UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
Escuela de Ingeniería

TESIS DE GRADO

REGLA DE CALCULO PARA LA ESTIMACIÓN DE CANTIDADES DE ACERO DE REFUERZO EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO

HERMANN KRUSE R.

1959

A MAMA,

agradeciéndole los esfuerzos y sacrificios que hicieron posible llevar a feliz término mi carrera.-

REGLA DE CALCULO PARA LA ESTIMACION DE CANTIDADES DE ACERO DE REFUERZO EN ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO

I

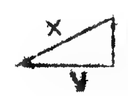
EXPLICACION DE LA REGLA Y SUS PARTES COMPONENTES

En esta regla deben distinguirse dos partes fundamentales: la regla propiamente y la tabla, en el reverso.

1. El lado de la regla.

En el lado de la regla tenemos además de las escalas corrientes (en negro y rojo) A y B (x^2), C y D (x), CI (1/x), DF (πx), K (x^3) y L (log.x), las escalas especiales (en azul), H y Nº2, Nº3,......Nº11.

a) Las escalas corrientes no se explicarán aquí ya que se supone que quien vaya a hacer uso de esta regla conoce el funcionamiento de la regla de cálculo convencional.

b) Las escalas especiales: La escala H es la representación gráfica de los logaritmos de diferentes valores de y correspondientes a $x=\sqrt{1+y^2}$ siendo x los valores de la hipotenusa de un triángulo rectángulo, cuyos catetos son 1 e y, o que sus valores guardan una relación igual a y 

. Esta escala se puede usar en general para encontrar los valores de la hipotenusa conociendo la relación entre los catetos; y como es lógico, también para encontrar un cateto conociendo la relación entre la hipotenusa y el otro.

NOTA: Debe distinguirse esta escala de la $\sqrt{1 - x^2}$, que es para encontrar un cateto, conociendo la relación entre la hipotenusa y el otro cateto .-

Las escalas Nº 2 (¼"Ø , o 0.5482 x), Nº 3 (3/8"Ø, o 1.2336 x), etc., son escalas que dan directamente los pesos que corresponden a longitudes de varilla de acero de diferentes gruesos, colocados en la escala básica D (x). Su empleo se detalla más ampliamente en los ejemplos dados en páginas siguientes.-

Estos valores de 0.5482, 1.2336, etc., son los pesos en libras por metro de longitud de las varillas Nº2 (¼"Ø), Nº3 (3/8"Ø), etc. Podría parecer ilógico mezclar unidades de dos sistemas de medidas diferentes como las libras del sistema americano con unidades métricas de longitud, pero esto, como fácilmente se comprende, es consecuencia de que esta regla se ha diseñado para ser usada en Costa Rica, y aquí no se suele usar varilla de acero con secciones métricas, ya que aun la de procedencia europea se importa en medidas americanas, y por otro lado, la mayoría de los planos se hacen en metros.

c) El cursor: Tiene además de la línea principal (pelo), unas líneas auxiliares para determinar directamente el área de un círculo conociendo su diámetro. El uso de ésta se puede estudiar en el folleto de instrucciones de alguna regla corriente.

2. <u>El reverso de la regla, o lado de la tabla</u>.

En el reverso de la regla encontramos una tabla para el cálculo de cantidades de acero en estructuras de hormigón armado, que tiene varias ventajas sobre la regla con sus escalas especiales para este propósito, como veremos más adelante.

En esta tabla encontramos cuatro componentes principales, que aunque trabajan en relación íntima, es conveniente explicar por separado. Estos componentes son los que se detallan a continuación:

a) El cuadro: Consiste éste en doce columnas correspondientes dos de ellas a las longitudes de varilla y diez a los pesos de las varillas de diferentes gruesos (Nº 2 a Nº 11), variando verticalmente de acuerdo con la longitud expresada en la primera y última columnas.

En estas columnas se dan números de 5 o 6 cifras, lo cual no persigue que se use hasta la última, sino que generalmente se redondeará (a una libra o más, según el caso).- Sin embargo, son necesarios varios lugares para ampliar los límites de la tabla, y por consiguiente, lo más lógico es llenar estos espacios con los números correspondientes, en lugar de hacerlo con ceros.

Al pie del cuadro hay cuatro series de siete números que son para graduar el punto decimal de los valores de la tabla, de acuerdo con las coordenadas del gráfico.

b) El Indice del Cuadro: Este índice es un cursor con doce líneas indicadoras (una para cada columna), que dan el punto decimal tanto de las longitudes como de los pesos correspondientes a los diferentes gruesos. Además, en la parte inferior del índice hay cuatro ventanitas indicadas por A, B, C y D que sirven, como se explicará luego, para graduar el punto decimal de acuerdo con el de los datos con que se va a entrar a trabajar en el gráfico.

En este índice basta, si se quiere obtener directamente los valores de peso en quintales, desplazar las líneas indicadoras dos puntos hacia la izquierda, o mejor aún, agregar líneas de otro color desplazadas dos puntos a la izquierda y leer en éstos en quintales. En el presente caso se prescindió de esto, ya que puede hacerse mentalmente.

c) El Gráfico: Consiste en una familia de "curvas"que corresponden al espaciamiento, trazadas en un gráfico en el cual las abscisas corresponden a las longitudes de varilla, área de losa, etc., y las ordenadas (al lado derecho), las longitudes resultantes de varilla.

La ecuación de estas curvas de espaciamiento es $x= Ky$, que al representarla en escala aritmética nos da líneas rectas, pero al trazar las correspondientes a diferentes valores de K, se juntan todas en 0, ya que cuando $x = 0$, $y = 0$, con el consiguiente problema de que si se debe trabajar con valores pequeños se hace muy difícil, o prácticamente imposible, diferenciar una línea de otra. Además, la escala aritmética tiene el inconveniente de que los valores van variando una razón constante, lo cual hace que al traba jar con valores por ejemplo entre 10 y 20, el error es considerable ya que sería imposible en esta zona hacerla variar de metro a metro pues se necesitarían en la tabla 100 líneas, lo que la haría muy grande. Al representar gráficamente una ecuación de primer grado en papel semilogarítmico nos da líneas curvas con la misma dificultad de que tienden a juntarse en los valores pequeños, además de que es más difícil seguir una línea curva que una recta para buscar su intersección con otra línea.

En escala logarítmica la ecuación nos da una serie de curvas que son líneas rectas paralelas entre sí, simplificando esto enormemente la lectura, además de que la escala logarítmica tiene la ventaja de que los valores más pequeños se pueden representar en más líneas, con lo que se obtiene mayor exactitud. Por ejemplo, en la tabla los valores entre 1 y 2 están divididos en 10 líneas; de 2 a 4 en 10 líneas; de 4 a 5 en 4 líneas y de 5 a 10 en 10 líneas; esto nos da que en los casos en que se tiene las diferencias mayores es cuando cambia de graduación; por ejemplo, entre 1 y 11 si el valor es apenas mayor que 1 y leemos el valor de esta línea, tenemos un error que puede ser como máximo 10%; lo mismo se repite en las líneas de 2 a 22; de 5 a 55; en cualquier otra línea el error es menor. Esta es otra de las grandes ventajas de hacer el gráfico en escala logarítmica, pues si fuera escala aritmética tendríamos, dividien do en 4 espacios, es decir, haciendo 40 líneas, que el error entre 1 y 125 podría ser hasta de 25%. Esto nos daría, ciertamente, que entre 9 y 925 el error sería de menos de 3% en lugar de 5.5%, que tenemos entre 9 y 95, pero esto no viene a ser una ventaja apreciable, ya que de nada nos sirve tener parte de la tabla con una precisión mayor que la otra.- Sobre esto hablaremos más extensamente en el capítulo V.-

En este gráfico distinguimos tres grupos de líneas, a saber:

Unas verticales que son simplemente una prolongación de los valores de las abscisas (longitud de varilla, área, etc.), para ayudar en la lectura del mismo.

Otras oblicuas que son la representación de los diferentes espaciamientos a que se coloca la varilla.

Además hay una serie de líneas horizontales correspondientes a los diferentes valores de longitud y que coinciden con las líneas del cuadro. Siguiendo éstas (la más próxima hacia abajo de la intersección de las de longitud de varilla y espaciamiento correspondientes a los valores de trabajo) hacia la derecha, encontramos en el cuadro la longitud y los pesos que corresponden a los datos originales.

Nótese que estas líneas varían inversamente a las líneas de espaciamiento (a menor espaciamiento mayor longitud).

El funcionamiento de este gráfico se comprenderá más fácilmente estudiando los ejemplos que se dan más adelante.

d) El Cursor del Gráfico: Sobre el gráfico que acabamos de detallar, se encuentra un cursor sencillo con una línea indicadora que sirve para facilitar la lectura de los valores de las longitudes o áreas originales, especialmente útil cuando la intersección de éstos y las líneas de espaciamiento ocurre en la parte superior del mismo.

ooo

II

OBJETO Y UTILIDAD DE ESTA REGLA

Huelga hacer hincapie en la necesidad que a menudo se presenta de averiguar la cantidad total de acero de refuerzo que requiere una estructura de hormigón armado, ya sea para la estimación de costos o para ordenar la compra de las cantidades correctas de los diferentes gruesos que requiere una obra a ejecutarse.

Es el propósito fundamental de esta regla, simplificar esta tediosa tarea, así como evitar en el mayor grado posible los errores aritméticos que corrientemente tienden a filtrarse en un trabajo en que, como en éste, se requieren muchas operaciones sucesivas de suma, multiplicación, división, etc..- Además, la economía de tiempo que se puede lograr en este tipo de labor con el uso de esta regla, es considerable.

Aunque la función fundamental de esta regla es el cálculo de cantidades de acero, es también útil en la estimación de longitud de regla en emplantillados, cadenillos en pisos, tablillas para forro y, en fin, en todos aquellos casos en que se requiere averiguar la longitud total de determinado material que corre en sentido longitudinal a un espaciamiento uniforme.-

ooo

III

EJEMPLOS EXPLICATIVOS DEL USO DE LA REGLA

Tomaremos como ejemplo, tanto para explicar la regla como la tabla, un supuesto edificio cuyo plano está al final de este trabajo.

Tomemos para empezar una placa tipo A de las cuales hay 12.

Dimensiones de la placa: 1.45 x 1.80

Refuerzo: Nº 6 a 15 en ambos sentidos

Analicemos pues el acero en sentido transversal primero y luego el longitudinal.

Dividamos entonces la longitud de la varilla (1.45 en este caso) entre el espaciamiento, nos da 9.67, lo cual quiere decir que tenemos esta longitud de varilla por metro de longitud de placa. Como la placa tiene 1.80 en el otro sentido, multiplicamos por 1.80 lo que nos da 17.4 m. de varilla por placa, y como tenemos 12 de éstas, multiplicamos de una vez por 12 y nos da 208.8 m., total de varilla transversal. Si ahora leemos, poniendo en el cursor 208.8, en la escala Nº 6, nos da 103, o sea 1030 lbs. Podemos seguir el mismo procedimiento para encontrar el peso de la varilla longitudinal, pero en este caso en que las varillas en ambos sentidos son del mismo grueso y están separadas a igual espaciamiento, nos debe dar el mismo resultado, ya que ambas operaciones serían las siguientes:

$$\frac{1.45 \times 1.80 \times 12 \times 4.9322}{0.15} = 1.029.8 \quad y$$

$$\frac{1.80 \times 1.45 \times 12 \times 4.9322}{0.15} = 1.029.8$$

de manera que, en estos casos, basta multiplicar el resultado por dos, o aun la longitud de una de las varillas y llegar de una vez al resultado final 2060#.

Como se puede ver, en ambas operaciones aparecen los factores 1.45, 1.80 y 12, cuyo producto es igual al área total de placas. Esto quiere decir que en el caso de que conozcamos el área total de una parte estructural (losa, pavimento, etc.,) y el espaciamiento del acero de refuerzo en ella, nos basta dividir esa área total entre el espaciamiento y leer este resultado en la escala correspondiente al grueso de la varilla y obtener de una vez el peso total de acero de refuerzo.

Si tuviéramos refuerzo en dos direcciones, podríamos tener cuatro situaciones diferentes:

1) Refuerzo de igual grueso y a igual espaciamiento en ambos sentidos: Para obtener el peso total basta multiplicar el peso obtenido por dos.
2) Refuerzo a igual espaciamiento en ambos sentidos pero de diferente grueso: Se lee de una vez en las dos escalas correspondientes a los gruesos y se suman los resultados.
3) Refuerzo de igual grueso pero a diferente separación: Se procede como en el primer caso, pero usando la se

paración equivalente $S_e = \frac{2\ S_1\ S_2}{S_1 + S_2}$ (ver pag. 29)

4) Refuerzo desigual en cuanto a grueso y separación: En este caso hay que hacer el cálculo separadamente para el refuerzo en cada sentido y sumar resultados.

Para simplificar la lectura del punto decimal se ha puesto en las escalas de pesos los números correspondientes a los de la escala básica, es decir, que si en D tenemos un metro, en Nº 8 por ejemplo, leemos 8.76; si tuviéramos 10 (1 x 10), hay que hacer el correspondiente ajuste en Nº 8, o sea, leer 87.6.-

Con lo anterior queda suficientemente explicado el cálculo haciendo uso de la regla, pero si hubiera alguna duda, basta con seguir los ejemplos del próximo capítulo, en que se explica el uso de la tabla, para aclararla; ya que su principio es fundamentalmente el mismo, conteniendo únicamente variaciones de forma.-

ººº

IV

EJEMPLOS EXPLICATIVOS DEL USO DE LA TABLA

La mejor forma de explicar el funcionamiento de la tabla es por medio de ejemplos. Con este fin estimaremos las cantidades de refuerzo que tiene la estructura cuyo plano aparece al final de este estudio.

1. Placas:

a) Tenemos placas tipo A de 1.45 x 1.80 con una malla de varilla Nº 6 a 0.15 m. en ambas direcciones.

Vamos pues al gráfico y empezamos por graduar el punto decimal: como la separación entre varillas es de 0.15 metros, podríamos coger el índice B o C, pero a primera vista se nota que si para 1.45 tomamos 0.15 en C, la intersección de las líneas cae fuera del gráfico; entonces usamos el índice B; para leer 1.45 en el margen inferior tenemos que graduar el índice B en $x10^0$, o sea, 1.45×10^0 (si fuera 14.5 pondríamos 1.45×10^1); una vez colocado el cursor en esta posición, buscamos en 1.45 verticalmente hasta encontrar la línea (oblicua) de 0.15 y entonces nos vamos horizontalmente hasta encontrar 10.000 en la columna LONGITUD, es decir, que tenemos aproximadamente 10 m. de varilla por cada metro de longitud de placa. Si en vez de hacerlo en la columna de longitud leemos en la Nº6, encontramos que tenemos 49.322# de varilla Nº6 por metro de placa; ahora, como la placa tiene en el otro sentido 1.80, se multiplica el valor obtenido por esta cantidad y obtenemos la cantidad total por placa, sea 10 x 1.80 = 18 metros de varilla (1), o 49.3 x 1.80 = 88.80# (2).-

Para calcular la varilla en el otro sentido se sigue el mismo procedimiento, pero se entra a la tabla con 1.80 y multiplicando el resultado por 1.45 para obtener 12 x 1.45 = 17.4 m., o 59.19 x 1.45 = 85.83#.-

Hay que notar que para que coincidieran las líneas de 1.89 y 0.15 dentro del gráfico, hubo que cambiar la línea de 15 con lo cual pasar al índice C y ajustar en éste $x10^{o}$, es decir, correr el cursor un espacio a la derecha.-

En este ejemplo hemos obtenido una diferencia de 0.6 ó 2.59#, debido a que en el primer caso las líneas de 1.45 y 0 15 no se cruzaron exactamente en la línea de 10 , sino un poco más arriba, lo cual nos indica que la longitud exacta por metro de placa no es diez sino un poco menos, (9.66 m.), tal como se explica en el Capítulo V.

Como es lógico (el orden de los factores no altera el producto), no debería haber diferencias estando las varillas separadas a espacios iguales en ambos sentidos. Esto simplifica mucho el uso de la tabla, ya que cuando se da este caso (que las varillas están separadas igual en ambos

---

(1) $\frac{18}{17.4} = 1.034$

(2) $\frac{88.8}{85.8} = 1.035$

sentidos) simplemente se entra a la tabla a calcular las varillas en un sentido, duplicándose luego el resultado.- Por ejemplo, obtenemos que varillas Nº6 de 1.80 a 0.15 nos da 59.19# por metro de placa en cada sentido, o sea 59.19 x 2 x 1.45 = 171.6# por placa (o 49.322 x 2 x 1.80 =177.56#).

También se puede, para evitar multiplicaciones, entrar con 3.6 y obtener directamente 118.37 #/m. que por 1.45 nos da el mismo resultado de 172#. Otra manera de hacerlo es entrar a la tabla con el doble producto de los lados (2 x 1.45 x 1.80 = 5.22) y obtener directamente el resultado, en este caso, 177.56# en la columna Nº6.-

Como podemos notar, hay varios caminos para llegar a un mismo resultado y es cuestión de que la práctica indique cuál es el más cómodo. El hecho de que en este ejemplo obtengamos por un método resultados más exactos que por otro, no quiere decir que éste sea más exacto que aquéllos, ya que como se explica en el capítulo V, el error en ningún caso se pasa del límite de 10% para la que está estimada la tabla, y en otros casos, otro camino puede dar resultados más exactos.

Ahora, como tenemos 12 placas iguales en la estructura se puede simplemente seguir cualquiera de los siguientes procedimientos:

1) Multiplicando el resultado obtenido por cualquiera de los métodos anteriores por 12:

$$\frac{\begin{array}{l}89\\ \underline{86}\\ 175 \times 12 =\end{array}}{2100\#} \; ; \; \frac{171.76 \times 12 =}{2060\#} \; ; \; \frac{177.56 \times 12 =}{2140\#} \quad (3)$$

2) Siguiendo cualquiera de los procedimientos del párrafo anterior, pero entrando al gráfico con las longitudes de la varilla o la doble área de una vez multiplicadas por la cantidad de placas:

$$\frac{1.45 \times 12 =}{17.4 \text{ m.}} \; ; \; \frac{1.80 \times 12 =}{21.6 \text{ m.}} \; \text{o} \; \frac{5.22 \times 12 =}{62.7 \text{ m}^2} \; , \text{ y}$$

buscar en igual forma el peso total.

Nótese que para entrar a la tabla con este valor de 62.7 se debe graduar el índice correspondiente en $x10^1$, para obtener el punto decimal correcto. Comprobémoslo entrando a la tabla con 62.7m.a 0.15 nos da 425.o m. o 2096.2#.(4)

b) Veamos ahora un ejemplo en que las varillas tengan una separación diferente en cada sentido; digamos las placas tipo B del plano que tienen 1.oo m. x 2.50 m, con varillas Nº4 a 0.10m. en las largas y a 0.20 m. en las cortas.

Se puede, entrando en la tabla con 2.50 a 0.10, encontrar 56.98 que por 1.0 de la placa en el otro sentido nos da 56.98; ahora entramos con 1.0 a 0.20 que nos da 10.96# x 2.50 =27.4#, o de una vez 2.50 a 0.20 nos da 28.49#.-56.98+ 28.49 = 85.47#.

---

(3) $\frac{2130}{2060} = 1.035$

(4) $\frac{2096.2}{2059.6} = 1.018$

También podemos entrar con el doble producto de los lados buscando en la separación equivalente, en este caso,

$$S_e = \frac{2 \times 0.10 \times 0.20}{0.10 + 0.20} = 0.133$$, o sea entrar con 1.0x2.5x2=5.0 a 0.133 , lo que nos da 83.28#.(5)

Como son 6 placas de este tipo, se obtiene el total ya sea multiplicando el resultado o cada una de las longitudes, o mejor aún la doble área por seis, como se hizo en el ejemplo anterior.-

c) Analicemos las placas tipo C en que la varilla en ambos sentidos está a la misma separación pero que es de diferente grueso. Podemos hacerlo por cualquiera de los métodos anteriormente empleados para las varillas en cada sentido, pero lo más sencillo es entrar al gráfico con el área (no doble en este caso) y encontrar la longitud y leer en las columnas respectivas los pesos de cada grueso y sumar.

Tenemos que son dos placas de 1.50 x 1.20 con varilla Nº5 a lo largo y Nº4 transversalmente, ambos a una separación de 0.20 metros.

$$\text{Area} = 2 \times 1.50 \times 1.20 = 3.60 \text{ m}^2.$$

Entrando con 3.6 y 0.2 obtenemos 18 m. de varilla de cada tipo, o sea, leyendo en las respectivas columnas, 22.21# de Nº3 y 39.45# de Nº4, lo que nos da un total de 61.66#.-

---

(5) $\frac{83.28}{82.18} = 1.013$

d) Veamos las placas tipo D, en las cuales la varilla en cada sentido es diferente: placas de 1.20 m. x 2.40 m con varilla Nº7 a 0.25 en sentido longitudinal y Nº5 a 0.30m.en sentido transversal.

En este caso no nos queda más que calcular el acero en cada sentido por separado y sumar los resultados; pudiéndose multiplicar por la otra dimensión de la placa y el número de placas, antes o después de entrar a la tabla.

Nº7 1.20 a 0.25 = 33.56 x 2.40 = 80.54#
Nº5 2.40 a 0.30 = 27.4 x 1.20 = 32.88# = 113.42#

1.20 x 2.40 = 2.88

Nº7 2.88 a 0.25 = 80.55
Nº5 2.88 a 0.30 = 32.54 = 113.09#(6)

y siendo 4 placas tenemos:

113.42 x 4 = 453.68#

2.88 x 4 = 11.52

O, Nº7 11.52 a 0.25= 318.85#
y, Nº5 11.52 a 0.30= 137.01 = 455.96# (7)

2. Arranques:

Para los arranques, simplemente se multiplica el largo de los mismos por la cantidad en cada placa y por el número de placas y se busca el peso correspondiente en el cuadro.

---

(6) $\frac{113.42}{113.09} = 1.003$

(7) $\frac{455.96}{453.68} = 1.005$

3. Columnas:

Tipo A: 12 columnas 0.30 m. x 0.40 m. x 3.50 m. con 6 varillas Nº7 y aros Nº2 a 0.20 m.

a) Varilla longitudinal: Para esto no es necesario usar el gráfico, sino simplemente entrar al cuadro con la longitud de acero; cada metro de columna tiene 6 m. de varilla, así que podemos entrar a la tabla y buscar en la columna Nº 7 el peso correspondiente a 6 m.=40.277# y multiplicando 40.277# x 3.5 x 12 = 1691.63#, se entra con 6 x 3.5 x 12= 252 m. y se obtiene 1745.30#. Si se quiere mayor precisión en casos como éste, se busca en vez de 252 (que en este caso hay que leer 240 ó 260), 240 = 1611.10 + 12 = 80.55, lo que nos da 1691.65#.

En el caso de columnas como las de tipo B y C en que hay varillas de más de un grueso, el procedimiento es igual, sacando el peso de cada grueso por aparte y sumando.

En este ejemplo, como en el anterior, se puede multiplicar por la longitud total antes o después de sacar el peso.

b) Aros: Para calcular el peso de los aros se puede tomar en general la longitud de cada uno igual al perímetro de la columna (ver capítulo V.)

Tendríamos entonces, en el caso de las columnas Tipo A, 2 (0.30 + 0.40) = 1.40 m., buscando con 1.40 a 0.20 m. encontramos 7 m. de aro por metro de columna, o sea 3.837#/m de columna, entonces 3.837 x 3.5 x 12 = 161.15#; o entrando al gráfico con la longitud total de columnas por la longitud de cada aro (3.5 x 12 x 1.40 = 58.8 m.) y la misma separación de 0.20 m., obtenemos directamente 164.4#.(8)

En el caso de aros en espiral, se toma el perímetro de la columna (si la columna es cuadrada como C, ya que en este caso la diferencia sería grande si se tomara el perímetro de la columna) como longitud de aro y el paso p como separación.

Tomemos las columnas tipo B que son 6 de 0.45 m. de diámetro y 3.50 de alto y en las cuales el paso de la espiral es de 0.10 m. y el grueso Nº3.

Entonces tenemos 6 x 3.5 x 1.414 = 29.69 m. Obtenemos en la tabla el peso total de 370.1#.

4. Vigas:

Las vigas, podríamos decir, son en general las partes estructurales que más dificultad presentan en la estimación de las cantidades de acero de refuerzo, debido a dos razones principales:

que como tienen a menudo bastones y templaderas no se prestan a calcularlo por longitud;

que su construcción varía mucho de una a otra, lo que impide considerarlas por longitud.

---

(8) $\frac{164.4}{161.15} = 1.02$

De aquí se desprende que podríamos clasificar las vigas en dos grupos:

Vigas con armadura corrida, es decir, con determinado número de varillas a toda su longitud y aros iguales a determinada separación, como es corrientemente el caso de las vigas de amarre, vigas de corona, intermedias, etc.- Podemos tratarlas exactamente como se hizo con las columnas.

Vigas con templaderas y bastones además del refuerzo longitudinal corrido. Aquí se calcula separadamente el refuerzo corrido, los bastones y templaderas y luego se suma (ver capítulo V). Para los aros, si son separados uniformemente, se procede igual que para las columnas; si su separación va variando, tenemos que contar la cantidad total y multiplicar por la longitud de cada uno.

5. Losas:

Las losas pueden estar armadas con mallas lisas, una o dos mallas, o con varillas dobladas en templadera.

El primer caso es similar al de las placas, es decir, que podemos calcular la cantidad de acero entrando al gráfico con la longitud de una varilla (lado de la losa) y el espaciamiento y hallar así la cantidad de acero por metro de longitud, y multiplicar luego por la longitud total para obtener el peso total. También se puede entrar de una vez con el área total de losa y encontrar directamente la cantidad total de acero.

En el caso en que las losas estén armadas con templaderas, debe tomarse en cuenta lo que esto alarga la varilla. Este aumento en longitud se puede despreciar en general, como se explica en el capítulo II.-

Lo que sí debe tomarse en cuenta, en especial cuando se trata de losas angostas, es la longitud de anclajes y los bastones si los hay.

Veamos el ejemplo de la losa A-A/B-B del plano:

ANCHO DE LA LOSA: 5.00 m
LONGITUD DE ANCLAJES:0.25 m
LONGITUD DE LA VARILLA: 5.00 + 2 x 0.25 = 5.50 m.

Despreciando el alargamiento de las varillas debido a las templaderas, podemos considerar la losa como armada con 3 Nº4 de 5.50 m. a cada 0.40 m., entrando al gráfico con 16.5 a 0.40 obtenemos 93.14#. En el otro sentido, tomamos 5.00 Nº 3 a 0.30 = 20.97#. Como cada losa tiene 9.0 m. de largo y - son 10 losas, tenemos:

Nº 3	90 x 20.97	=	1880#
Nº 4	90 x 93.14	=	8370#
Total	90 x114.11	=	10.250#

ººº

V

PRECISION DE LA REGLA

La precisión de la regla propiamente dicha es la de cualquiera del mismo tamaño, es decir, que se pueden leer 3 ó 4 cifras significativas.

Trabajando del lado de la tabla obtenemos una precisión mucho mayor, en primer lugar porque podemos leer hasta seis cifras significativas y en segundo lugar nos da el punto decimal directamente, lo que evita los errores que usualmente tienden a colarse cuando se debe estimar mentalmente el punto decimal.

Analicemos, sin embargo, la tabla para comprobar las limitaciones que ésta tiene. En primer lugar observamos el cuadro cuyas columnas tienen seis lugares y sobre las cuales las líneas indicadoras del índice pueden desplazarse 7 espacios, podemos ver que éste tiene un alcance desde 0.0011 m. o sea, 1.1 mm.(0.0006# de varilla Nº2) hasta 10.000 m., (174437#de varilla Nº 11).

En el gráfico tenemos sin embargo una limitación en cuanto a la precisión; para comprender ésta más fácilmente repitamos aquí en parte la descripción de la tabla.

Como habíamos dicho anteriormente, en el capítulo I, 2c, el gráfico consiste en la representación en escala logarítmica, de una familia de curvas cuya ecuación es x=Ky, en la que K corresponde a los diferentes valores de espaciamiento.

Las abscisas representan la magnitud (longitud de varilla, de aros, área, etc.) con que entramos a calcular; las ordenadas (al lado izquierdo del gráfico), los valores de K o sea el espaciamiento, y en sentido horizontal, las líneas de longitud (1/K).

Ahora bien, para representar los valores de los pesos que corresponden a las diferentes longitudes nos vemos en la necesidad de hacerlo en forma escalonada, pues la única manera de hacerlo de un modo continuo, sería poniendo en lugar de las columnas del cuadro, las escalas logarítmicas correspondientes a estos valores, con lo que caeríamos en algo que no se diferenciaría más que en forma de la regla del otro lado.

Así que si nos vemos en la necesidad de hacerlo escalonadamente, tendríamos que hay ciertos valores intermedios de longitud que no están representados en el cuadro; esto sucede siempre que la intersección de las líneas vertical y oblicua no coincide con una de las líneas horizontales.

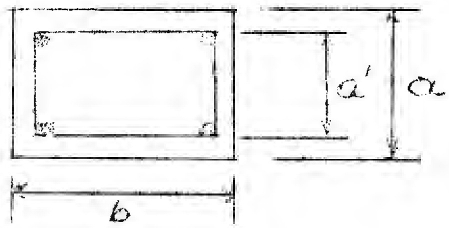
Ahora, como lo habíamos dicho anteriormente, las variaciones máximas podrían ocurrir cuando esta intersección se presenta apenas debajo de una de las líneas horizontales y leemos el valor directamente a la derecha del cuadro.

Como habíamos visto, la mayor diferencia que se puede presentar es de casi 10% en los casos cuando cambia la graduación de estas líneas, como por ejemplo entre 1 y 11; 2 y 22 y entre 5 y 55. En cualquier otra línea el error es menor. Por otra parte, la frecuencia con que se presentan casos como estos y otros en que la intersección está sobre o casi sobre una línea horizontal, tiende a ser igual con lo que la diferencia total se reduce a aproximadamente 5%. Como la diferencia máxima del 10% ocurre únicamente donde cambia la graduación, hay mayor probabilidad de que las diferencias que se presentan sean menores, lo cual también tiende a reducir este 5%.- Esto puede rebajarse aún más si en aquellos casos en que la intersección ocurre apenas debajo de una línea horizontal, leemos el valor de la línea anterior, o sea el que corresponde a la línea más próxima a la intersección. Una demostración de esto la tenemos en los ejemplos anteriores, en que rara vez la diferencia llega al 5%.

Basados en el razonamiento anterior, podemos decir que los resultados obtenidos por medio del uso de la tabla son exactos con un margen de error + 5%.-

Cuando vimos el cálculo del peso de los aros, tomamos la longitud de los mismos igual al perímetro de la columna. Hagamos un análisis rápido de lo que esto puede afectar el resultado.

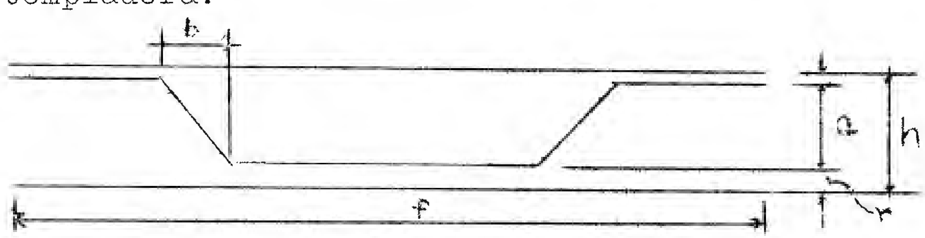
Si suponemos la columna cuyo detalle se muestra, de dimensiones a y b, y en la cual la varilla tiene un recubri -



miento de c y dos ganchos de longitud d, tenemos que el perímetro sería = 2 (a+b), y la longitud verdadera de aros sería a+b-8c+2d, o sea, a'+b'=2d, pero en general, c es una dimensión pequeña y podemos asumir que 8c y 2d se compensan. Aunque esto no es estrictamente cierto, su influencia en el resultado final es despreciable, excepto cuando se trata de columnas (o vigas) de sección muy pequeña.

Al hablar de vigas y losas apuntamos que en éstas se presenta cierta dificultad al estar armadas con templaderas. Analicemos pues esta situación para ver hasta dónde es considerable la influencia de las templaderas.

Supongamos que el siguiente dibujo representa una sección de una parte estructural (losa o viga) armada con varillas en templadera:



Llamemos: f= longitud de la viga (o ancho de la losa)

h= alto de la viga (o grueso de la losa)

r= recubrimiento de la varilla

a= alto de la templadera; a=h-2r

b= longitud del doblez de la templadera

n= número de dobleces de la templadera

e= alargamiento de la varilla por cada doblez

E= Alargamiento total de la varilla; E=ne

L= longitud verdadera de la varilla; L=f+E

α= ángulo a que está doblada la templadera

$$e = \sqrt{(h-2r)^2 + b^2} - b = \sqrt{a^2 + b^2} - b$$

$$E = n(\sqrt{a^2 + b^2} - b)$$

Asumiendo que P es el porcentaje que se alarga la varilla por los dobleces:

$$P = 100 \frac{L - f}{f} = 100 \frac{E}{f}$$

$$P = \frac{100\, n\, (\sqrt{a^2 + b^2} - b)}{F} \qquad (1)$$

Pero tenemos que en general a=b o sea que α=45º, luego

$$P = \frac{100\, n\, (\sqrt{2a^2} - a)}{F} = \frac{100\, a\, n\, (\sqrt{2} - 1)}{f}$$

$$P = \frac{40\, a\, n}{f} \qquad (2)$$

Anteriormente habíamos visto que la tabla tiene un error probable de +5%, de manera que si P = 5 no se justifica hacer ninguna corrección; $5 \geq \frac{40\, a\, n}{f}$; o sea que si

$$\frac{f}{a} \geq 8\, n \qquad (3)$$

no es necesario tomar en cuenta el alargamiento de la varilla debido a los dobleces.

Generalizando más podemos decir que n=2 que es tam -

bién lo más corriente, entonces si

$$\frac{f}{a} \geq 16 \quad (4)$$

se desprecia la corrección.

Hasta aquí hemos considerado sola a la varilla que está doblada en templadera; supongamos ahora que se trata de una viga en la que hay unas varillas que van corridas a todo lo largo y otras que van haciendo templaderas para coger los esfuerzos debidos al cambio de sentido del momento. Llamemos C el número de varillas corridas y D las que se doblan y obtenemos, modificando (2), que:

$$P = \frac{40\ a\ D\ n}{Cf} \quad (5)$$

y volviendo a aplicar que si P = 5 se desprecia el alargamiento, obtenemos: $5 \geq \frac{40\ a\ D\ n}{Cf}$, o sea que

$$\frac{C\ f}{a\ D} \geq 8\ n \qquad (6)$$

o tomando otra vez n=2

$$\frac{C\ f}{a\ D} \geq 16 \qquad (7)$$

no es necesario hacer ninguna corrección.

Ilustremos esto con los siguientes ejemplos:

a) Una losa de 3.00 de luz y 0.25 m. de espesor con 0.02m. de recubrimiento.

Empleando (4) tenemos:

$\frac{f}{a} = \frac{3.00}{0.21} = 14.3 < 16$; por consiguiente hay que hacer la siguiente corrección:

$L = f + E = f + ne = f + 0.4\ an = f + 0.8\ a$, o sea que

$L = 3.00 + 0.8 \times 0.21 = 3.17$ m. (P aprox. 6%).

Como podemos ver, este porcentaje de 6% es también casi despreciable, y para llegar a él fue necesario usar una losa de dimensiones excepcionales ya que con las cargas y resistencias del hormigón de uso corriente no suelen presentarse losas de estas proporciones. Podemos, por consiguiente, decir que en general cuando se trata de losas se pueden considerar como armadas con mallas de varillas lisas, aunque existan templaderas.

b) Supongamos ahora una viga de las mismas dimensiones que las de la losa del ejemplo anterior pero en la cual hay cuatro varillas corridas y una que hace templaderas. Aplicando (7) nos da:

$$\frac{C}{a}\frac{f}{D} = \frac{4 \times 3.00}{1 \times 0.21} = 57 > 16$$

por consiguiente no hay que hacer corrección.

En las vigas no se puede generalizar tanto como en las losas; pero en general podemos despreciar la corrección y tratarlas como si estuvieran armadas con varillas corridas, excepto cuando sean muy cortas o muy profundas.-

Recordemos ahora que al hablar de losas y placas con refuerzo de igual grueso en ambas direcciones, pero a una separación diferente en cada sentido, dijimos que simplemente se calcula con el doble producto de los lados, o sea la doble área, y una separación equivalente $S_e = \frac{2\ S_1\ S_2}{S_1 + S_2}$.
Analicemos de donde obtenemos este valor.
Como vimos en los ejemplos de los capítulos III y IV, la longitud total de acero en una determinada área, es directamente proporcional a ésta e inversamente al espaciamiento, o sea que:

$$L = \frac{A}{S}$$

Al tener un área con varilla a diferente separación en cada sentido tendríamos que la longitud en cada dirección sería:

$$L_1 = \frac{A}{S_1} \quad y \quad L_2 = \frac{A}{S_2}$$

y la longitud total sería:

$$L = L_1 + L_2 = \frac{2A}{S_e}$$

o sea que:

$$\frac{A}{S_1} + \frac{A}{S_2} = \frac{2A}{S_e}$$

$$\frac{2}{S_e} = \frac{S_1 + S_2}{S_1\ S_2}$$

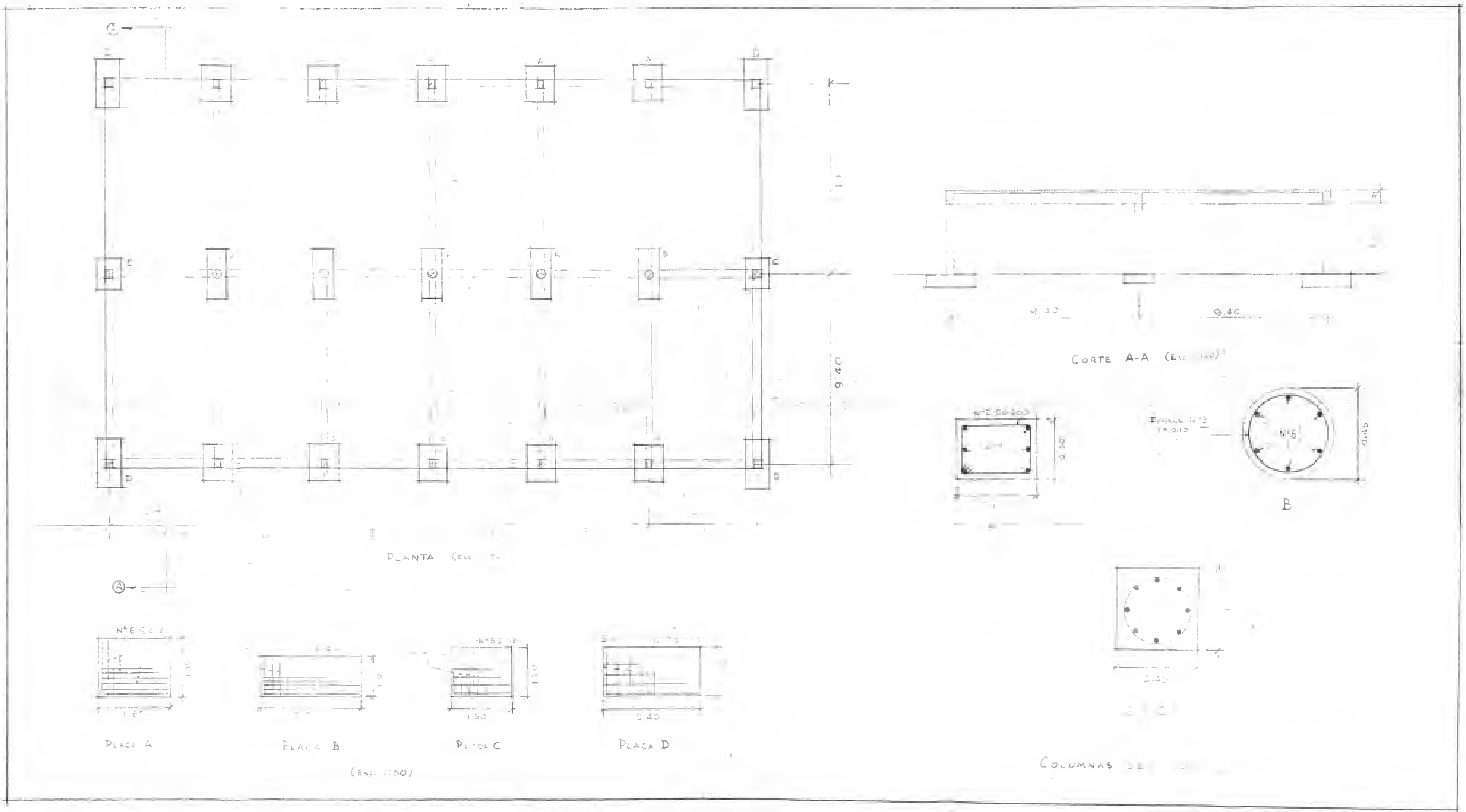
$$S_e = \frac{2\ S_1\ S_2}{S_1 + S_2}$$

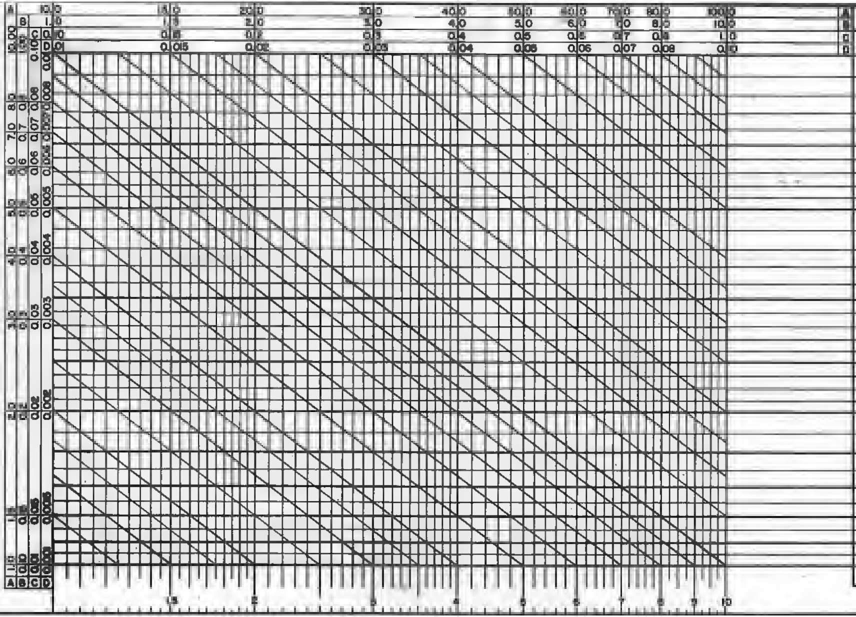
También podríamos deducir este valor de espaciamiento equivalente para usar el área en vez de la doble área, pero para guardar la analogía con los casos anteriores es preferible usar la doble área y evitar así confusiones. En el caso en que se fuera a trabajar con el área simple, el espaciamiento equivalente tendría el siguiente valor:

$$S_e = \frac{S_1 \; S_2}{S_1 + S_2}$$

Espero, con esta explicación, dejar suficientemente claro el funcionamiento de la regla y creo que con un poco de práctica cualquiera puede hacer uso fácil de ella.

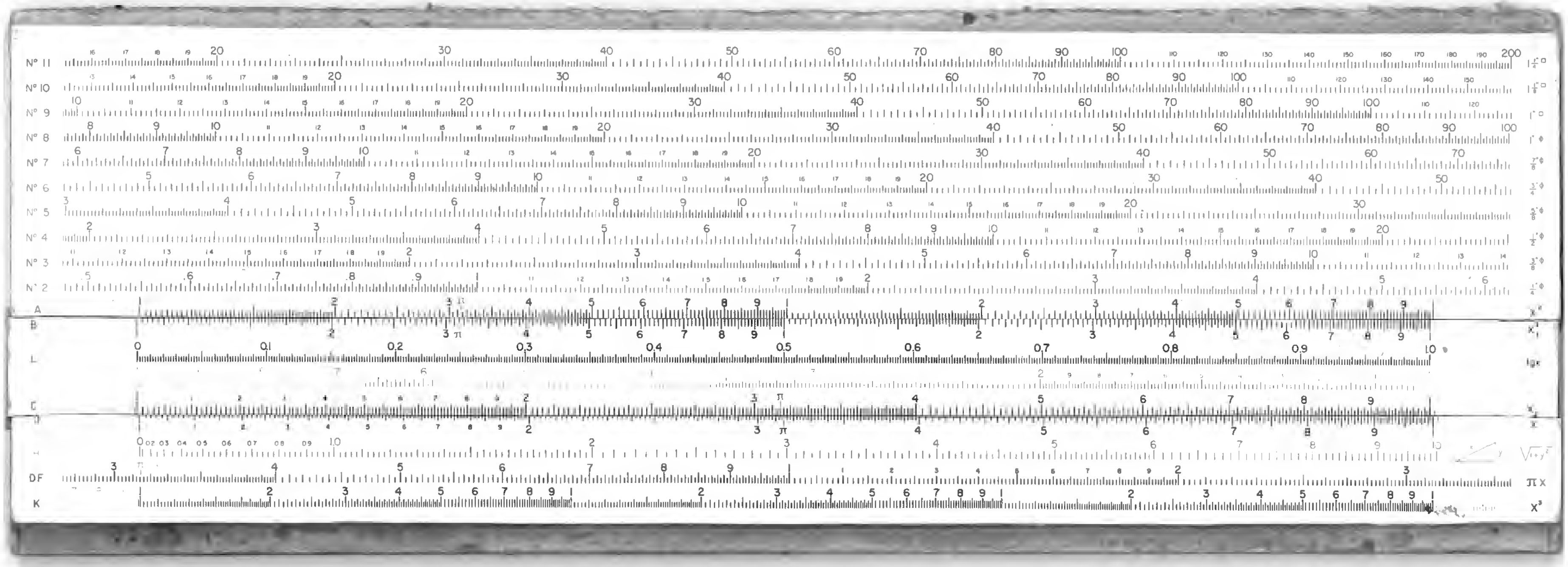
ooo


9.40
CORTE A-A (Esc. 1:100)
9.40
B
PLANTA
1.50
2.40
PLACA A
PLACA B
PLACA C
PLACA D
(Esc. 1:50)
COLUMNAS



LONGITUD	Nº 2	Nº 3	Nº 4	Nº 5	Nº 6	Nº 7	Nº 8	Nº 9	Nº 10	Nº 11	LONGITUD
1100	603	1357	2411	3766	5425	7364	9645	12280	15542	19186	1100
1200	658	1480	2630	4110	5919	8055	10522	13397	16955	20932	1200
1300	713	1604	2849	4453	6412	8727	11399	14513	18368	22677	1300
1400	767	1727	3068	4795	6905	9398	12275	15630	19781	24421	1400
1500	822	1850	3287	5138	7398	10069	13152	16746	21194	26165	1500
1600	877	1974	3506	5480	7892	10741	14029	17862	22607	27910	1600
1700	932	2097	3726	5823	8385	11412	14906	18579	24019	29654	1700
1800	987	2221	3945	6165	8878	12083	15783	20095	25432	31399	1800
1900	1041	2344	4164	6508	9371	12754	16660	21211	26845	33143	1900
2000	1096	2467	4383	6850	9864	13425	17536	22328	28258	34887	2000
2200	1206	2714	4821	7535	10851	14768	19290	24561	31084	38376	2200
2400	1316	2961	5260	8220	11837	16111	21044	26793	33910	41865	2400
2600	1425	3207	5698	8905	12824	17453	22797	29026	36736	45353	2600
2800	1535	3454	6136	9590	13810	18796	24551	31259	39561	48842	2800
3000	1644	3701	6574	10275	14797	20139	26304	33492	42387	52331	3000
3200	1754	3948	7013	10960	15783	21481	28058	35725	45213	55820	3200
3400	1864	4194	7451	11645	16770	22824	29812	37957	48039	59308	3400
3600	1973	4441	7889	12330	17756	24166	31565	40190	50865	62797	3600
3800	2083	4688	8328	13015	18742	25509	33319	42423	53691	66286	3800
4000	2193	4934	8766	13700	19729	26851	35073	44656	56516	69775	4000
4250	2330	5243	9314	14557	20962	28530	37265	47447	60048	74136	4250
4500	2467	5551	9862	15413	22195	30208	39457	50238	63581	78498	4500
4750	2604	5860	10410	16269	23428	31886	41649	53029	67113	82857	4750
5000	2741	6168	10957	17125	24661	33564	43841	55820	70645	87218	5000
5500	3015	6785	12053	18838	27127	36921	48225	61402	77710	95940	5500
6000	3289	7402	13149	20550	29593	40277	52609	66984	84774	104662	6000
6500	3563	8019	14245	22263	32059	43634	56993	72566	91839	113384	6500
7000	3837	8635	15340	23976	34526	46990	61377	78148	98904	122106	7000
7500	4111	9252	16436	25688	36992	50347	65761	83730	105968	130827	7500
8000	4385	9869	17532	27401	39458	53703	70145	89312	113033	139549	8000
8500	4659	10486	18628	29113	41924	57059	74529	94893	120097	148271	8500
9000	4933	11103	19723	30826	44390	60416	78913	100475	127162	156993	9000
9500	5207	11719	20819	32538	46856	63772	83298	106057	134226	165715	9500
10000	5482	12336	21915	34251	49322	67129	87682	111639	141291	174437	10000
LONGITUD	Nº 2	Nº 3	Nº 4	Nº 5	Nº 6	Nº 7	Nº 8	Nº 9	Nº 10	Nº 11	LONGITUD

-2 -1 0 1 2 3 4   -3 -2 -1 0 1 2 3   -4 -3 -2 -1 0 1 2   -5 -4 -3 -2 -1 0 1


Nº 11
Nº 10
Nº 9
Nº 8
Nº 7
Nº 6
Nº 5
Nº 4
Nº 3
Nº 2
A
B
L
C
D
DF
K
lgx
πx
x³