ESTUDIO DE UN PUENTE DE MAMPOSTERIA

POR TIMOLEÓN JÁCOME

Alumno ingeniero (4º año)

Las condiciones que generalmente se dan en un puente son la luz, el espesor de la cuña ó arco y la altura del terraplén. En ciertas ocasiones también se da la sagita ó flecha del arco interior.

En el presente estudio las condiciones dada son:

luz $D=25$ m.
espesor de la cuña $e'=1$ m.
espesor del terraplén $e=2{,}50$
Sagita $f=6{,}5$ m.

1º) *Cálculo del radio.*—Para esto nos serviremos de la fórmula geométrica:

$$r=\frac{f^2+\left(\frac{D}{2}\right)^2}{2\,f.}$$

$$r=\frac{42{,}25+156{,}25}{13}=15{,}26$$

Estática gráfica del arco.—Para analizar la estabilidad de un puente basta analizar la de su mitad, y así tomaremos la mitad del arco (fig. 2) y dividiremos, á partir de la corona, en secciones de 2,5 m. de ancho, quedando así dividida en trapecios rectangulares cuyo lado oblicuo es un arco de círculo, pero que se le considera como línea recta. Hecho esto, comenzaremos por formar la tabla de las operaciones preliminares, las cuales nos darán, como resultado final, los brazos de palanca de las secciones comprendidas entre la llave y cada una de las líneas verticales trazadas á 2.5, 5, etc., á partir de aquella.

Junturas	W	h	c	$s=W\times h$	$m=c\times s$	$S=\Sigma s$	$M=\Sigma m$	$C=\frac{M}{S}$
1	2,5	3,6	1,25	9	11,25	9	11,25	1,25
2	2,5	4	3,75	10	37,50	19	48,75	2,566
3	2,5	4,9	6,25	12,25	76,5625	31,25	125,3125	4,01
4	2,5	6,2	8,75	15,50	135,6250	46,75	260,9375	6,505
5	2,5	8,5	11,25	21,25	239,0625	68,00	500	7,352
6	0,8	9,0	12,05	7,20	86,76	75,20	586,76	7,800
				75,20	586,76			

En esta tabla:

la primera columna indica el número de orden de las junturas;

la segunda el ancho ó distancia horizontal de una vertical á otra, de las trazadas por las intersecciones de las junturas con el estrado (2,5, 5, 7,5);

la tercera la base media de cada uno de los trapecios en que se ha dividido la sección analizada;

la cuarta las distancias de la llave á los centros de gravedad de cada trapecio considerado por sí solo; ó sean los brazos de palanca de cada trapecio con relación á la corona;

la quinta contiene las superficies de cada uno de los trapecios;

la sexta columna indica los momentos de cada uno de estos trapecios con relación á la llave;

la séptima las superficies acumuladas;

la octava los momentos acumulados, y

la novena columna nos dará los brazos de palanca correspondientes á los momentos y superficies acumuladas.

Cálculo de la presión horizontal contra la corona.—Con la simple vista de la figura se corrsponde que las dos mitades del arco ejercen presiones horizontales que se contrarrestan y sostienen el arco. El punto de aplicación de estas presiones se encuentra á dos tercios del intradós en la corona y su intensidad se calcula por la expresión:

$$Q=\frac{a\,P}{b}$$

en la cual:

Q=presión horizontal de la una mitad contra la otra;

a=distancia comprendida entre el centro de gravedad de toda la mitad analizada y la vertical que pasa por la juntura 6ª (fig. 2) y á un tercio del intradós.

P=el peso de toda la mitad del puente, considerado con un metro de profundidad, igual á la sección multiplicada por 2.500 kilos, siendo 2.500 k. el peso de un metro cúbico de mampostería.

$$b=f+\tfrac{2}{3}\,e'$$

En el caso presente:

$$a=5$$
$$P=75{,}20$$
$$b=7{,}16$$

Sustituyendo tenemos:

$$Q=\frac{5\times 75{,}84}{7{,}16}=52{,}5$$

El valor de Q en kilos será:

$$52{,}5\times 2.500=131.250 \text{ k.}$$

Los valores de la séptima columna multiplicados por 2.500 k., nos dan las presiones verticales.

Entonces combinando estas presiones con la horizontal Q, que es constante, encontraremos de una manera gráfica, las resultantes correspondientes á cada juntura.

Ahora el valor de estas resultantes se obtiene midiendo la hipotenusa de cada triángulo rectángulo formado, á la misma escala en que se han trazado los catetos.

La condición de estabilidad de cada uno de los trapecios es de que la resultante pase por dentro del tercio medio de la juntura correspondiente.

Cálculo de los trapecios de presión en las junturas.—

Juntura 1ª La presión ejercida en esta juntura es de 132.500 k. en un ancho de 100 centímetros y su punto de aplicación á 40 C. m. contados á partir del trasdós.

Los lados paralelos del trapecio son también paralelos á la resultante y su valor se obtiene por las fórmulas:

$$A=\frac{W}{a}\times\frac{4\,a-6\,d}{a}$$

$$\text{y } B=\frac{W}{a}\times\frac{6\,d-2\,a}{a}$$

en las cuales:

W=presión en kilos de la resultante;

a=ancho total en C. m. sobre el que se ejerce esta presión;
d=distancia de A ó B á la resultante (indiferentemente).
A=presión mínima en el un extremo de la juntura; y
B=presión máxima en el otro extremo.
Para la juntura 1ª tenemos:

a=100 C. m.
d=100−40=60 C. m.
W=132.500 k.

Sustituyendo tenemos:

$$A=\frac{132.500}{10.000}\times\frac{400-360}{100}=5,3$$

$$B=\frac{132.500}{10.000}\times\frac{360-200}{100}=21,2$$

Juntura 2ª

En esta juntura tenemos:

W=140.000 k.
a= 100
d=100−42,5=57,5

Por consiguiente:

$$A=\frac{140.000}{10.000}\times\frac{400-345}{100}=7,70$$

$$B=\frac{140.000}{10.000}\times\frac{345-200}{100}=20,30$$

Juntura 3ª

W = 152.500
a = 100
d = 100−50 = 50

Reemplazando

$$A=\frac{152.500}{10.000}\times\frac{400-300}{100}=15,25$$

$$B=\frac{152.500}{10.000}\times\frac{300-200}{100}=15,25$$

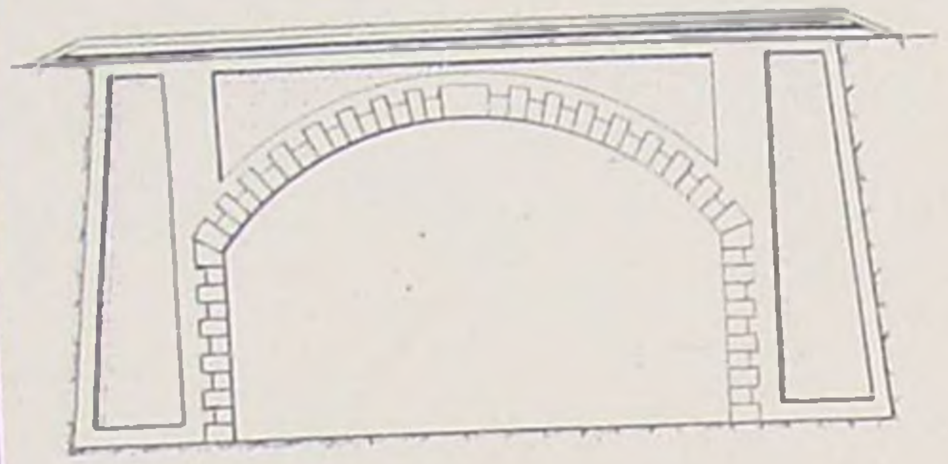


Fig 1.

FACHADA EXTERIOR

Detalle del Parapeto

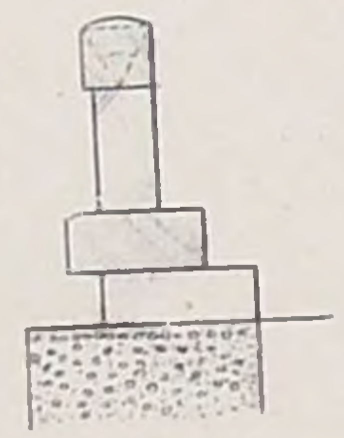


Fig 4

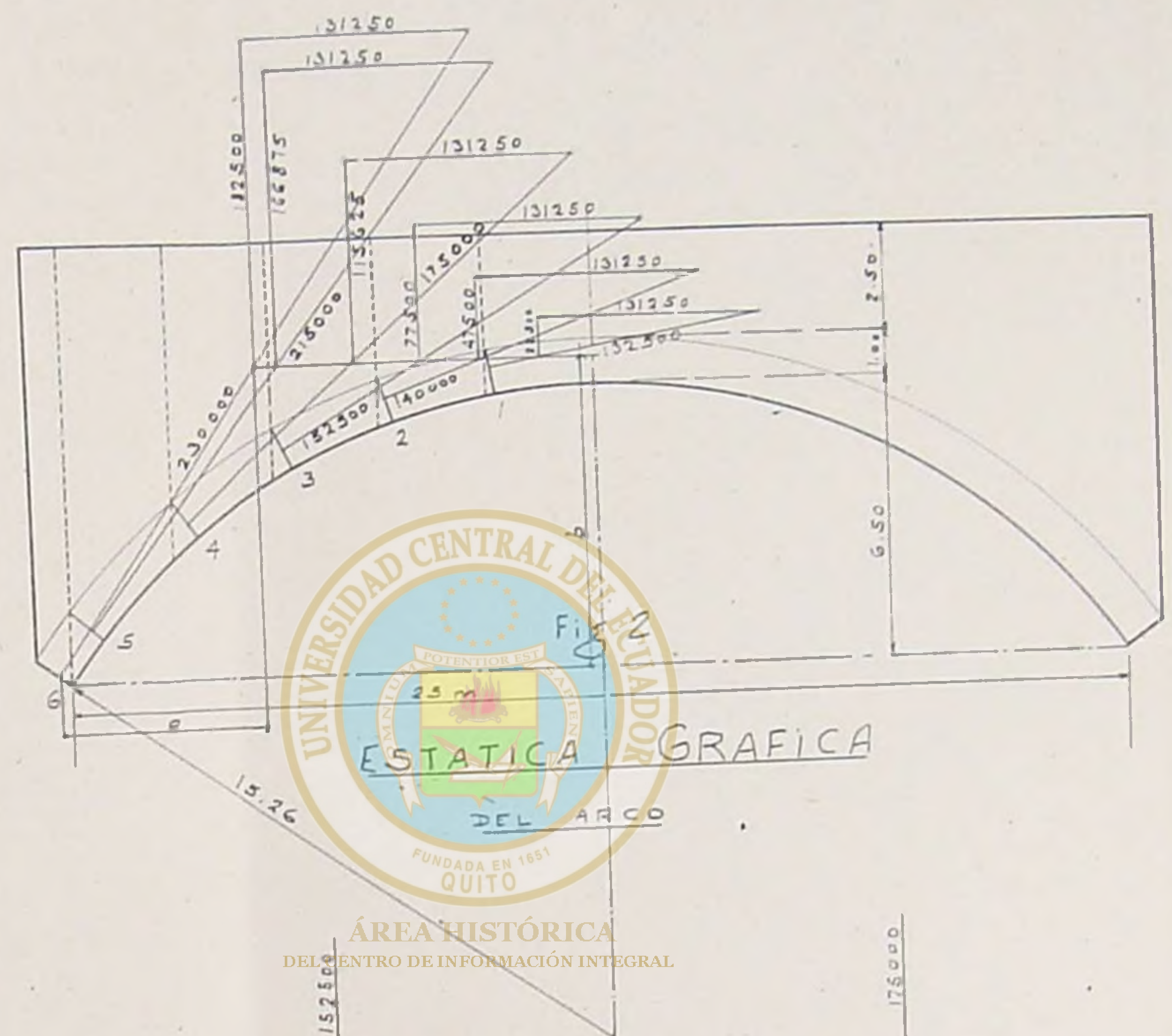


Fig 2

ESTATICA GRAFICA DEL ARCO

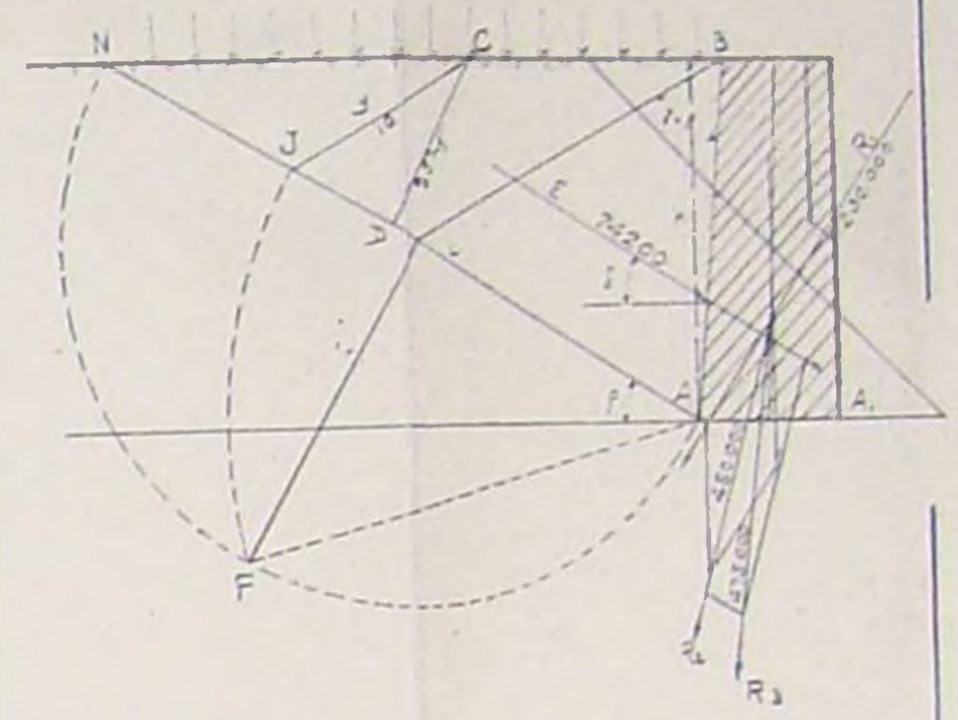
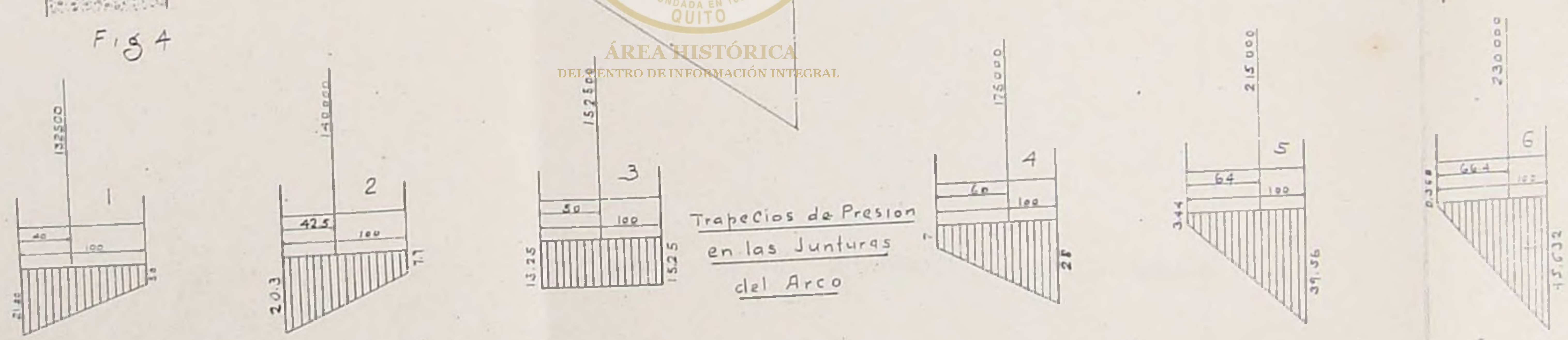


Fig 3

ESTATICA GRAFICA DE LOS PILARES



Trapecios de Presion en las Junturas del Arco

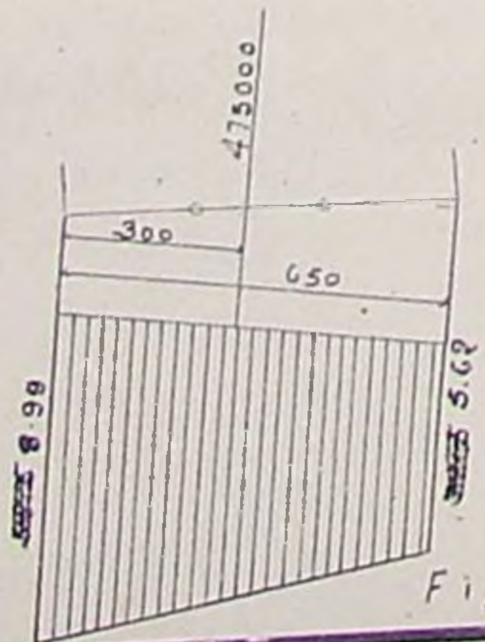


Fig 5

Trapecio de Presión del Pilar

DISEÑO DE UN PUENTE DE MAMPOSTERIA

Quito, Novbre 1912

Timoleón Jácome
Alumno Ingeniero 4º Año
UNIVERSIDAD CENTRAL

El Profesor
Richard Muller

Juntura 4ª

$$W=175.000$$
$$a=100$$
$$d=100-60=40$$

$$A=\frac{175.000}{10.000}\times\frac{400-240}{100}=28$$

$$B=\frac{175.000}{10.000}\times\frac{240-200}{100}=7$$

Juntura 5ª

$$W=215.000$$
$$a=100$$
$$d=100-36=46$$

$$A=\frac{215.000}{10.000}\times\frac{400-216}{100}=39,56$$

$$B=\frac{215.000}{10.000}\times\frac{216-200}{100}=3.44$$

Juntura 6ª

$$W=230.000$$
$$a=100$$
$$d=100-66,4=33,6$$

$$A=\frac{230.000}{10.000}\times\frac{400-201,6}{100}=45,632$$

$$B=\frac{230.000}{10.000}\times\frac{201,6-200}{100}=0,368$$

Cálculo de los pilares.—La presión que ejerce la tierra contra los pilares, es decir, la tierra que está por encima del ángulo ρ, y que se indica por el triángulo A N B en la fig. 3, se calcula por la formula:

$$E=\frac{1}{2}\left(\gamma t+\frac{2P}{h}\right)\lambda\ y$$

en la cual:

γt=peso de un metro cúbico de tierra;

P=carga, en kilogramos, por metro cuadrado de la superficie del suelo (indicada por las flechas);

h=distancia de la base del pilar á la superficie de la calzada del puente.

$\left.\begin{matrix}\lambda \\ y\end{matrix}\right\}$ =valores en metros determinados según la fig. 3.

En nuestro caso tenemos

$$\begin{aligned} \lambda t &= 1.500 \\ P &= 500 \text{ k} \\ h &= 20 \text{ m.} \\ \lambda &= 9{,}57 \text{ m.} \\ y &= 10. \text{ m.} \end{aligned}$$

Sustituyendo resulta:

$$E = \frac{1}{2}\left(1.500 + \frac{2 \times 500}{20} \right) 9.57 \times 10$$

$$E = \frac{1.550 \times 9{,}57 \times 10}{2} = 74.167{,}5 \text{ k}$$

ó, en números redondos

$$E = 74.200 \text{ k}$$

Para tener λ y γ se procede como sigue teniendo en cuenta que BN es el nivel de la calzada del puente: se trasa AN haciendo un ángulo ρ (ángulo de reposo de la tierra) con la horizontal y en B, la recta BL que hace con B A un ángulo $\rho + \delta$.

Tomando AN como diámetro trazamos la cemicircunferencia AFN, y del punto L levantamos la perpendicular L F á AN y con un radio A F cortamos á A N en J. Determinando este punto, se traza por él una paralela á B L que corta á BN en C.

Finalmente de C se baja una perpendicular á A N que corta en el punto D, y obtendremos así los valores de y y λ midiendo J C y C D, á la misma escala del dibujo, respectivamente.

Cálculo del trapecio del pilar.—Observaremos primeramente que el trapecio de presión que vamos á calcular, es el que soporta la presión resultante de tres fuerzas, que son:

a)=presión resultante del arco;
b)=presión vertical del pilar;
c)=presión de la tierra.

Así, pues, consideremos las dos primeras de las fuerzas, antedichas, y después de construído el paralelogramo de éstas, mediremos la resultante R_2

Conocida ésta y la fuerza E se construye otro paralelogramo, el cual determinará la resultante R_3 (fig. 3)

Se traza por A y A' paralelas á dicha resultante y una perpendicular á la misma, y se calcula las presiones mínima y máxima por las formulas ya conocidas:

$$A=\frac{W}{a}\times\frac{4a-6d}{a}$$

$$B=\frac{W}{a}\times\frac{6d-2a}{a}$$

W=475.000 k
a=650
d=300

Reemplazando:

$$A=\frac{475.000}{65.000}\times\frac{2.600-1.800}{650}=8,99$$

$$B=\frac{475.000}{65.000}\times\frac{1.800-1.300}{650}=5,62$$

Con estos últimos valores se construye la fig. 5.

El detalle del parapeto está indicado en la fig 4

En el cálculo de la estabilidad de un puente se considera también la *carga* viva (coche, carreta, etc); pero como en nuestro caso, el terraplén es muy grande con respecto á la *carga viva* el efecto de ésta ha sido despreciado.