manejo de la regla por medio de algunos

ejemplos; pero antes resumiremos los principios y fórmulas en que se funda su construcción y que ya hemos expuesto.

Esfuerzos de flexión.—Se representan por las ordenadas de una parábola como la de la figura 1.^a, siendo la magnitud de la del centro

$$ab = \frac{wL^2}{8D},$$

y la de cualquier punto intermedio

$$a'b' = ab \times \frac{b'x \times b'x'}{bx' \times bx'};$$

siendo w = carga por unidad de longitud;

L = longitud de la viga;

D = altura de la misma.

La lectura de las escalas cuando se usen, como más adelante se indicará, darán estas ordenadas en cualquier punto, y por lo tanto, el *esfuerzo de flexión* en este punto, correspondiente á cualquiera de las dos cabezas de la viga.

Esfuerzos cortantes.—Son de dos clases: debidos á la carga permanente ó á una carga móvil.

Fig. 2.^a

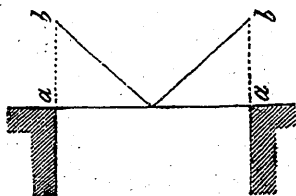
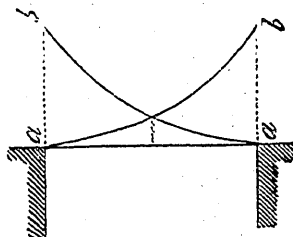


Fig. 3.^a



Los primeros se representan por las ordenadas de un triángulo (figura 2.^a), en el que las ordenadas en los apoyos son $ab = \frac{wL}{2}$ y en el centro 0. En los segundos, los mayores esfuerzos, debidos á una carga en movimiento, se representan gráficamente por las ordenadas de una parábola (fig. 3.^a), en la que la ordenada en el apoyo $ab = \frac{w'L}{2}$, siendo w' la carga móvil por metro lineal.

Obsérvese para en adelante, que el valor de esta ordenada en los apoyos corresponde al de la fig. 2.^a, lo que quiere decir que el máximo esfuer-

zo cortante en estos puntos es el mismo, ya sea la carga *móvil* ó *estacionaria*. Entre los apoyos, los esfuerzos se representan por la fig. 3.^a en el caso de una carga *móvil*, y por la 2.^a en el caso de que sea *estacionaria*.

Las escalas de la regla dan separadamente los resultados que se obtendrían por los diagramas de las figuras 2.^a y 3.^a

Nota.—Para aplicar esta regla al sistema métrico decimal, se tomarán por unidades de las diferentes escalas que contiene, las siguientes:

ANVERSO. . . .	{	D, el decímetro.
		C, el peso por decímetro lineal en decenas de kilos.
		L, el decímetro.
		M, la ton. métrica: 0,2.
REVERSO. . . .	{	W = carga por decímetro lineal en decenas de kilos.
		X = el decímetro.
		Y = el decímetro.
		S ₁ = la tonelada métrica: 0,2.

VIGAS DE ALMA MACIZA

Ejemplo: Cálculo de las vigas del puente Gimalás. (Batangas). Esta obra se halla en construcción actualmente en el distrito de mi cargo.

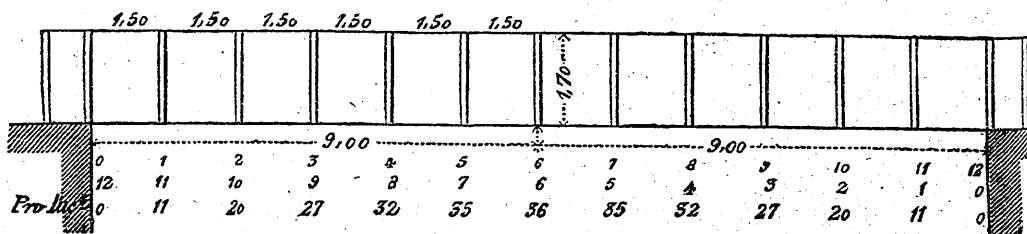
Dimensiones. . . .	Longitud del tramo. . .	18 metros.	
	Altura de la viga. . . .	1,70	
Carga permanente por viga. . . .	Peso del hierro.	10,70 ton.	} Por metro = 1,48 ton.
	Idem del pavimento. . .	16,00	
		27,70 ton.	

Carga permanente por metro. 1,48 ton.

Carga móvil por idem. 0,94 »

$$w = 14,8; w' = 9,4; W = 24,2.$$

Fig. 4.^a



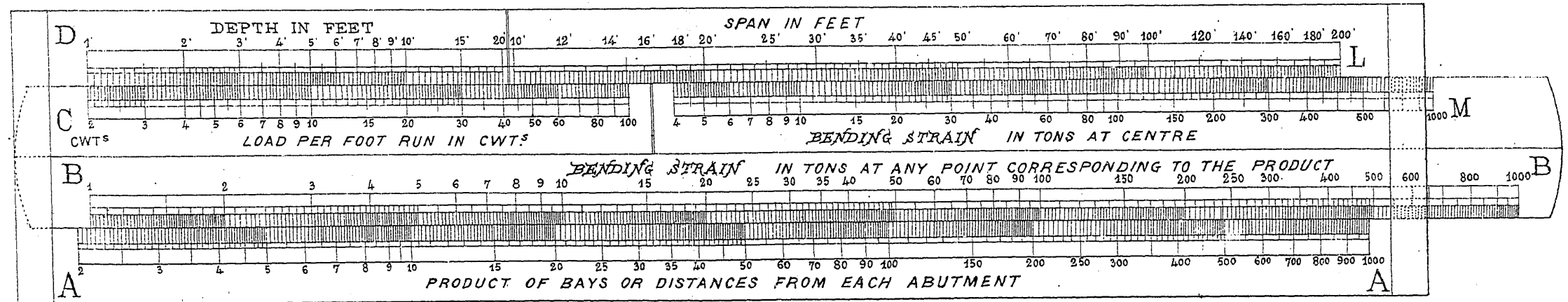
(Se continuará.)

ANTONIO-DE LA CÁMARA.

GANGA RAM'S CALCULATING SCALES.

FOR STRAINS ON GIRDERS.

DEVERSE.



REVERSE.

