Pero la causa esencial del resultado pareció ser debida a que las lumbreras de aspiración se descubrían solamente al final de la carrera y que su duración de apertura disminuía al aumentar el número de revoluciones del motor. Se estimó como seguro que una máquina en la que los elementos de distribución no estuvieran servidos por el mismo émbolo de trabajo y sí lo fuesen por válvulas, que pudieran permanecer abiertas durante todo el período de aspiración, podrían dar lugar a un grado de admisión más favorable en el motor; pero también se comprobó que en este caso habría de prescindirse de la sencillez de construcción que caracterizaba el motor objeto del ensayo.

Como también influyen en el rendimiento de la bomba de alimentación las resistencias que se producen en la tubería de presión y las originadas al introducir la carga en el cilindro de trabajo, y ambas dependen de la presión al final de la expansión, se realizó un ensayo paralelo, haciendo que la bomba de alimentación funcionara con una contrapresión variable. Para esta operación se cerró la alimentación de bencina y se hizo trabajar al motor exclusivamente como si fuera una bomba, accionado por el electromotor (figura 9.ª) y se dispuso la inyección del aire en el cilindro del motor directamente por el escape, actuando como contrapresión la presión exterior. Los resultados que se obtuvieron se consignan en los números 8 a 12 del citado cuadro I y se representan en la figura 11 según la línea *b*. La comparación en esta figura de las dos líneas *a* y *b* demuestra que el grado de admisión en el segundo caso disminuye con desigualdad y más rápidamente que en el primero al aumentar el número de revoluciones del motor. En funcionamiento normal parecía descender la presión al final de la expansión en el cilindro del motor hasta por bajo de la presión exterior; y como consecuencia del escape de los productos de la combustión, se producía en el cuerpo de la bomba un efecto de aspiración que favorecía la admisión de la carga en el cilindro del motor, o que, por lo menos, existían facilidades para la nueva admisión, evitando sus atascos, sin duda debido a la gran velocidad con que salían al exterior los gases de la combustión. No se pudo determinar en el indicador este proceso de una manera evidente, a causa, probablemente, de la disposición y dimensiones de las lumbreras y del tubo de escape, los cuales hubieran debido estar dispuestos de manera más favorable en el motor de ensayo.

J. C. R.

# Regla logarítmica Rieger para el cálculo de resistencia de las construcciones de hormigón armado

La resolución de largas ecuaciones y fórmulas complicadas que entran en los cálculos para la comprobación o redacción de un proyecto de obra de hormigón armado, decidió al ingeniero de puentes y Calzadas J. Rieger, profesor en la Escuela Politécnica de Brno (Tchecoslovakia), al estudio y formación de una regla logarítmica que, después de catorce años de un asiduo y meritísimo trabajo, vió terminada, no sin vencer grandes obstáculos en su fabricación, lo que hizo encarecer con exceso sus primeros ejemplares.

En ellos no se resolvían los problemas relativos a la flexión compuesta, así como tampoco la determinación de las dimensiones de una pieza, conocidos los esfuerzos para unos coeficientes de trabajo límites, sirviendo tan solo para la resolución del problema inverso, o sea la comprobación de aquellos coeficientes en proyectos ya formulados. Estas deficiencias fueron subsanándose en ediciones de la regla sucesivas, hasta que una cuarta, presentada recientemente, resuelve el problema en toda su generalidad tratando los problemas relativos a la flexión compuesta, que son los más laboriosos, pudiendo redactarse con su ayuda un proyecto completo. Es, pues, para los proyectistas de obras de esta clase de fábrica, de una gran utilidad, ya que a la economía de tiempo que su uso reporta se une la evitación de los errores materiales que lleva consigo la resolución de ecuaciones complicadas.

La gran aceptación que, sobre todo en Francia e Inglaterra, ha tenido la regla entre los ingenieros especialistas, ha hecho que haya podido reducirse mucho el precio de su fabricación, habiendo sido reconocida su utilidad por el Ministerio de Travaux publics, recomendando su empleo a los Services des Ponts et Chaussées.

Tiene además la regla logarítmica Rieger la ventaja de poder emplearse en todos los países, con distintas instrucciones para el cálculo del cemento armado y sin distinción de coeficientes, presentándola acompañada de un detallado folleto descriptivo de su empleo.

No es ésta sola; algunas otras se han fabricado y empleado, entre ellas las alemanas de Janesch-Schnell, las del Dr. Lewe; pero sólo resuelven sencillos problemas, como son los correspondientes a vigas de sección rectangular con armadura única sujeta a tracción, mientras la del sistema Rieger no sólo se aplica, como hemos dicho, a todos los problemas para aquella sección, sino también para las de sección en T, o sean los forjados con nervios, determinando además los esfuerzos normales, los cortantes y las flechas que con distintas cargas se producen.

Vamos a describir en líneas generales los procedimientos de cálculo que el manejo de la regla exige, y para ello pueden dividirse los usuales en tres grupos.

## *A*) Flexión sencilla

*a*) Dadas las dimensiones de la sección y armadura y el momento flector, determinar los coeficientes de trabajo.

*b*) Inversa del anterior, o sea determinar las dimensiones de la sección y su armadura, conociendo el momento flector que ha de resistir y los coeficientes límites de trabajo que admitimos.

*c*) Determinación de esfuerzos cortantes.

### *B*) Compresión simple

*a*) Dadas las dimensiones de la sección de un pie derecho, así como su armadura y el esfuerzo que sobre aquél actúa, determinar los coeficientes de trabajo.

*b*) Inverso del anterior, o sea determinar las dimensiones de la sección del pie derecho y su armadura, conociendo el esfuerzo que ha de resistir y los coeficientes límites de trabajo admitidos.

*c*) Los dos problemas anteriores en el caso de emplear el hormigón zunchado.

### *C*) Flexión compuesta

*a*) Estando el punto de aplicación del esfuerzo en el núcleo central de la sección, cualquiera que sea ésta, dadas sus dimensiones y las de su armadura, determinar los coeficientes de trabajo, tanto en el caso de emplear armadura simétrica como disimétrica.

*b*) El mismo problema anterior cuando el punto de aplicación del esfuerzo está fuera del núcleo central de la sección.

### *D*) Cálculo de las flechas

*a*) Para vigas apoyadas en sus extremos y uniformemente cargadas.

*E*) Puede, por último, emplearse también la regla como otra cualquiera logarítmica para la resolución de las diversas operaciones aritméticas.

## PROCEDIMIENTO PARA RESOLVER CADA UNO DE LOS PROBLEMAS ENUNCIADOS

### *A*) Flexión sencilla

Las cargas que sufren el hormigón y la armadura las dan las ecuaciones siguientes:

$$\left.\begin{aligned} R_b &= \frac{My}{I} \\ R'_a &= m\,\frac{My'}{I} \end{aligned}\right\} \qquad [1]$$

siendo $M$ = momento flector en la sección considerada.

$h$ = altura útil de la viga, o sea la distancia de la cara superior de aquélla al centro de gravedad de la armadura (figura 1.ª).

$I$ = momento de inercia de la sección total respecto al eje neutro.

$y$ = distancia de la cara superior al eje neutro.

$y'$ = distancia del eje neutro al centro de gravedad de la armadura.

$m = \frac{E_\omega}{E_b}$ = relación de los módulos de elasticidad del metal y del hormigón.

En las fórmulas [1] $\frac{I}{y}$ es una función homogénea de tercer grado en $b, h, e, b', g, \omega, \omega_o$.

Tomando como principales variables $bh$ y expresando las otras en función de aquéllas

$\omega = \frac{pbh}{100}$, siendo $p$ la cuantía o porcentaje de la armadura $\omega$.

$\omega_o = \frac{p_o bh}{100}$, siendo $p_o$ la cuantía o porcentaje de la armadura $\omega_o$.

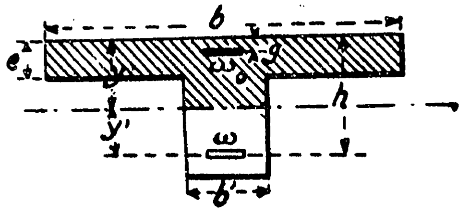



Fig. 1.ª

$\left.\begin{aligned} e &= \delta h \\ b' &= \beta b \end{aligned}\right\}$ $\delta$ y $\beta$ son dos parámetros que definen la forma de la viga.

$g = \begin{cases} 0{,}05\ \text{h, en general para las vigas en T.} \\ 0{,}1\ \text{h, en general para las vigas rectangulares.} \end{cases}$

Según esto, tendremos:

$\frac{I}{y} = bh^2\rho_b$, siendo $\rho_b$ el módulo específico de resistencia del hormigón.

$\frac{I}{my'} = bh^2\rho_f$, siendo $\rho_f$ el módulo específico de resistencia del hierro.

Y las [1] se transformarán en

$$\left.\begin{aligned} R_b &= \frac{M}{\frac{I}{y}} = \frac{M}{bh^2\rho_b} = \frac{\mu}{\rho_b} \\ R'_a &= \frac{M}{\frac{I}{my'}} = \frac{M}{bh^2\rho_f} = \frac{\mu}{\rho_f} \end{aligned}\right\} \text{[2], siendo } \mu \text{ el momento específico.}$$

Vemos, pues, que puede hallarse $R_b$ y $R'_a$ por medio de una escala logarítmica fija sobre la que se lean los valores de $\mu$ y escalas móviles correspondientes a los valores de $\rho_b$ y $\rho_f$ para distintas combinaciones de valores de $\beta$, $\delta$, $p_o$, $p$. Esta última variable $p$ es la que más influye en las cargas $R_b$ y $R'_a$.

Se ha reducido, pues, el número de escalas móviles a diferentes valores de las variables $\beta$, $\delta$, $p_o$, usando la interpolación cuando aquéllos no se hallen entre los inscritos en las citadas escalas. Estas se hallan repartidas en tres regletas que, con la fija, constituyen la regla logarítmica, hallándose en el borde de esta última los valores de $\mu$. En la lámina que se acompaña se representan las caras anteriores de la regla y regleta I, asomando un poco por la parte inferior la regleta II.

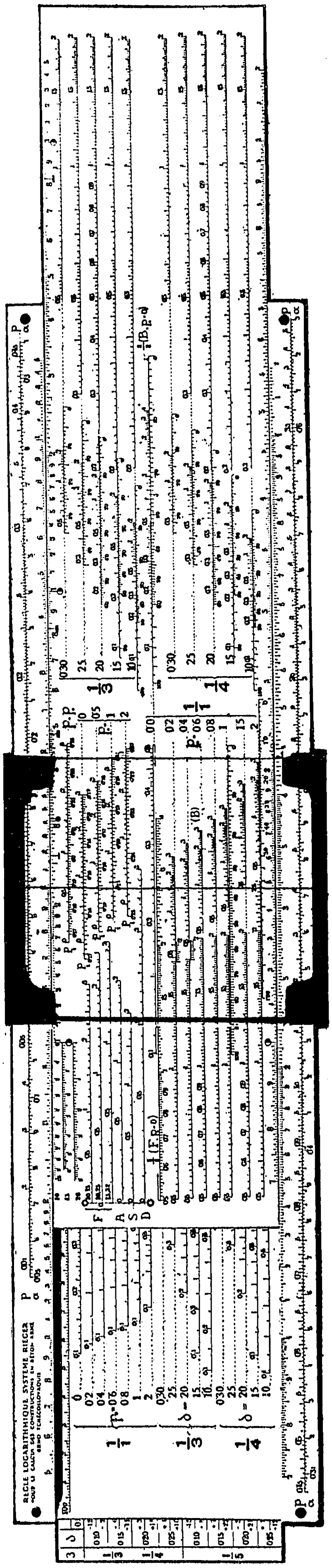
Los diferentes valores admitidos en la regla para los parámetros $\delta$, $\beta$, $p_o$ son los siguientes:

$\delta = \frac{e}{h}$; 0,10; 0,15; 0,20; 0,25; 0,30

$\beta = \frac{b'}{b}$; $\frac{1}{3}$; $\frac{1}{4}$; $\frac{1}{5}$; $\frac{1}{6}$; $\frac{1}{8}$

$p_o = \frac{100\omega_o}{bh}$; 0,00; 0,20; 0,40; 0,60; 0,80; 1; 1,50; 2

Tanto para el caso de una losa o viga de sección rectangular, como para un forjado con nervios de sección en **T**, en el caso que el eje neutro se halla dentro del forjado, es $\beta = \frac{1}{1}$.



Escala: 2/3 del natural, próximamente.

Ahora bien: para cada combinación de valores de las variables anteriores se necesitan dos escalas, una para el hormigón y otra para el hierro de la armadura, que en la regleta se encuentran a continuación una de otra sobre una misma horizontal, correspondiendo, en general, la de la izquierda, al hormigón, y la de la derecha, al hierro, excepto para las losas o secciones rectangulares que se hallan colocadas a la inversa.

Debe advertirse que la regla se ha calculado suponiendo $m = 15$ y que, en el caso de aceptar otra hipótesis, basta hacer la sencilla corrección en los cálculos de sustituir $b$ por $b \times \frac{15}{m}$ y entonces

$$\mu = \frac{m}{15} \times \frac{M}{bh^2}$$

$$p_o = \frac{m}{15} \times \frac{100 \cdot \omega_o}{bh}$$

$$p = \frac{m}{15} \times \frac{100 \cdot \omega}{bh}$$

operándose con estas cantidades, debiendo la carga que encontremos $R_b$, multiplicarla por $\frac{15}{m}$ para obtener el correspondiente al $b$ efectivo.

Como anteriormente se indicó, con las escalas situadas en los bordes de la regla y de las regletas pueden efectuarse las mismas operaciones que con una regla logarítmica ordinaria.

Expuesta la teoría para la «Flexión sencilla», se pueden resolver dos grupos de problemas, a saber:

(*a*) Comprobación de un proyecto. . .
- 1.º Losa con armadura sencilla a tensión.
- 2.º Forjado con nervios y armadura extendida.
- 3.º Losa con armadura comprimida.
- 4.º Forjado con nervios y armadura comprimida.

(*b*) Redacción de un proyecto (problema inverso del anterior). . . — Los mismos casos del grupo (*a*).

Para demostrar la facilidad en el uso de la regla, resolveremos el tercer caso, por ejemplo, del grupo (*a*), para el que se emplean escalas situadas en las caras de la regla que aparecen en la lámina adjunta, en la que el cursor y la regleta se hallan colocados, resolviendo el problema numérico del ejemplo.

No resolveremos los casos restantes por no reproducir las tres regletas con el gran número de escalas que en sus dos caras aparecen, y en gracia también a no alargar con exceso este árido trabajo.

## COMPROBACIÓN DE UN PROYECTO

*Tercer caso.—Losa con armadura comprimida.*

$$b = b' \quad p_o \neq 0$$

Datos (fig. 2.ª):

$M = 200\,000$ kg cm
$b = 100$ cm
$h = 14$ cm
$\omega_o = 8{,}40$ cm²
$\omega = 13{,}58$ cm²
$g = 0{,}1\,h = 1{,}4$ cm

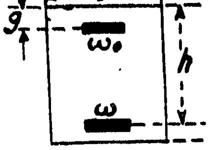



Fig. 2.ª

Calcular previamente:

$$\mu = \frac{M}{bh^2} = 10{,}2$$

$$p_o = \frac{100\omega_o}{bh} = 0{,}60$$

$$p = \frac{100\omega}{bh} = 0{,}97$$

*Modo de operar.*—1.º Se coloca la línea de fe del cursor sobre el valor $\mu$ leído en la escala superior de la regla fija.

2.º Se lee el valor de $p$ en la cara anterior de la regleta I y en la escala correspondiente al valor de $p_o = 0{,}6$, escala que se encuentra en el grupo de la parte baja izquierda de la regleta (véase la lámina), y colocando este valor de $p = 0{,}97$ bajo la línea de fe del cursor, se hallará, frente al índice de referencia de la regleta, el trabajo del hormigón $R_b$ que buscamos y que resulta ser $R_b = 46{,}5$.

3.º Se operará en igual forma para $p$ con la escala de la izquierda, continuación de la empleada anteriormente y que corresponde al hierro, y tendremos $R'_a$.

4.º En las escalas de los bordes de la regla, denominadas $\frac{p}{\alpha}$, se halla el $\alpha$ que corresponde al $p = 0{,}97$ y resulta $\alpha = 0{,}413$, y siendo $\alpha = \frac{y}{h}$ se deduce $y = 5{,}78$, o sea la posición del eje neutro.

En el caso de que $g \neq \frac{h}{10}$, que es el valor adoptado por la regla, se procede usando un ábaco que, como anejo, acompaña al folleto explicativo, de uso muy fácil, y por el que se obtienen los suplementos que hay que sumar a los valores de las cargas halladas para el caso de ser $g = 0{,}1 \cdot h$.

El dibujo esquemático de las operaciones hechas con la regla lo presentamos a continuación (fig. 3.ª), representando con línea gruesa la escala de la regla;

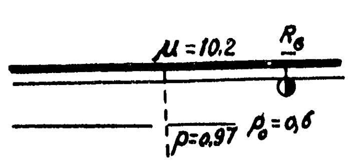



Fig. 3.ª

con líneas finas, las escalas de la regleta, y con línea de trazos, la de fe del cursor. La letra subrayada indica la incógnita que se busca.

Esta misma representación se utilizará en adelante.

*Problema inverso.*—Si el caso a determinar fuera el tercero del grupo (*b*), por ejemplo, se procedería inversamente en las operaciones descritas.

El manejo de la regla vemos, pues, que es muy sencillo.

Resta, en el problema de la «Flexión simple», calcular las

### *c) Cargas tangenciales*

Para calcular estas cargas, se emplean las dos caras interiores de la regla fija: la anterior, lleva las escalas para el cálculo en el caso de losas con o sin armadura comprimida y forjados con nervio sin aquella armadura, y la posterior, las correspondientes al cálculo de aquellos forjados con armadura comprimida.

La carga tangencial en una sección puede calcularse por la fórmula de Grashof

$$\Upsilon = \frac{TM_o}{b'I} \qquad [3]$$

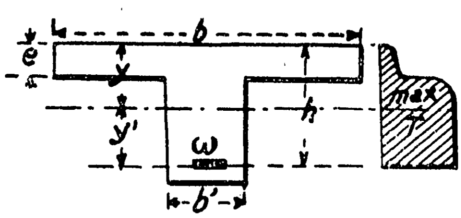



Fig. 4.ª

siendo (fig. 4.ª)
- $T$ = esfuerzo cortante.
- $M_o$ = momento estático del hormigón comprimido respecto al eje neutro.
- $b'$ = ancho de la sección a la altura de dicho eje.
- $I$ = momento de inercia total.

Pero

$$\left.\begin{aligned} M_o &= m \cdot \omega \cdot y' \\ \omega &= \frac{pb \cdot h}{100} = p'bh \\ M &= \mu b \cdot h^2 \\ I &= \frac{M}{R'_a}\, my' \end{aligned}\right\}$$

luego

$$\Upsilon = \frac{T}{b'h}\, p'R'_a = \frac{T}{b'h}\, \eta$$

siendo $\eta$ un coeficiente que da la regla en las escalas de las dos caras interiores mencionadas para distintos valores de $\beta = \frac{1}{1}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4}, \frac{1}{5}, \frac{1}{6}, \frac{1}{8}$, pudiendo ser en cada uno de ellos $\delta = 0{,}10$; $0{,}15$; $0{,}20$; $0{,}25$; $0{,}30$, y, a su vez, $p_o = 0{,}00$; $0{,}50$; $1$.

Según esto, calculado $p = \frac{100 \cdot \omega}{bh}$ y hallado este valor en la escala correspondiente, colocando en él el borde lateral de la regleta, nos marcará ésta en la escala más alta de la cara interior de la regla el valor de $\eta$ que, conocido, se hallará el de $\Upsilon$.

El esquema de las operaciones es el siguiente (figura 5.ª):

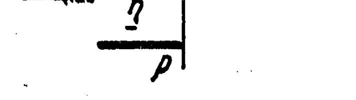



Fig. 5.ª

**Arturo MONFORT**
**Ingeniero de Caminos**